(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第6708422号
(P6708422)

(45)発行日　令和2年6月10日(2020.6.10)　(24)登録日　令和2年5月25日(2020.5.25)

(51)Int.Cl.		F I	
H01J 49/26	(2006.01)	H01J	49/26
H01J 49/42	(2006.01)	H01J	49/42
H01J 49/30	(2006.01)	H01J	49/30
H01J 49/32	(2006.01)	H01J	49/32
H01J 49/38	(2006.01)	H01J	49/38

請求項の数 54　(全 160 頁)　最終頁に続く

(21)出願番号　特願2016-17577(P2016-17577)
(22)出願日　平成28年2月2日(2016.2.2)
(65)公開番号　特開2017-139074(P2017-139074A)
(43)公開日　平成29年8月10日(2017.8.10)
審査請求日　平成31年1月31日(2019.1.31)

(73)特許権者　309003186
保坂　俊
東京都杉並区南荻窪４－１９－３
(72)発明者　保坂　俊
東京都杉並区南荻窪４－１９－３

審査官　右▲高▼　孝幸

最終頁に続く

(54)【発明の名称】超小型加速器および超小型質量分析装置およびイオン注入装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
第１面および第２面を有する主基板、
前記主基板の第１面に付着した第１基板、および
前記主基板の第２面に付着した第２基板を含むイオン注入装置であって、
前記イオン注入装置は、主基板の第１面から主基板の第２面に貫通する複数の空間（貫通空間と呼ぶ）を含み、
前記イオン注入装置は、所望のイオンに選別する質量分離部、前記質量分離部で選別されたイオンを加速する線形加速部（第１線形加速部）、および加速されたイオンを前記イオン注入装置の外部へ出射するイオン出射部を含み、
前記質量分離部、前記第１線形加速部および前記イオン出射部において、イオンは前記貫通空間を移動することを特徴とする、イオン注入装置。

【請求項２】
さらに２つの半円形軌道（第１円形軌道および第２円形軌道）および１つの線形加速部（第２線形加速部）を含み、前記第１線形加速部で加速したイオンは第１円形軌道に入り、前記第１円形軌道を回ったイオンは前記第２線形加速部に入り、前記第２線形加速部で加速したイオンは前記第２円形軌道に入り、前記第１円形軌道を回ったイオンは前記第１線形加速部に入り、さらに前記第１線形加速部で加速したイオンは、前記イオン出射部に入るか、あるいは、第１円形軌道→第２線形加速部→第２円形軌道→第１線形加速部の環状

軌道を１回または複数回周回した後に、前記イオン出射部に入るかして、前記イオン出射部から前記イオン注入装置の外部へ出射し、
ここで、前記第１円形軌道、前記第２線形加速部および前記第２円形軌道は１つまたは複数の貫通空間を有しており、イオンは前記第１円形軌道、前記第２線形加速部および前記第２円形軌道における貫通空間を通ることを特徴とする、請求項１に記載のイオン注入装置。

【請求項３】
前記第１円形軌道および／または前記第２円形軌道において、貫通空間における２つの対面する側面に形成された電極による電界により、貫通空間を通るイオンが円形軌道で進行するか、または貫通空間における上基板および／または下基板に配置された電磁石または永久磁石による磁界により、貫通空間を通るイオンが円形軌道で進行することを特徴とする、請求項１または２に記載のイオン注入装置。

【請求項４】
前記イオン出射部において、前記貫通空間の２つの側面および上下の第１基板および第２基板にそれぞれ電極が形成され、前記イオン出射部の貫通空間の２つの側面に形成された電極による電界および前記イオン出射部の貫通空間の第１基板および第２基板に形成された電極による電界により、前記イオン出射部に入ったイオンが二次元的に走査されて前記イオン出射部から出射されることを特徴とする、請求項１～３のいずれかの項に記載のイオン注入装置。

【請求項５】
前記質量分離部は、貫通空間の両側面に形成された電極による電界によりイオンが質量分離されるか、および／または貫通空間の上下に配置された電磁石または永久磁石による磁界によりイオンが質量分離されることを特徴とする、請求項１～４のいずれかの項に記載のイオン注入装置。

【請求項６】
前記質量分離部の前に線形加速部（第３線形加速部という）が配置されており、前記第３線形加速部は前記主基板の第１面から前記主基板の第２面に貫通する１つまたは複数の空間（貫通空間と呼ぶ）を含み、前記第３線形加速部で加速されたイオンは前記質量分離部へ入ることを特徴とする、請求項１～５のいずれかの項に記載のイオン注入装置。

【請求項７】
前記第３線形加速部の前にイオン化部が配置されており、
前記イオン化部は前記主基板の第１面から前記主基板の第２面に貫通する１つまたは複数の空間（貫通空間と呼ぶ）を含み、前記イオン化部で発生したイオンは前記第３線形加速部へ入ることを特徴とする、請求項１～６のいずれかの項に記載のイオン注入装置。

【請求項８】
前記第１線形加速部および／または第２線形加速部および／または第３線形加速部は、主基板の第１面から主基板の第２面に貫通する複数の空間（貫通空間と呼ぶ）を含み、
前記複数の貫通空間のうちの少なくとも３つは隣接する貫通空間（これらを順に貫通空間Ａ、貫通空間Ｂ、貫通空間Ｃとする）であり、
前記隣接する貫通空間は前記主基板の壁板によって仕切られており（ここで、貫通空間Ａと貫通空間Ｂの間の主基板の壁板を主基板壁板Ｍ、貫通空間Ｂと貫通空間Ｃの間の主基板の壁板を主基板壁板Ｎと呼ぶ）、
前記主基板壁板Ｍおよび前記主基板壁板Ｎはそれぞれ前記隣接する貫通空間同士を接続する孔（この孔を主基板壁板孔と呼ぶ）を有し、

前記主基板は、第１面を有する基板（Ｘ基板）および第２面を有する基板（Ｙ基板）が、Ｘ基板の第１面と反対の面とＹ基板の第２面の反対の面が合わさったものであり、前記主基板壁板孔の略半分はＸ基板に存在し、前記主基板壁板孔の略半分はＹ基板に存在することを特徴とし、
さらに、
イオンは、前記主基板壁板孔を通って、前記隣接する貫通空間のうちの１つから前記隣接する他の貫通空間へ入り、
イオンは前記基板壁板Ｍおよび前記基板壁板Ｎ上に形成された電極に印加された直流電圧または高周波電圧によって加速または減速されることを特徴とする、請求項１～７のいずれかの項にイオン注入装置。

【請求項９】
前記主基板壁板Ｍおよび前記主基板壁板Ｎに形成された主基板壁板孔の周囲に電極が形成されていることを特徴とする、請求項８に記載のイオン注入装置。

【請求項１０】
前記主基板壁板Ｍおよび前記主基板壁板Ｎと貫通空間の側面との間に隙間（すなわち、空間）が存在することを特徴とする、請求項８または９に記載のイオン注入装置。

【請求項１１】
前記主基板壁板Ｍおよび前記主基板壁板Ｎは第１基板および／または第２基板に接続している部分が、中央部より狭くなっていることを特徴とする、請求項８～１０のいずれかの項に記載のイオン注入装置。

【請求項１２】
前記第１線形加速部および／または第２線形加速部および／または第３線形加速部は、ＲＦＱ（Radio Frequency Quadrouple）型線形加速器であることを特徴とする、請求項１～１１のいずれかの項に記載のイオン注入装置。

【請求項１３】
前記線形加速部において第１基板および第２基板の存在しない領域（Ａ領域という）があり、前記Ａ領域をまたいで、４本の四重極電極が、それらの四重極電極の両端がＡ領域につながる貫通室の４つの角部に付着しており、Ａ領域における前記四重極電極の一部は空洞を有する管状体の空洞を通ることを特徴とする、請求項１２に記載のイオン注入装置。

【請求項１４】
前記Ａ領域は、前記第１基板に付着した第３基板、前記第３基板に付着した第２主基板、第２主基板に付着した第４基板、前記第２基板に第付着した第５基板、前記第５基板に付着した第３主基板、第３主基板に付着した第６基板に囲まれていることを特徴とする、請求項１３に記載のイオン注入装置。

【請求項１５】
前記管状体は、上部が第３基板、側面（上部側面という）が第３基板に付着した第４主基板、下部が第５基板、側面（下部側面という）が第５基板に付着した第５主基板に囲まれた空洞を有しており、ここで、第４主基板と第５主基板は付着または接触していることを特徴とする、請求項１４に記載のイオン注入装置。

【請求項１６】
前記管状体を構成する第３主基板、第４主基板、第５基板、および第５主基板は導電体であるか、前記管状体の内面に導電体膜が形成されたものであることを特徴とする、請求項

１５に記載のイオン注入装置。

【請求項１７】
前記管状体は、第５基板上に形成された電極または導電体である第５基板と電気的に接続することを特徴とする、請求項１４～１６のいずれかの項に記載のイオン注入装置。

【請求項１８】
前記第１線形加速部→前記第１円形軌道→第２線形加速部→前記第２円形軌道の環状軌道（第１環状軌道）の外側に、さらに線形加速部→半円形軌道→線形加速部→半円形軌道の環状軌道（第２環状軌道）が存在し、第１環状軌道と第２環状軌道とを接続する接続ライン（第１接続ライン）が存在し、前記第２環状軌道および第１接続ラインは貫通空間を有し、イオンは前記第１環状軌道の貫通空間から出て第１接続ラインの貫通空間へ入り、前記第１接続ラインの貫通空間へ入ったイオンは前記第２環状軌道の貫通空間へ入り、
前記第２環状軌道を周回したイオンは前記第２環状軌道に備えた出射部へ入り、前記第２環状軌道の出射部からイオン注入装置の外側へ出射されることを特徴とする、請求項１～１７のいずれかの項にイオン注入装置。

【請求項１９】
第１接続ラインの出口部における貫通空間の両側面に電極が形成されており、前記電極に印加された電極れた電圧によって発生する電界により、第１接続ラインを通過するイオンがその軌道を変化させて前記第２環状軌道へ入ることを特徴とする、請求項１８に記載のイオン注入装置。

【請求項２０】
第１接続ラインがつながるイオンが入射する第２環状軌道のイオン入射部における貫通空間の両側面に電極が形成されており、前記電極に印加された電極れた電圧によって発生する電界により、第２環状軌道に入射するイオンの軌道を変化させてイオンが第２環状軌道を進行するようにすることを特徴とする、請求項１８または１９に記載のイオン注入装置。

【請求項２１】
前記第２環状軌道のイオン出射部において、前記貫通空間の２つの側面および上下の第１基板および第２基板にそれぞれ電極が形成され、前記イオン出射部の貫通空間の２つの側面に形成された電極による電界および前記イオン出射部の貫通空間の第１基板および第２基板に形成された電極による電界により、前記イオン出射部に入ったイオンが二次元的に走査されて前記イオン出射部から出射されることを特徴とする、請求項１８～２０のいずれかの項に記載のイオン注入装置。

【請求項２２】
線形加速部→円形軌道→線形加速部→円形軌道の環状軌道（第ｉ環状軌道：ｉ＝１～ｎ）の外側に、さらに線形加速部→半円形軌道→線形加速部→半円形軌道の環状軌道（第ｉ＋１環状軌道）が存在し、第ｉ環状軌道と第ｉ＋１環状軌道とを接続する接続ライン（第ｉ接続ライン）が存在し、第ｉ環状軌道および第ｉ＋１環状軌道および第ｉ接続ラインは貫通空間を有し、イオンは前記第ｉ環状軌道の貫通空間から出て第ｉ接続ラインの貫通空間へ入り、前記第ｉ接続ラインの貫通空間へ入ったイオンは前記第ｉ＋１環状軌道の貫通空間へ入り、
第ｎ＋１環状軌道を周回したイオンは前記第ｎ＋１環状軌道に備えた出射部へ入り、前記第ｎ＋１環状軌道の出射部からイオン注入装置の外側へ出射されることを特徴とする、請求項１～１７のいずれかの項にイオン注入装置。

【請求項２３】
第ｉ接続ラインの出口部における貫通空間の両側面に電極が形成されており、前記電極に印加された電極れた電圧によって発生する電界により、第ｉ接続ラインを通過するイオンがその軌道を変化させて前記第ｉ＋１環状軌道へ入ることを特徴とする、請求項２２に記載のイオン注入装置。

【請求項２４】
第ｉ接続ラインがつながるイオンが入射する第ｉ＋１環状軌道のイオン入射部における貫通空間の両側面に電極が形成されており、前記電極に印加された電極れた電圧によって発生する電界により、第ｉ＋１環状軌道に入射するイオンの軌道を変化させてイオンが第ｉ＋１環状軌道を進行するようにすることを特徴とする、請求項２２または２３に記載のイオン注入装置。

【請求項２５】
前記第ｉ＋１環状軌道のイオン出射部において、前記貫通空間の２つの側面および上下の第１基板および第２基板にそれぞれ電極が形成され、前記イオン出射部の貫通空間の２つの側面に形成された電極による電界および前記イオン出射部の貫通空間の第１基板および第２基板に形成された電極による電界により、前記イオン出射部に入ったイオンが二次元的に走査されて前記イオン出射部から出射されることを特徴とする、請求項２２～２４のいずれかの項に記載のイオン注入装置。

【請求項２６】
前記第１線形加速部→前記第１円形軌道→第２線形加速部→前記第２円形軌道の環状軌道（第１環状軌道）の上側または下側に、さらに線形加速部→半円形軌道→線形加速部→半円形軌道の環状軌道（第２環状軌道）が存在し、第１環状軌道と第２環状軌道とを接続する接続ライン（第１接続ライン）が存在し、前記第２環状軌道および第１接続ラインは貫通空間を有し、イオンは前記第１環状軌道の貫通空間から出て第１接続ラインの貫通空間へ入り、前記第１接続ラインの貫通空間へ入ったイオンは前記第２環状軌道の貫通空間へ入り、
前記第２環状軌道を周回したイオンは前記第２環状軌道に備えた出射部へ入り、前記第２環状軌道の出射部からイオン注入装置の外側へ出射されることを特徴とする、請求項１～１７のいずれかの項にイオン注入装置。

【請求項２７】
第１接続ラインの出口部における貫通空間の第１基板および第２基板に電極が形成されており、前記電極に印加された電極れた電圧によって発生する電界により、第１接続ラインを通過するイオンがその軌道を変化させて前記第２環状軌道へ入ることを特徴とする、請求項２６に記載のイオン注入装置。

【請求項２８】
第１接続ラインがつながるイオンが入射する第２環状軌道のイオン入射部における貫通空間の上下基板に電極が形成されており、前記電極に印加された電極れた電圧によって発生する電界により、第２環状軌道に入射するイオンの軌道を変化させてイオンが第２環状軌道を進行するようにすることを特徴とする、請求項２６または２７に記載のイオン注入装置。

【請求項２９】
前記第２環状軌道のイオン出射部において、前記貫通空間の２つの側面および上下の第１基板および第２基板にそれぞれ電極が形成され、前記イオン出射部の貫通空間の２つの側面に形成された電極による電界および前記イオン出射部の貫通空間の第１基板および第２

基板に形成された電極による電界により、前記イオン出射部に入ったイオンが二次元的に走査されて前記イオン出射部から出射されることを特徴とする、請求項２６～２８のいずれかの項に記載のイオン注入装置。

【請求項３０】
請求項１～２９のいずれかの項に記載イオン注入装置の貫通空間の側面にパターンを形成する装置であって、前記貫通空間に挿入し、貫通空間の側面に対して貫通空間側面に形成した感光性膜へ光を照射する装置であることを特徴とする、貫通空間側面用露光装置。

【請求項３１】
前記貫通空間側面用露光装置は、基板の片面または両面に複数のＬＥＤ素子を搭載し、ＬＥＤ素子から光を透過する透明体基板を有することを特徴とする、請求項３０に記載の貫通空間側面用露光装置。

【請求項３２】
前記透明体基板には貫通空間側面に形成するパターンに対応した光を透過しないパターンが形成されていることを特徴とする、請求項３１に記載の貫通空間側面用露光装置。

【請求項３３】
請求項１～２９のいずれかの項に記載のイオン注入装置の貫通空間の側面にパターンを形成する装置であって、前記貫通空間に挿入し、前記貫通空間側面に形成した膜をエッチング除去するエッチングガスまたはエッチング液を噴出する装置であることを特徴とする、貫通空間側面用エッチング装置。

【請求項３４】
前記貫通空間側面用エッチング装置は、前記貫通空間の側面に略平行な２つの基板および前記２つの基板の間に空間（エッチングガスまたはエッチング液体滞留空間という）を有するものであり、前記２つの基板の１つまたは両方にエッチングガスまたはエッチング液を噴出する孔が複数存在し、エッチングガスまたはエッチング液は前記複数の孔から噴出することを特徴とする、請求項３３に記載の貫通空間側面用エッチング装置。

【請求項３５】
前記２つの基板のうち少なくとも１つは導電体基板であり、前記導電体基板とエッチングされる基板との間に電界を生じさせることにより、ドライエッチングによりパターン形成することを特徴とする、請求項３４に記載の貫通空間側面用エッチング装置。

【請求項３６】
請求項１～２９のいずれかの項に記載のイオン注入装置の貫通空間の側面に成膜する成膜（ＣＶＤ）装置であって、前記貫通空間に挿入し、前記貫通空間の側面に所定の膜を形成するための成膜ガスを噴出する装置であることを特徴とする、貫通空間側面用成膜装置。

【請求項３７】
前記貫通空間側面用成膜装置は、前記貫通空間の側面に略平行な２つの基板および前記２つの基板の間に空間（成膜ガス滞留空間という）を有するものであり、前記２つの基板の１つまたは両方に成膜ガスを噴出する孔が複数存在し、成膜ガスは前記複数の孔から噴出することを特徴とする、請求項３６に記載の貫通空間側面用成膜装置。

【請求項３８】
前記２つの基板のうち少なくとも１つは導電体基板であり、前記導電体基板と成膜される基板との間に電界を生じさせることにより、プラズマＣＶＤにより成膜することを特徴と

する、請求項３７に記載の貫通空間側面用成膜装置。

【請求項３９】
請求項１～２９のいずれかの項に記載のイオン注入装置の貫通空間の側面にメッキ膜を形成するメッキ装置であって、前記貫通空間に挿入し、前記貫通空間の側面に所定のメッキ膜を形成するためのメッキ液を噴出する装置であることを特徴とする、貫通空間側面用メッキ膜形成装置。

【請求項４０】
前記貫通空間側面用メッキ膜装置は、前記貫通空間の側面に略平行な２つの基板および前記２つの基板の間に空間（メッキ液滞留空間という）を有するものであり、前記２つの基板の１つまたは両方にメッキ液を噴出する孔が複数存在し、メッキ液は前記複数の孔から噴出することを特徴とする、請求項３９に記載の貫通空間側面用メッキ膜形成装置。

【請求項４１】
成膜される基板に電圧を印加してメッキ膜を形成することを特徴とする、請求項４０に記載の貫通空間側面用メッキ膜形成装置。

【請求項４２】
請求項１～２９のいずれかの項に記載のイオン注入装置の貫通空間の側面に感光性膜を形成する感光性膜形成装置であって、前記貫通空間に挿入し、前記貫通空間の側面に所定の感光性膜を形成するための感光性膜液を噴出する装置であることを特徴とする、貫通空間側面用感光性膜形成装置。

【請求項４３】
前記貫通空間側面用感光性膜形成装置は、前記貫通空間の側面に略平行な２つの基板および前記２つの基板の間に空間（感光性膜滞留空間という）を有するものであり、前記２つの基板の１つまたは両方に感光性膜液を噴出する孔が複数存在し、感光性膜液は前記感光性膜滞留空間から前記複数の孔を通して噴出することを特徴とする、請求項４２に記載の貫通空間側面用感光性膜形成装置。

【請求項４４】
請求項１～２９のいずれかの項に記載のイオン注入装置の貫通空間の側面に膜を形成する成膜装置であって、ターゲット基板を前記貫通空間に挿入し、前記ターゲット基板に高周波電界を印加することにより、前記貫通空間の側面に所定の膜を形成する装置であることを特徴とする、貫通空間側面用成膜装置。

【請求項４５】
前記高周波電界の印加は、低圧化でかつスパッタガスを導入して行なうことを特徴とする、請求項４４に記載の貫通空間側面用成膜装置。

【請求項４６】
請求項１～２９のいずれかの項に記載のイオン注入装置の貫通空間の内側側面を磨く研磨装置であって、研磨棒を前記貫通空間に挿入し、前記研磨棒を回転または往復運動させることによって、前記貫通空間を研磨する装置であることを特徴とする、貫通空間側面用研磨装置。

【請求項４７】
請求項１～２９のいずれかの項に記載のイオン注入装置の貫通空間の内側側面にパターンを転写する装置であって、転写パターンを付着した転写体を前記貫通空間に挿入して、転

写体を前記貫通空間内側側面に押し付けてパターン転写する装置であることを特徴とする、貫通空間側面用転写装置。

【請求項４８】
前記転写体は、円柱形転写棒であり、前記円柱形転写棒を前記貫通空間の内側側面に押し付けながら回転させてパターン転写することを特徴とする、請求項４７に記載の貫通空間側面用転写装置。

【請求項４９】
前記転写体は、転写板であり、前記転写板を前記貫通空間の内側側面に押し当ててパターン転写することを特徴とする、請求項４７に記載の貫通空間側面用転写装置。

【請求項５０】
前記転写パターンは、導電体膜パターンまたは絶縁膜パターンであることを特徴とする、請求項４７～４９のいずれかの項に記載の貫通空間側面用転写装置。

【請求項５１】
請求項１～２９のいずれかの項に記載のイオン注入装置の貫通室を有する主基板の作製方法であって、イオン注入装置の貫通室を有する主基板と同じ構造体またはイオン注入装置の貫通室を有する主基板と同じ構造体を複数重ねた構造体を用いてモールド（型）を作製する工程、前記モールドに前記主基板と同じ材料の溶融材料を流し込んで冷却固化するか、前記モールドに前記主基板と同じ材料の粉末材料を入れて焼結させるかして、インゴットを作製する工程を含むことを特徴とする、イオン注入装置の貫通室を有する主基板の作製方法。

【請求項５２】
前記インゴットを厚み方向に切断し所定の厚みのイオン注入装置の貫通室を有する主基板を作製する工程を含むことを特徴とする、請求項５１に記載のイオン注入装置の貫通室を有する主基板の作製方法。

【請求項５３】
前記イオン注入装置の貫通室を有する主基板と同じ構造体は、３Ｄプリンターで作製することを特徴とする、請求項５１または５２に記載のイオン注入装置の貫通室を有する主基板の作製方法。

【請求項５４】
請求項１～２９のいずれかの項に記載のイオン注入装置を３Ｄプリンターで作製することを特徴とする、イオン注入装置の作製方法。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、加速器を用いた加速装置およびその製造方法に関する。たとえば、シンクロトロン、マイクロトロン、線形加速器、質量分析装置、イオン注入装置に関する。
【背景技術】
【０００２】
加速装置は、陽子同士を衝突させて物質の成立を知るために使用したり、加速粒子軌道を曲げたときに発生する放射光を用いた微細パターン形成に使用したり、半導体の表面にイオンを打ち込むイオン注入を行ない活性層や表面改質を行なったり、物質から出るイオンを質量分析して物質の組成や構造を調査したり、ガン細胞に荷電粒子を打ち込み破壊する

など人間の病気治療に利用したりするなど、様々な分野で利用されている。
しかし、加速粒子の運動には超真空（１０$^{-3}$～１０$^{-6}$torr以下）が必要であり、高速の加速粒子にはかなり大きなサイズの空洞（たとえば、500㎜以上）が必要であり、その中を通る加速粒子を加速したり、曲げたり、収束するには、大きな電場や大きな磁場を発生する電場発生装置や磁場発生装置が必要である。たとえば、荷電粒子を加速するには静電レンズを用いるが、数枚の静電レンズ（加速電極）を正確に平行にして荷電粒子の通る孔を正確にそろえなければならないので、それなりに大きなサイズの電極（たとえば、孔サイズ20㎜径以上、電極サイズ300㎜径以上）が必要で、しかもそれらを超真空の空洞内に入れる必要がある。従って、真空系も大きくなり、真空ポンプもかなり大きくて性能の良いものを使用する必要がある。さらに、磁場発生装置はその空洞（真空ライン）に入れるほどの大きさにすることができないため、しかもその空洞を囲む側壁も存在するため、目標とする荷電粒子までの距離が長くなる（たとえば、500㎜以上）ので、大きな磁場発生装置が必要となる。そのような大きな磁場発生装置を超伝導材料の電磁石を用いて小さくしても冷却システムが大きくなるので、全体の磁場発生装置のサイズは殆ど変わらない。
近年、国際リニアコライダ（ILC）を日本で建設しようという計画が出ているが、この建設には１兆円以上の費用がかかり、その維持費も500億円/年はかかるので、その建設も決断できないでいる。
【０００３】
さらに、近年、食の安全性が叫ばれているが、食品や飲料水に含まれている物質を簡便に迅速に、しかも個人で知ることは困難である。福島原発事故による土壌等の環境汚染がどの程度身近に迫っているか、個人では把握する術がない。知らない間に人間は放射能や毒物に汚染され、気が付いた時には深刻な事態となっていることも多い。現状の装置では、サイズが大きく、重く、携帯できる精密分析装置はない。しかも装置価格が高いため入手が困難である。
犯罪も複雑化し原因特定・犯人特定まで長期間要しているが、犯罪現場で迅速な分析が行なわれていれば、迅速に解決されるケースも多い。たとえば、昨今脱法ドラッグによる事故や犯罪が問題になるが、販売店の摘発が追いつかない理由は現物を現場で押さえられないからである。そのために、その場で正確で精度の高い分析ができる測定装置が求められている。
考古学、環境科学等の現地調査を行ないながら科学研究を進める分野では、携帯用の精度の高い質量分析があれば、飛躍的に研究が前進する。また、装置が安価で小型であれば、大量な試料の分析を短時間に処理できるようになる。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００４】
【特許文献１】特開2003-036996
【特許文献２】特公平5-36902
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００５】
従来の加速装置は、荷電粒子を加速したり、曲げたり、また収束したりするために大きなサイズの電場発生装置や磁場発生装置を用いている。それらを精密に位置合わせする技術もかなり高度となり、加速装置の作製は手作りであるので、大量に安く早く作ることは不可能であった。
また、超小型軽量で携帯可能であり、現場で簡便に迅速に測定できる質量分析装置を提供する。しかも価格も従来品より格段に安価であり、さらに測定精度も従来と同等以上である。具体的には、半導体・ＭＥＭS技術により、４～８インチ基板（このサイズより大きな基板でも良い）を用いて、当該基板内に試料供給部・イオン化部・引き出し電極部・質量分析部（二重収束型）・イオン検出部を持つ高性能・高精度・超小型の質量分析装置を

作製する。超小型軽量で、携帯可能であり、その場分析も可能なので、137Cs等の放射性元素等の現地計測や家庭での食品・飲料水分析も迅速に行なうことができる。従来型の1/10～1/100のコストになるので、1台／１人の質量分析装置を持つ時代を実現し、安全安心の社会を作ることが求められている。

【課題を解決するための手段】

【０００６】

本発明は、Si基板等の半導体基板等に形成された貫通室の上下を、ガラス基板や石英基板等の絶縁基板で塞ぎ、その貫通室を加速イオン等の荷電粒子の通り道とし、かつその貫通室の中に引き出し電極、加速電極、加速空洞、四重極電極、四重極トラップ等の加速装置や質量分析装置等に必要なものをＬＳＩプロセスを用いて形成する。

具体的には、本発明は次のような特徴を有する。

（１）

本発明は、第１主基板、第１主基板の上面に付着した第１上部基板、および第１主基板の下面に付着した第１下部基板を含む複数の基板から構成される質量分析装置であって、質量分析室は、＜ここからは後＞

第１主基板に形成された、第１主基板の上面から第１主基板の下面へ貫通する貫通室であり、基板面に垂直方向（Ｚ方向）が上部基板および下部基板に、Ｚ方向と直角方向でありかつ荷電粒子の進行方向（Ｘ方向）の両側は第１主基板側板に、およびＺ方向およびＸ方向に直角方向（Ｙ方向）の両側面は第１主基板に囲まれており、荷電粒子の入射する第１主基板側板は中央孔が空いていて、荷電粒子は前記第１主基板側板に形成された中央孔より質量分析室へ入射することを特徴とする質量分析装置であり、

第１主基板は、絶縁体基板、半導体基板、導電体基板、またはこれらの積層基板であることを特徴とし、

上部基板および下部基板は、ガラス基板、石英基板、プラスチック基板、アルミナ基板、ＡｌＮ基板、セラミック基板、高分子基板、またはこれらの積層基板であることを特徴とし、

前記主基板が絶縁体基板である場合は、ガラス基板、石英基板、プラスチック基板、アルミナ基板、ＡｌＮ基板、セラミック基板、高分子基板、またはこれらの積層基板であることを特徴とし、

前記主基板が半導体基板である場合は、Ｓｉ基板、ＳｉＣ基板、Ｃ基板、ＧａＡＳ基板、ＩｎＰ基板、ＧａＮ基板、ＣｄＳ基板、２元化合物半導体、３元化合物半導体、またはこれらの積層基板であることを特徴とし、

前記主基板が半導体基板である場合は、導電体基板である場合は、Ｃｕ、Ａｌ、Ｔｉ、Ｚｎ、Ｆｅ、これらの金属を含む合金、またはこれらの積層基板であることを特徴とする。

【０００７】

（２）

本発明は、質量分析室は四重極質量分析室であり、質量分析室において、

前記上部基板の下面に付着または形成した２本の四重極電極および前記下部基板の上面に付着または形成した２本の四重極電極を有し、

前記上部基板の下面に配置した２本の四重極電極に接続する上部基板に形成されたコンタクト配線（上部基板コンタクト配線）および前記上部基板コンタクト配線に接続する上部基板上面に形成された電極・配線（上部基板上面電極・配線）、並びに

前記下部基板の上面に配置した２本の四重極電極に接続する下部基板に形成されたコンタクト配線（下部基板コンタクト配線）および前記下部基板コンタクト配線に接続する下部基板下面に形成された電極・配線（下部基板下面電極・配線）を有し、

前記上部電極・配線および前記下部電極・配線から高周波電圧および／または直流電圧を印加することを特徴とする質量分析装置であり、

上部基板の下面に配置された２つの四重極電極および下部基板の上面に配置された２つの四重極電極のうち、互いに隣り合わない２つの四重極電極の間の距離はほぼ同じであり、それらの間の中点はほぼ一致することを特徴とし、

上部基板の下面に配置された２つの四重極電極および下部基板の上面に配置された２つの四重極電極のうち、互いに隣り合う２つの四重極電極の間の距離はほぼ同じであることを特徴とする。

【０００８】

（３）

本発明は、上部基板（第１上部基板）上または上方に第２主基板が付着し、さらに第２主基板上に第２の上部基板（第２上部基板）が付着し、前記貫通室（第１貫通室）の上部において第２主基板に第２上部基板から第１上部基板へ貫通する貫通室（第２貫通室）が形成され、第１貫通室と第２貫通室との間の第１上部基板の一部に開口部が設けられており、前記開口部は第１上部基板の下面に配置した２つの四重極電極の間に形成されており、前記第１上部基板の下面に配置した四重極電極に接続する第１上部基板上に形成された電極・配線は、第２貫通室側面に形成された配線（第２配線）に接続し、第２配線は第２上部基板下面に形成された電極・配線に接続し、さらに第２上部基板下面に形成された電極・配線は第２上部基板に形成されたコンタクト配線（第２上部基板コンタクト配線）に接続し、第２上部基板コンタクト配線は第２上部基板上に形成された電極・配線（第２上部電極・配線）に接続することを特徴とし、

下部基板（第１下部基板）の下面にまたは下方に第３主基板が付着し、さらに第３主基板の下面に第２の下部基板（第２下部基板）が付着し、前記貫通室（第１貫通室）の下部において第３主基板に第２下部基板から第１下部基板へ貫通する貫通室（第３貫通室）が形成され、第１貫通室と第３貫通室との間の第１下部基板の一部に開口部が設けられており、前記開口部は第１下部基板の上面に配置した２つの四重極電極の間に形成されており、前記第１下部基板の上面に配置した四重極電極に接続する第１下部基板の下面に形成された電極・配線は、第３貫通室側面に形成された配線（第３配線）に接続し、第３配線は第２下部基板上面に形成された電極・配線に接続し、さらに第２下部基板上面に形成された電極・配線は第２下部基板に形成されたコンタクト配線（第２下部基板コンタクト配線）に接続し、第２下部基板コンタクト配線は第２上部基板の下面に形成された電極・配線（第２下部電極・配線）に接続することを特徴とし、

前記第２上部電極・配線および前記第２下部電極・配線から高周波電圧および／または直流電圧を印加することを特徴とする質量分析装置であり、

第２上部基板および第２下部基板は、ガラス基板、石英基板、プラスチック基板、アルミナ基板、ＡｌＮ基板、セラミック基板、高分子基板、またはこれらの積層基板であることを特徴とし、

前記第２主基板および第３主基板が絶縁体基板である場合は、ガラス基板、石英基板、プラスチック基板、アルミナ基板、ＡｌＮ基板、セラミック基板、高分子基板、またはこれらの積層基板であることを特徴とし、

前記第２主基板および第３主基板が半導体基板である場合は、Ｓｉ基板、ＳｉＣ基板、Ｃ基板、ＧａＡＳ基板、ＩｎＰ基板、ＧａＮ基板、ＣｄＳ基板、２元化合物半導体、３元化合物半導体、またはこれらの積層基板であることを特徴とし、

前記第２主基板および第３主基板が半導体基板である場合は、導電体基板である場合は、Ｃｕ、Ａｌ、Ｔｉ、Ｚｎ、Ｆｅ、これらの金属を含む合金、またはこれらの積層基板であることを特徴とする。

【０００９】

（４）

本発明は、質量分析室は四重極質量分析室であり、質量分析室の上部に付着した上部基板の上面に１本の四重極電極が配置され、質量分析室の下部に付着した下部基板の下面に１本の四重極電極が配置され、質量分析室の隣に設けた主基板に形成された左右の貫通室のそれぞれに１本の四重極電極が配置されていることを特徴とする質量分析装置であり、

質量分析室の隣に主基板に形成された左右の貫通室は、質量分析室との間に基板側壁が存在することを特徴とし、

四重極電極は、棒材であり、当該棒材を上部基板、下部基板、および主基板の所定箇所に

付着させたものであることを特徴とし、
四重極電極は、上部基板または下部基板にＣＶＤ法、ＰＶＤ法、メッキ法、電鋳法、スクリーン印刷、スキージ法、スピンコート法、ディスペンス法、またはこれらの組合せ法により積層し、所定形状に加工した導電体膜電極であることを特徴し、
質量分析室は四重極質量分析室であり、質量分析室の上部に付着した上部基板の下面であって質量分析室側の面に付着または形成した２本の四重極電極が配置され、質量分析室の下部に付着または形成した下部基板の上面であって質量分析室側の面に付着した２本の四重極電極が配置されていることを特徴とする質量分析装置であり、
２本の四重極電極を付着または形成した上部基板（第１上部基板）の上方にさらに貫通室（第２貫通室）が形成され、第２貫通室の上部に第２上部基板が付着し、前記質量分析室（第１貫通室）と第２貫通室との間にある第１上部基板の一部が除去されて、第１貫通室と第２貫通室の圧力は、ほぼ同じであることを特徴とし、
２本の四重極電極を付着または形成した下部基板（第１下部基板）の下方にさらに貫通室（第３貫通室）が形成され、第３貫通室の下部に第２下部基板が付着し、前記質量分析室（第１貫通室）と第３貫通室との間にある第１下部基板の一部が除去されて、第１貫通室と第３貫通室の圧力は、ほぼ同じであることを特徴とする。
（５）
本発明は、質量分析室は、上部基板の下面に付着または形成した１本の四重極電極（第１四重極電極）、下部基板の上面に付着または形成した１本の四重極電極（第２四重極電極）、質量分析室の一方の側面の基板の一部が質量分析室内のＹ方向に伸び、その伸びた側面の基板の上面または下面に付着または形成した１本の四重極電極（第３四重極電極）、および質量分析室の他方の側面の基板の一部が質量分析室内のＹ方向に伸び、その伸びた側面の基板の上面または下面に付着または形成した１本の四重極電極（第４四重極電極）を含むことを特徴とし、
上部基板は、第１四重極電極に接続するコンタクト配線（第１上部基板コンタクト配線）およびその上面に前記第１コンタクト配線に接続する電極・配線（第１上部基板電極・配線）を有し、
下部基板は、第２四重極電極に接続するコンタクト配線（第１下部基板コンタクト配線）およびその下面に前記第２コンタクト配線に接続する電極・配線（第１下部基板電極・配線）を有し、
第３四重極電極が付着または形成した側面基板は、第３四重極電極と接続する配線を有し、その配線は主基板の側面に形成された配線に接続し、さらにその側面に形成された配線は上部基板または下部基板に形成された配線に接続し、さらにその配線は上部基板または下部基板に形成されたコンタクト配線（第２上部基板コンタクト配線または第２下部基板コンタクト配線）に接続し、さらにその第２上部基板コンタクト配線または第２下部基板コンタクト配線は上部基板の上面または下部基板の下面に形成された電極・配線（第２上部基板電極・配線または第２下部基板電極・配線）に接続することを特徴とする。
【００１０】
（６）
本発明は、前記上部基板（第１上部基板）の上方にさらに貫通室（第２貫通室）が形成され、第２貫通室の上部に第２上部基板が付着し、前記質量分析室（第１貫通室）と第２貫通室との間にある第１上部基板の一部が除去されて、第１貫通室と第２貫通室の圧力は、ほぼ同じであることを特徴とし、
前記下部基板（第１下部基板）の下方にさらに貫通室（第３貫通室）が形成され、第３貫通室の下部に第２下部基板が付着し、前記質量分析室（第１貫通室）と第３貫通室との間にある第１下部基板の一部が除去されて、第１貫通室と第３貫通室の圧力は、ほぼ同じであることを特徴とし、
質量分析室は四重極質量分析室であり、質量分析室において、
前記上部基板の下面に付着または形成した四重極電極（第１四重極電極）および前記下部基板の上面に付着または形成した四重極電極（第３四重極電極）を有し、

前記上部基板の下面に配置した四重極電極（第１四重極電極）に接続する上部基板に形成されたコンタクト配線（上部基板コンタクト配線）および前記上部基板コンタクト配線に接続する上部基板上面に形成された電極・配線（上部基板上面電極・配線）、並びに
前記下部基板の上面に配置した四重極電極（第３四重極電極）に接続する下部基板に形成されたコンタクト配線（下部基板コンタクト配線）および前記下部基板コンタクト配線に接続する下部基板下面に形成された電極・配線（下部基板下面電極・配線）を有し、
前記主基板のＹ方向の２つの側面に形成した四重極電極（第２四重極電極および第４四重極電極）を有し、
第２四重極電極および第４四重極電極は、前記上部基板および／または下部基板に形成されたコンタクト配線、および上部基板の上面および／または下部基板の下面に形成された電極・配線（上部基板上面電極・配線および／または下部基板下面電極・配線））を有し、
前記上部基板上面電極・配線および前記下部基板下面電極・配線から高周波電圧および／または直流電圧を印加することを特徴とする。

【００１１】

（７）

本発明は、前記第２四重極電極および第４四重極電極は主基板に形成された貫通室内に積層された導電体膜であり、前記導電体膜の一部はメッキ膜であることを特徴とし、
質量分析室は、磁場印加型であり、質量分析室を形成する主基板の上部に付着した上部基板の上側に配置された１つまたは複数のコイルおよび／または質量分析室を形成する主基板の下部に付着した下部基板の下側に配置された１つまたは複数のコイルにより、主基板の基板面に対して垂直方向の磁場が発生することによって、荷電粒子の軌道が変化することを用いたことを特徴とし、
質量分析室は、磁場印加型であり、質量分析室を形成する主基板の上部に付着した上部基板の上側および／または前記主基板の下部に付着した下部基板の下側に配置された電磁石により、主基板の基板面に対して垂直方向の磁場が発生することによって、荷電粒子の軌道が変化することを用いたことを特徴とし、
上部基板の上側および／または下部基板の下側に配置される１つまたは複数のコイルは、第２主基板に積層により形成されたものであることを特徴とし、
荷電粒子は、荷電粒子引き出し室または荷電粒子加速室から質量分析室に出射され、荷電粒子引き出し室または荷電粒子加速室と質量分析室との間には、中央孔を有する基板側壁板（前方基板側壁板）が配置され、荷電粒子は前記前方基板側壁板の中央孔を通って質量分析室へ出射されることを特徴とし、
質量分析室を出た荷電粒子はイオン検出室でイオン検出され、前記イオン検出室は主基板に形成された貫通室であり、質量分析室とイオン検出室との間には、中央孔を有する基板側壁板（後方基板側壁板）が配置され、荷電粒子は前記後方基板側壁板の中央孔を通ってイオン検出室側へ出射されることを特徴とし、
荷電粒子は、磁場により３６０度方向へ曲げられることを特徴とし、イオン検出室は３６０度の領域において、複数配置されることを特徴とする。

【００１２】

（８）

本発明は、質量分析室は、電場印加型をさらに付加した二重収束型であり、前記電場印加型における荷電粒子が通過する領域は、主基板に形成され、上面（Ｚ方向）が上部基板に下面（Ｚ方向）が下部基板に側面（Ｙ方向）が主基板側面に囲まれた扇型形状の貫通室（扇型領域貫通室）を含む貫通室（電場印加型貫通室）であり、電場印加型貫通室のＸ方向は中央孔を有する基板側壁板により囲まれており、荷電粒子は一方の基板側壁板の中央孔より侵入し、電場印加型貫通室で荷電粒子の軌道が曲げられて、他方の基板側壁板の中央孔より出射することを特徴とし、電場印加型貫通室は、中心軌道が半径Ｒ0、中心角がα、中心軌道から一定距離d0の対面する主基板両側面に電極が形成され、荷電粒子は両側面に形成された電極に印加された電圧により発生する電界によって曲げられることを特徴と

し、
電場印加型貫通室における側面電極は、CVD法またはPVD法により積層された導電体膜にさらにメッキ膜を積層したものであることを特徴とし、
側面電極と接続するコンタクト配線は、電場印加型貫通室の上面に付着した上部基板に形成され、上部基板の上面に形成された電極・配線に接続し、および／または電場印加型貫通室の下面に付着した下部基板に形成され、下部基板の下面に形成された電極・配線に接続することを特徴とする。
【００１３】
（９）
荷電粒子が進入しサイクロトロン運動をする貫通室（ＩＣＲ室）は、イオン源からの荷電粒子の進入口である中央孔を有する基板側壁板（引き出し電極用基板側壁板）、荷電粒子の進行方向にあり、引き出し電極用基板側壁板と対面し、サイクロトロン運動した荷電粒子が衝突する基板側壁（トラップ電極用基板側壁）、ＩＣＲ室の上部に付着する上部基板、およびＩＣＲ室の下部に付着する下部基板、荷電粒子と進行方向と略平行な２つの基板側壁（レシーバー電極用基板側壁）により囲まれており、引き出し電極用基板側壁板の表面は荷電粒子を中央孔からＩＣＲ室へ引き寄せる引き出し電極となる導電体膜電極が形成されており、トラップ電極用基板側壁の表面は荷電粒子をトラップする電圧が印加される導電体膜電極が形成されており、上部基板および下部基板には荷電粒子を励起する電圧が印加される導電体膜電極が形成されていることを特徴とし、
ＩＣＲ室において、荷電粒子の進行方向となる引き出し電極からトラップ電極へ向かう方向に平行な磁場が印加されていることを特徴とし、
前記磁場を発生させるコイル配線は、上部基板および下部基板に密着して形成され、さらに、主基板の外側側面に密着して形成されているか、または主基板および上部基板および下部基板の内部に形成されていることを特徴とし、
上部基板上に支柱基板が付着し、さらに支柱基板の上に第２上部基板が付着しており、下部基板上に支柱基板が付着し、さらに支柱基板の上に第２下部基板が付着しており、前記磁場を発生させるコイル配線は、上部基板および下部基板に密着して形成され、さらに、主基板の外側側面に密着して形成されており、
さらに、ＩＣＲ室内の引き出し電極、トラップ電極、２つの対向するイオン励起電極、および２つの対向するレシーバー電極と接続する電極配線は、上部基板および／または下部基板に形成されるとともに、上部基板、支柱基板、および第２上部基板に囲まれた空間内に存在するか、および／または下部基板、支柱基板、および第２下部基板に囲まれた空間内に存在し、さらにそれらの電極配線は、第２上部基板上および／または第２下部基板上に形成された電極配線と接続しており、コイルに接続する電極は第２上部基板上および／または第２下部基板上に形成された電極配線と接続していることを特徴とする。
【００１４】
（１０）
荷電粒子を発生させる荷電粒子発生室は、上部が上部基板に、下部が下部基板に付着した主基板に形成された２つの貫通室（荷電粒子発生室１、２）を含み、荷電粒子発生室１および荷電粒子発生室２は中央孔を有する基板側壁板（第１基板側壁板）で隔てられた隣室同士であり、上部基板に開口された開口部から挿入された試料板は荷電粒子発生室１に配置され、上部基板に開口された開口部からレーザービームが前記試料板に付着した試料に照射されることにより、試料が粒子状に分解され、分解された粒子（分解粒子）は基板側壁板が有する中央孔を通り荷電粒子発生室２に入り、レーザー光、電子ビーム、シンクロトロン放射光、Ｘ線から選択された１つのイオン化ビームが上部基板または下部基板の外側から荷電粒子発生室２内に存在する前記分解粒子へ照射されることにより荷電粒子が発生することを特徴とし、
荷電粒子発生室２の隣には中央孔を有する基板側壁板（第２基板側壁板）で隔てられた引き出し電極・加速室があり、
引き出し電極・加速室は、上部が上部基板に、下部が下部基板に付着した主基板に形成さ

れた貫通室であり、
荷電粒子発生室２の内面において、上部基板および下部基板、および／または第１基板側壁板の側面、および／または第２基板側壁板の側面、および／または他の２つの基板側壁の側面に導電体膜電極が形成され、
前記導電体膜電極は上部基板および／または下部基板に形成されたコンタクト配線に接続し、さらに前記コンタクト配線は上部基板および／または下部基板の外表面に形成された導電体膜電極・配線に接続することを特徴とし、
前記導電体膜電極に印加された電圧と同符号の荷電粒子は、引き出し電極・加速室に配置された引き出し電極により第２基板側壁板が有する中央孔を通って引き出し電極・加速室に引き寄せられることを特徴とし、
前記引き出し電極・加速室に入った荷電粒子は、前記引き出し電極・加速室から出て質量分析室に入ることを特徴とする質量分析装置であり、
荷電粒子発生室１において、試料板の背面は基板側壁の側面に密着して配置され、前記基板側壁には中央孔が備わり、さらの当該中央孔には上部基板または下部基板の開口部につながる主基板の厚み方向の空洞がつながり、当該上部基板または下部基板の開口部から真空引きされて試料板は基板側壁の側面に吸着されることを特徴とする。
【００１５】
（１１）
本発明は、荷電粒子を発生させる荷電粒子発生室は、上部が上部基板に、下部が下部基板に付着した主基板に形成された２つの貫通室（荷電粒子発生室１、２）を含み、荷電粒子発生室１および荷電粒子発生室２は中央孔を有する基板側壁板（第１基板側壁板）で隔てられた隣室同士であり、
上部基板に開口された開口部から挿入された試料板は荷電粒子発生室１に配置され、
荷電粒子発生室１において、試料板の背面は基板側壁の側面に密着して配置され、前記基板側壁には中央孔が備わり、さらの当該中央孔には上部基板または下部基板の開口部につながる主基板の厚み方向の空洞がつながり、当該上部基板または下部基板の開口部から真空引きされて試料板は基板側壁の側面に吸着され、
前記基板側壁側面に導電体膜が形成され、前記基板側壁側面に形成された導電体膜は上部基板および／または下部基板の荷電粒子発生室１側の表面に形成された導電体膜と接続し、その導電体膜はさらに上部基板および／または下部基板に形成されたコンタクト配線に接続し、そのコンタクト配線はさらに上部基板および／または下部基板の外側表面に形成された導電体膜電極配線に接続し、
その導電体膜電極配線から導電体である試料板に電圧が印加されており、
上部基板に開口された開口部からレーザービームが前記試料板に付着した試料に照射されることにより、試料が粒子状に分解されて荷電粒子が発生し、
試料板の電荷と同符号の荷電粒子は試料板から飛び出し、
試料板と対面する方向に中央孔を有する基板側壁板（第３基板側壁板）が配置され、第３基板側壁板の表面には導電体膜が形成され、前記第３基板側壁板表面に形成された導電体膜は上部基板および／または下部基板の荷電粒子発生室１側の表面に形成された導電体膜と接続し、その導電体膜はさらに上部基板および／または下部基板に形成されたコンタクト配線に接続し、そのコンタクト配線はさらに上部基板および／または下部基板の外側表面に形成された導電体膜電極配線に接続し、
その導電体膜電極配線から第３基板側壁板表面導電体に形成された導電体膜に試料板に印加された電圧と逆の電圧が印加され、試料板から飛び出した荷電粒子を引き出して、
前記荷電粒子は、第３基板側壁板に形成された中央孔を通り、さらに第１基板側壁板の中央孔を通って荷電粒子発生室２に入り、
荷電粒子発生室２の内面において、上部基板および下部基板、および／または第１基板側壁板の側面、および／または第２基板側壁板の側面、および／または他の２つの基板側壁の側面、および／または第１基板側壁板の中央孔の内面に導電体膜電極が形成され、
前記導電体膜電極は上部基板および／または下部基板に形成されたコンタクト配線に接続

し、さらに前記コンタクト配線は上部基板および／または下部基板の外表面に形成された導電体膜電極・配線に接続することを特徴とし、
前記導電体膜電極に印加される電圧は荷電粒子と同符号の電圧であり、当該電圧を調整することによって、荷電粒子を収束し、荷電粒子発生室２と隣室を隔てる基板側壁板（第２基板側壁板）が有する中央孔を通って隣室へ入射することを特徴とし、
前記第２基板側壁板が有する中央孔を通った荷電粒子は質量分析室に入ることを特徴とする質量分析装置である。
【００１６】
（１２）
本発明は、主基板の上面に上部基板、主基板の下面に下部基板を付着し、主基板に形成した貫通室をイオン化室とし、前記イオン化室へ接続する中央孔を有し、前記中央孔は上部基板または下部基板の開口部（試料導入用開口部）につながる主基板に形成された縦孔（基板面と垂直方向）に接続し、
中央孔内面に導電体膜（第２導電体膜）が形成され、イオン化室内面に導電体膜（第１導電体膜）が形成され、第１導電体膜および第２導電体膜はイオン化室主基板の側面に形成された導電体膜により接続され、第１導電体膜は上部基板および／または下部基板に形成されたコンタクト配線を通して上部基板および／または下部基板に形成された外側電極に接続することを特徴とし、
試料液または試料ガスは、試料導入用開口部から導入し、縦孔および中央孔を通して、イオン化室への出口でスプレーガスとしてイオン化室へ導入することを特徴とし、
上部基板および／または下部基板に形成された外側電極から電圧を印加することにより中央孔内面に形成された導電体膜に電圧が印加され、これによりイオン化室の出口部で噴出したガス（スプレーガス）はイオン化することを特徴とする、イオン化法である。
（１３）
本発明は、主基板の上面に上部基板、主基板の下面に下部基板を付着し、主基板に形成した貫通室をイオン化室とし、前記イオン化室へ接続する中央孔を有し、前記中央孔は上部基板または下部基板の開口部（試料導入用開口部）につながる主基板に形成された縦孔（基板面と垂直方向）に接続し、
中央孔内面において上部および下部に平行平板導電体膜電極、または中央孔内面において２つの側面に平行平板導電体膜電極が形成され、それぞれの平行平板導電体膜電極はイオン化室内側面に形成された導電体膜を通して、イオン化室内の上部基板および下部基板に形成した導電体膜に接続し、さらに上部基板および／または下部基板に形成されたコンタクト配線を通して上部基板および／または下部基板に形成された外側電極に接続することを特徴とし、
試料液または試料ガスは、試料導入用開口部から導入し、縦孔および中央孔を通して、イオン化室への出口でスプレーガスとしてイオン化室へ導入することを特徴とし、
上部基板および／または下部基板に形成された外側電極から高周波電圧を印加することにより中央孔内面に形成された導電体膜に高周波電圧が印加され、これによりイオン化室の出口部で噴出したガス（スプレーガス）はイオン化することを特徴とする、イオン化法である。
【００１７】
（１４）
本発明は、イオン化室の周囲の一部を囲む凹部および開口部を主基板および、上部基板および／または下部基板に形成し、この凹部に冷却用または加熱用媒体を通すことにより、イオン化室および／または中央孔を冷却または加熱を行なうことを特徴とする質量分析装置であり、
上部基板および／または下部基板に形成した導電体膜の一部を用いてイオン化室を加熱することを特徴とし
中央孔に形成した導電体膜の一部を用いてイオン化室を加熱することを特徴とし、
引き出し電極室と対面する基板側壁板または基板側壁に導電体膜電極を設けて、当該導電

体膜電極にイオンと同符号の電圧を印加することにより、イオンを引き出し電極室へ押し出すことを特徴とする。
（１５）
本発明は、主基板の上面に上部基板、主基板の下面に下部基板を付着し、主基板に形成した１つの貫通室をイオン化室とし、イオン化室の隣に主基板に形成した貫通室である加熱室を設けて、イオン化室と加熱室は中央孔（第２中央孔）を有する基板側壁板で仕切られているか、またはイオン化室と加熱室とは同じ貫通室であり仕切る基板側壁板はないかであり、
前記加熱室へ接続する中央孔（第１中央孔）を有し、第１中央孔は上部基板または下部基板の開口部（試料導入用開口部）につながる主基板に形成された縦孔（基板面と垂直方向）に接続し、
中央孔内面に導電体膜（第２導電体膜）が形成され、加熱室内面に導電体膜（第１導電体膜）が形成され、第１導電体膜および第２導電体膜は加熱室主基板の側面に形成された導電体膜により接続され、第１導電体膜は上部基板および／または下部基板に形成されたコンタクト配線を通して上部基板および／または下部基板に形成された外側電極に接続することを特徴とし、
試料液または試料ガスは、試料導入用開口部から導入し、縦孔および中央孔を通して、加熱室への出口でスプレーガスとして加熱室へ導入することを特徴とし、
上部基板および／または下部基板に形成された外側電極から電圧を印加し、第１導電体膜へ電流を流して第１導電体膜を加熱することにより加熱室を加熱することを特徴とし、
イオン化室において、上部基板および／または下部基板に尖塔電極を配置して、前記尖塔電極は上部基板および／または下部基板に形成したコンタクト配線を通して上部基板および／または下部基板に形成した外側電極に接続し、外側電極に電圧を印加することによって、尖塔電極で放電させて加熱されたスプレーガスをイオン化することを特徴とするイオン化法である。
【００１８】
（１６）
本発明は、イオン化室の周囲の一部を囲む凹部および開口部を主基板および、上部基板および／または下部基板に形成し、この凹部に冷却用または加熱用媒体を通すことにより、イオン化室および／または中央孔を冷却または加熱を行なうことを特徴とする質量分析装置であり、
上部基板および／または下部基板に形成した導電体膜の一部を用いてイオン化室を加熱することを特徴とし、
中央孔に形成した導電体膜の一部を用いてイオン化室を加熱することを特徴とし
引き出し電極室と対面する基板側壁板または基板側壁に導電体膜電極を設けて、当該導電体膜電極にイオンと同符号の電圧を印加することにより、イオンを引き出し電極室へ押し出すことを特徴とする。
（１７）
本発明は、主基板の上面に上部基板、主基板の下面に下部基板を付着し、主基板に形成した貫通室をイオン化室とし、
前記イオン室へ接続する中央孔（第１中央孔）を有し、第１中央孔は上部基板または下部基板の開口部（試料導入用開口部）につながる主基板に形成された縦孔（基板面と垂直方向）に接続し、
試料液は、試料導入用開口部から導入し、縦孔および中央孔を通して、イオン化室への出口でマトリックスが形成され、マトリックスへ上部基板または下部基板に形成された開口部を通して、外側からレーザーまたは高速原子ビームを照射し、その結果マトリックス中の分子がイオン化することを特徴とするイオン化法であり、
主基板の上面に上部基板、主基板の下面に下部基板を付着し、主基板に形成した貫通室をイオン化室とし、
前記イオン室へ接続する中央孔（第１中央孔）を有し、第１中央孔は上部基板または下部

基板の開口部（試料導入用開口部）につながる主基板に形成された縦孔（基板面と垂直方向）に接続し、
試料液は、試料導入用開口部から導入し、縦孔および中央孔を通して、イオン化室への出口でマトリックスが形成され、
イオン化室の隣にレーザーまたは高速原子ビーム室が配置され、レーザーまたは高速原子ビーム室からレーザーまたは高速原子ビーム室がマトリックスへ照射され、その結果マトリックス中の分子がイオン化することを特徴とする、イオン化法である。
【００１９】
（１８）
本発明は、イオン化室に隣接して主基板に形成した貫通室は引き出し電極室であり、引き出し電極室とイオン化室は中央孔（第２中央孔）を有する基板側壁板で仕切られており、基板側壁板と対面する基板側壁の側面に導電体膜電極が形成され、導電体膜はイオンと同符号の電圧が印加され、発生したイオンは当該導電体膜電極により押し出されて基板側壁板の第２中央孔を通って引き出し電極室へ出射されることを特徴し、
イオン化室の周囲の一部を囲む凹部および開口部を主基板および、上部基板および／または下部基板に形成し、この凹部に冷却用または加熱用媒体を通すことにより、イオン化室および／または中央孔を冷却または加熱を行なうことを特徴とし、
中央孔内面および／または貫通室内面に導電体膜を形成し、当該導電体膜に電流を流して発熱させて、中央孔および／または貫通室を加熱することを特徴とする。
（１９）
本発明は、主基板の上面を上部基板が、主基板の下面を下部基板が付着し、主基板にリング電極が形成され、リング電極の中央に形成された貫通室はイオントラップ室であり、イオントラップ室の上部は、上部基板に形成された上部電極（イオントラップ上部電極）が配置され、イオントラップ室の下部は、下部基板に形成された下部電極（イオントラップ下部電極）が配置され、
リング電極は、主基板のリング形状に導電体膜（リング導電体膜電極）を形成し、リング導電体膜電極は、上部基板および／または下部基板に形成されたコンタクト配線を通して上部基板および／または下部基板に形成された外側電極に接続し、
イオントラップ上部電極およびイオントラップ下部電極は、上部基板および下部基板に形成されたコンタクト配線を通して上部基板および下部基板に形成された外側電極に接続し、リング電極は、中央孔を有する主基板であり、イオントラップ室の隣に配置された一方の貫通室であるイオン化室または引き出し電極・加速電極室とイオントラップ室の間に配置され、またイオントラップ室の隣に配置された他方の貫通室であるイオン検出室とイオントラップ室の間に配置され、一方の中央孔はイオン化室からイオントラップ室に接続し、他方の中央孔はイオントラップ室からイオン検出室に接続し、
リング導電体膜電極、イオントラップ上部電極、およびイオントラップ下部電極に所定の電圧を印加することによって、イオン化室または引き出し電極・加速電極室からイオントラップ室に接続した中央孔を通ってイオントラップ室に入ったイオンはイオントラップ室に捕捉され、さらに捕捉されたイオンは、イオントラップ室からイオン検出室に接続した中央孔を通ってイオン検出室に出射され、イオン検出されることを特徴とする、イオントラップ型質量分析装置である。
【００２０】
（２０）
本発明は、主基板の上面を上部基板が、主基板の下面を下部基板が付着し、主基板にリング電極が形成され、リング電極の中央に形成された貫通室はイオントラップ室であり、イオントラップ室の上部は、上部基板に形成された上部電極（イオントラップ上部電極）が配置され、イオントラップ室の下部は、下部基板に形成された下部電極（イオントラップ下部電極）が配置され、
リング電極は、主基板のリング形状に導電体膜（リング導電体膜電極）を形成し、リング導電体膜電極は、上部基板および／または下部基板に形成されたコンタクト配線を通して

上部基板および／または下部基板に形成された外側電極に接続し、
イオントラップ上部電極およびイオントラップ下部電極は、上部基板および下部基板に形成されたコンタクト配線を通して上部基板および下部基板に形成された外側電極に接続し、リング電極は、中央孔を有する主基板であり、
イオントラップ室の上部に配置された一方の貫通室であるイオン化室または引き出し電極・加速電極室とイオントラップ室の間に配置され、またイオントラップ室の隣に配置された他方の貫通室であるイオン検出室とイオントラップ室の間に配置され、一方の中央孔はイオン化室からイオントラップ室に接続し、他方の中央孔はイオントラップ室からイオン検出室に接続し、
リング導電体膜電極、イオントラップ上部電極、およびイオントラップ下部電極に所定の電圧を印加することによって、イオン化室または引き出し電極・加速電極室からイオントラップ室に接続した中央孔を通ってイオントラップ室に入ったイオンはイオントラップ室に捕捉され、さらに捕捉されたイオンは、イオントラップ室からイオン検出室に接続した中央孔を通ってイオン検出室に出射され、イオン検出されることを特徴とする、イオントラップ型質量分析装置である。

【００２１】

（２１）

本発明は、上面から下面に貫通する複数の貫通室を有する主基板、主基板の上面に付着した上部基板、主基板の下面に付着した下部基板、貫通室を仕切る中央孔を有する基板側壁板を含む加速装置であって、荷電粒子は貫通室および基板側壁板の中央孔を通ることを特徴とする加速装置であり、
加速装置は、荷電粒子発生機構、線形加速機構を含み、荷電粒子発生機構、線形加速機構は貫通室に形成されることを特徴とし、
貫通室内に形成される電極および配線は、ＣＶＤ法、ＰＶＤ法、メッキ法、電鋳法から選択された１つまたは複数の方法により積層された導電体膜であり、上部基板および／または下部基板に形成されたコンタクト配線を通して上部基板および／または下部基板に形成された外側電極と接続することを特徴とし、
線形加速機構は、中央孔を有する基板側壁板に導電体膜を形成した電極（基板側壁板電極）を複数配置して構成され、前記基板側壁板電極に静電圧または高周波電圧を印加することにより、荷電粒子を加速または減速（集束）させることを特徴とし、
加速装置は、さらに減速（集束）機構を有しており、減速（集束）機構は、中央孔を有する基板側壁板に導電体膜を形成した電極（基板側壁板電極）を複数配置して構成され、前記基板側壁板電極に荷電粒子と逆電圧を印加することにより、荷電粒子を減速（集束）させることを特徴とする。

【００２２】

（２２）

本発明は、さらに減速（集束）機構を有しており、減速（集束）機構は、四極磁石で行なうことを特徴とする加速装置であり、
四極磁石は、荷電粒子の通路である基板内に作製した貫通室を有する基板の外側から縦方向（基板面に対して垂直方向）において上下方向に電磁石を配置し、荷電粒子の通路である基板内に作製した貫通室を有する基板の外側から横方向（垂直方向に対して直角方向）において両側に電磁石を配置することを特徴とし、
電磁石を横方向に配置する場合において、電磁石の配置場所における基板領域を切断して、その開口部に電磁石を配置することを特徴とし、
切断方法は、レーザーダイシングまたは高圧液体ジェットダイシングであることを特徴とし、
コイルを貫通室の両側の主基板内に配置することを特徴とし、
コイルは、上下基板および主基板を貫通する貫通孔内に導電体膜（貫通孔配線）を形成し、上下基板で貫通孔配線を結線する配線を形成してコイル配線を形成し、コイルの両端電極は上部基板および／または下部基板に形成されることを特徴とする。

（２３）
本発明は、貫通室（荷電粒子収束用貫通室）の両側に貫通室（コイル配置用貫通室）を形成し、コイル配置用貫通室へコイルを挿入してコイルを荷電粒子収束用貫通室の両側に配置することを特徴とし、
コイルは、支持基板に付着したコイルをコイル配置用貫通室に挿入して配置することを特徴とし、
コイルをコイル配置用貫通室の上部および下部に配置することを特徴とし、
コイルは上部基板および下部基板に密着または接近して配置することを特徴とし、
コイルを形成した基板（コイル形成基板）を上部基板および下部基板に付着させてコイルを配置することを特徴とする。

【発明の効果】
【００２３】
本発明は、ＬＳＩやＭＥＭＳプロセスを用いて、加速装置や質量分析装置に必要な各機能を基板内に一挙に形成するので、各機能部分（たとえば、加速電極）の相互間の位置関係が極めて正確に形成される。しかも電極間距離や荷電粒子の通る通路をmmオーダーやμｍオーダーで精密に形成できるので、サイズが極めて小さくなる。たとえば、電極間の距離が小さくなると電界強度が大きくなり、荷電粒子の加速や減速を効率的に制御できる。また、電極へ供給する高周波の周波数を大きくすることができるので、短距離でより大きな加速を行なうこともできる。さらに各機能部品を一括で作製できるので、製造コストが劇的に低減する。
【００２４】
本発明を質量分析装置へ適用した場合、本発明のような４インチ～８インチ｛直径100mm～200mm、厚み3mm以下(Si基板2mm、ガラス基板0.3mm×２)、８インチ以上も可能｝の基板を使用して、微小な試料供給部、イオン化室、引き出し電極・加速室、電場室、磁場室、イオン検出室（これらを機能部と呼ぶ）を作製したことは報告されていない。また、特許等のアイデアも発見されていない。増して、これらを一括して同じ基板で実現したことも報告はなく、新規性および進歩性・優位性を有する。
【００２５】
本質量分析装置は超小型｛本体：サイズ６インチウエハ(50cm^3)以下、重量130g以下｝であり、一括製造であるから、製造コストは１０万円以下｛本体：サイズ６インチウエハ｝を実現できる。従来品は、同性能であれば、50cm×50cm×50cm以上、20kg以上であるから、大きさ（体積）で1/2500以下、重量で1/100以下、価格で1/20以下であり、優位性は十分ある。（もちろん、これよりも大きなサイズも可能である。）各機能部を一括してしかも精度良く（1μm以下）作製できるので、他方式の部品組み立て方式に比較すると、はるかに正確に作製できるので、検出精度も従来と同程度以上は期待できる。本発明は超小型で軽いので携帯が可能であるから、その場観測ができる。しかし、従来品は携帯が殆どできないことから、その場観測は極めて困難であり、この点でも大きな優位性がある。
【００２６】
さらに、本質量分析装置では、磁場室に基板作製のコイルを使用する。基板同士でアライメントしてコイルを配置するので、配置精度が10μm以下で非常に良い。しかもコイルの大きさも1mm～10mmと小さいので、全体のサイズも大きくならない。このような基板コイルを使用した磁場室は新規性および進歩性が高い。価格やサイズも小さく、精度も高いので、従来品より格段に優位性を有する。尚、コイルは電子イオン化法にも使用する。これも新規性および進歩性が高い。

【図面の簡単な説明】
【００２７】
【図１】図１は、本発明の超小型加速装置の実施形態の一例を示す図である。
【図２】図２は、本発明の粒子発生装置１１の一例を示す図である。
【図３】図３は、荷電粒子の線形加速装置の構造を示す図である。
【図４】図４は、高周波導波管を用いた荷電粒子加速管の一例を示す図である。

【図５】図５は、本発明の荷電粒子加速装置を複数連結させた加速装置を示す図である。
【図６】図６は、本発明の荷電粒子加速装置の製造方法の一例を示す図である。
【図７】図７は、本発明の荷電粒子加速装置の製造方法の一例を示す図で、基板側壁形成後、導電体膜パターニングまでのプロセスを示す図である。
【図８】図８は、上側基板（主基板２０１Ｕ、上部基板２０２）と下側基板（主基板２０１Ｂ、下部基板２０３）の間にガラス基板２５１を挟んで静電結合で付着させる場合の荷電粒子加速装置の作製方法を示す図である。
【図９】図９は、引き出し電極構造の別の実施形態を示す図である。
【図１０】図１０は、中央孔を有する基板側壁電極を複数配置した加速空洞室を示す図である。
【図１１】図１１は、電磁石（コイル）の作製法を示す一実施形態である。
【図１２】図１２は、比透磁率μの高いコアを挿入した高性能のコイルを作製する方法を示す図である。
【図１３】図１３は、上下基板に配置するコイルの作製方法を示す図である。
【図１４】図１４は、本発明のコイル（電磁石）によって作製された四極電磁石構造を示す図である。
【図１５】図１５は、図１における偏向電磁石２５、３０、３４、３７等の荷電粒子通過空洞およびそこに配置された電磁石を示す図である。
【図１６】図１６は、図１で示した円形加速器（シンクロトロン）８－１を有する超小型加速装置１０－１をさらに１回り大きい円形加速器８－２に接続した図で、２重シンクロトロン（あるいは２サイクルシンクロトロン）を示す図である。
【図１７】図１７は、円形加速器８を分割して基板に作製する場合の模式図を示す図である。
【図１８】図１８は、本発明のマイクロ波イオン源を示す図である。
【図１９】図１９は、本発明の質量分析の一実施形態を示す図である。
【図２０】図２０は、四重極型質量分析室の作製方法の一例を示す図である。
【図２１】図２１は、四重極電極を基板に付着させる構造と方法の一例について説明する図である。
【図２２】図２２は、四重極電極を基板に付着させる構造と方法に関する別の例について説明する図である。
【図２３】図２３は、本発明の四重極電極の作製方法を示す図である。
【図２４】図２４は、四重極電極棒４０７を基板に付着する方法を説明する図である。
【図２５】図２５は、薄膜形成法を用いて四重極電極を質量分析室内部へ配置する方法について説明する図である。
【図２６】図２６は、八重極電極型の構造を示す図である。
【図２７】図２７は、本発明の主基板に扇型磁場が作用する質量分析室となる貫通室を持つ扇型磁場方式の質量分析装置を示す模式図である。
【図２８】図２８は、質量分析室で磁場により力を受けたイオンを多方向に配置したイオン検出装置でイオン検出する質量分析装置を示す図であり、
【図２９】図２９は、本発明の二重収束型質量分析装置を示す図である。
【図３０】図３０は、単収束扇型磁場アナライザーおよび二重収束扇型磁場アナライザーの１つの設計指針を示した図である。
【図３１】図３１は、本発明のＦＴＩＣＲを示す図である。
【図３２】図３２は、ＩＣＲ室のサイズを大きくする場合の構造を示す図である。
【図３３】図３３は本発明のコイルを配置したＦＴＩＣＲである。
【図３４】図３４は、図３３とは異なる本発明のコイルを配置したＦＴＩＣＲである。
【図３５】図３５は、図１９において説明したものとは別のイオン化法を示す図である。
【図３６】図３６は、別のイオン化法の実施形態を示す図である。
【図３７】図３７は、大気圧化学イオン化法について説明する図である。
【図３８】図３８は、尖塔電極を有するイオン化室の作製方法を示す図である。

【図３９】図３９は、高速原子衝撃法（FAB）の一種である連続フロー（CF）－FABイオン化を本発明に適用した実施形態を示す図である。
【図４０】図４０は、イオントラップ型質量分析装置の作製方法を示す図である。
【図４１】図４１は、荷電粒子がエンドキャップ電極６０９を通るイオントラップ質量分析装置を示す図である。
【図４２】図４２は、本発明を用いたダイノードを多数配置したイオン検出室を示す図である。
【図４３】図４３は、図４２で示す平行平板型電極を作製する方法の一実施形態を示す図である。
【図４４】図４４は、本発明の中央孔をチャネル形二次電子増倍管に適用した実施例を示す図である。
【図４５】図４５は、本発明の質量分析装置の概要図（基板面に垂直な断面図）である。
【図４６】図４６は、二重収束型質量分析部（電場部＋磁場部）（平面図）および（ｂ）多種イオン同時検出法（平面図）を示す図である。
【図４７】図４７は、電子イオン化部（断面図）を示す図である。
【図４８】図４８は、本発明の最終製品（本体のみ）のイメージ完成図である。
【図４９】図４９は、縦方向に形成したイオントラップ型質量分析装置を示す図である。
【図５０】図５０は、基板貫通孔また基板凹部の側壁へパターンを形成する方法または装置を示す図である。
【図５１】図５１は、貫通孔側壁エッチング装置を示す図である。
【図５２】図５２は、型（モールド）を用いて本発明の加速器や質量分析装置の貫通室を作製する方法を示す図である。
【図５３】図５３は、前面および後面に発光体を配置した露光装置を示す図である。
【図５４】図５４は、モールドインゴット法を用いた中央孔を形成する方法を示す図である。
【図５５】図５５は、中央孔が形成される部分の中央孔高さの略半分の位置で切断した基板に中央孔を形成する方法を示す図である。
【図５６】図５６は、貫通室内壁を研磨して平滑でなめらかな面にするための方法（（ａ））および貫通室内壁へパターンを転写する方法について説明する図（（ｂ）、（ｃ））である。
【図５７】図５７は、本発明のシンクロトロン方式基板型イオン注入装置を基板面に平行に見た平面図である。
【図５８】図５８は２つの環状軌道を有するシンクロトロン型イオン注入装置を示す図で（平面図）ある。
【図５９】図５９は、イオン出射ライン２１４３と２段目環状軌道２１４５との接続領域の状態を拡大したもの（基板と平行な平面図）である。
【図６０】図６０は、２段に積層したイオン注入装置の軌道連結部の断面を示す図である。
【図６１】図６１はＲＦＱ（Radio Frequency Quadrouple）型線形加速器の一例を示す図である。
【図６２】図６２は図６１に示すＲＦＱ型線形加速器の作製方法を示す図である。
【図６３】図６３は、線形加速器の別の加速方法（ＩＨ型）を示す図である。
【図６４】図６４は、別の線形加速室における加速方法を示す図である。
【発明を実施するための形態】
【００２８】
本発明は、基板または薄板（主基板または第1基板）において、その厚み方向に貫通溝（凹部とも記載）または貫通孔（以下、空洞とも記載）が形成されており、その空洞内を電子やイオン等の荷電粒子が高速で移動する加速器である。空洞の上には基板または薄板（第２基板）が、その空洞の両側の基板側壁上に付着しており、空洞の下にも基板または薄板（第３基板）（貫通溝の場合は、主基板の底面）が、その空洞の両側の基板側壁下に付

着している。従って、空洞は、その上下を第２基板および第３基板で、その横側を第１基板側壁で挟まれた気密空間となっている。気密空間である空洞の一部において、その空洞の上、および／または下、および／または両側の基板側壁の一部または全部がくり抜かれ（または孔が形成され）、そのくり抜かれた部分または孔（以下、真空伝達孔とも記載）から、空洞内の気体（空気、酸素、窒素など）が排気され、空洞内は所定の低圧状態（たとえば、真空に近い低圧状態）になっている。

【００２９】

空洞内の一部（または空洞の外側）において、空洞の上および／または下にコイルや電磁石や永久磁石が配置され、コイル等の作る磁界により空洞内を通る電子やイオン（以下、荷電粒子）は力を受けて、加速および／または偏向する。および／または、空洞内の一部（または空洞の外側）において、空洞の一方の横側および／または他方の横側にコイルが配置され、コイルの作る磁界により空洞内を通る荷電粒子は力を受けて、加速および／または偏向する。あるいは／および、空洞内の一部（または空洞の外側）において、空洞の上および／または下に電極配置され、電極の作る電界により空洞内を通る荷電粒子は力を受けて、加速および／または偏向する。および／または、空洞内の一部（または空洞の外側）において、空洞の一方の横側および／または他方の横側に電極が配置され、電極の作る電界により空洞内を通る荷電粒子は力を受けて、加速および／または偏向する。

【００３０】

第１基板内に荷電粒子発生部（室）を作製し、その荷電粒子発生部で発生させた荷電粒子を第１基板内に作製した空洞（これを（荷電粒子）導入空洞と呼ぶこともある）を通して、荷電粒子を加速させることができる空洞（これを（荷電粒子）加速空洞と呼ぶこともある）へ導くこともできる。あるいは、外部の荷電粒子発生装置を第１基板内に作製した空洞（これを（荷電粒子）（外部）導入空洞と呼ぶこともある）の外部との入り口（これを（荷電粒子）（外部）導入空洞入口と呼ぶこともある）と接続し、外部導入空洞を通して、荷電粒子を主基板内の空洞や加速空洞へ導くことができる。加速空洞内を運動する荷電粒子は、第１基板と外部とつながる荷電粒子排出出口（これを（荷電粒子）排出出口と呼ぶこともある）から外部へ出ていく。荷電粒子排出出口と加速空洞は第１基板内に作製した空洞（これを（荷電粒子）排出空洞と呼ぶこともある）でつながっている。加速された荷電粒子は、荷電粒子排出出口から出て、医療用途、分析用途、商品改質用途等種々の目的に適用できる。あるいは、荷電粒子排出出口はなく、主基板内に形成された分析室等でイオン分析される。

【００３１】

本発明の加速器（これを基板加速器と呼ぶこともある）は、フォトリソグラフィ法を用いたり、レーザーパターニング法、金型を用いた金型形成法、打ち抜きで作製する打ち抜き法などを用いて作製できるので、空洞幅や空洞深さが、0.1㎜～0.5㎜、または0.5㎜～1.0㎜、あるいは、１.0㎜～10㎜、あるいは、1cm～2cm、あるいは2cm～10cm、あるいは10cm以上のものが極めて正確に作製でき、また、直線形、多角形、円形、楕円形、双曲線形、あるいは他の曲線形の形状の加速器が所望の寸法で作製できる。たとえば、直線形であれば、１枚の基板の中に多数の直線空洞を形成し、その直線空洞を空洞の長さ方向に切りだし（たとえば、ダイシング法により）、その切りだしたものを空洞同士で連結していけば、任意の長さの線形加速器が作製できる。

【００３２】

たとえば、第１基板はSi基板であり、加速空洞幅を5㎜、加速空洞深さを5㎜とし、加速空洞の両横側における第１基板内に複数のコイル（長さ10㎜）が形成され、加速空洞の上下において厚さ0.5㎜のガラス基板（第２基板、第３基板）が第１基板に付着しており、その上下に複数のコイル（長さ20㎜）が配置されている場合、第１基板のサイズが500㎜×500㎜であるとき（あるいは、このサイズのものが作製できる円形ウエハ（直径が500√2=707㎜以上）であるとき）、１つの線形加速器は長さ500㎜、幅15㎜、高さ6㎜程度になり、１枚の基板(第１基板に第２基板と第３基板が付着し、その上下および／または左右にコイルが配置)から、約３３個（この1個1個を単位加速器と呼ぶ）が取れる。この単位加速

器を１０個連結させると、５ｍの線形加速器となるから、１枚の基板から１６．５ｍの線形加速器ができる。従って、１kmの加速器なら、６１枚の基板があれば良い。

【００３３】

円形加速器の場合も、１枚の基板だけで作製できる超小型加速器の場合、サイズの異なる円形軌道（円形空洞）を多数作製し、それらの間をつなぐ空洞（これを接続空洞と呼ぶこともある）を作製し、段階的に速度を上げて、それに応じて軌道を移動させていき、最後の軌道（通常は、最外側となる）で最終速度まで加速させて荷電粒子を外部へ放出する。本発明では、すべての空洞、コイル、電極等のパターンを同時に形成できるので、円形軌道の数に関係なくプロセスステップ数（製造工程の数）は変化なく、コストは殆ど変化がない。たとえば、最初に半径10mmの円形軌道とし、空洞の幅を5mm、次の円形軌道の大きさを25mmとし、その次の円形軌道の大きさを半径40mmとし、順次15mmずつ半径を大きくした同心円状の円形加速器にしたとき（空洞幅は、すべて5mm、空洞と空洞の間の間隔は10mm）、500mm円形ウエハでは、16個の円形軌道ができる。これらを順次接続し、各円形軌道で加速させていく。最初の小さな円形軌道で10m/secの速度で円運動をし、次の円軌道で4倍の速度にし、n番目で$10\times4^{n-1}$m/secにすると、最終の１６番目の円軌道で10万km/secになり、光の1/3の速度にできる。１つのウエハで超高速の荷電粒子を作製できる。

【００３４】

円形加速器のサイズが大きくなる場合は、線形加速器と同様に、基板を連結させて作製することができる。たとえば、１枚の基板のサイズが500mm×500mmであり、円形加速器の直径が1000mm(1m)である場合、４枚の基板に1/4円分ずつ作製し、その1/4円の基板４枚を接続すれば良い。もっと大きな円形加速器を作製するときは、たとえば、10000mm(10m)の円形加速器の場合、1000mm×1000mmの基板なら、約100枚の基板を接続すれば良い。

【００３５】

本発明は、加速器を基板上に作製したもので、加速空洞等の荷電粒子が通る空洞、荷電粒子を加速・減速または偏向する電界を発生する電極、荷電粒子を加速・減速または偏向する磁界を発生するコイル・電磁石を搭載するものである。図１は、本発明の超小型加速装置の実施形態の一例を示す図で、超小型加速装置は1枚の基板９に搭載され、荷電粒子発生装置１１、線形（型）加速装置１３、各種電磁石１５、１７、１９、２１、２２、２３、２６、２８、２９、３１、３２、３５、３６、偏向電磁石２５、３０、３４、３７、荷電粒子が通る空洞１２、１４、１６、１８、２０、２４、２７、３３、３８、４０、線形加速装置３９を有する。これらは一例であるから、ここに記載したものを省いたり、さらに加えたり、あるいは別の機能を有するものを付加することもできる。

【００３６】

荷電粒子発生装置１１で発生した荷電粒子は、空洞１２を通り線形加速装置１３で加速され、空洞１４を通り偏向電磁石１５で軌道を偏向し、さらに空洞１６を通り偏向電磁石１７で軌道を偏向いよび／または収束し、さらに空洞１８を通り偏向電磁石１９で軌道を偏向し、次の空洞２０を通過し、インフレクター２１を介して、円形加速器８において荷電粒子が通る空洞である蓄積リング２４に入射する。空洞２０の途中に線形加速装置４２を設けて、インフレクター２１へ入る荷電粒子の速度を調節することもできる。また、荷電粒子発生装置１１からインフレクター２１へ入射する途中で、他の偏向電磁石、加速電極、減速電極、線形加速装置等を設けても良い。また、その途中に他の偏向電磁石、加速電極、減速電極、線形加速装置、収束電磁石等を設けても良い。

【００３７】

インフレクター２１から円形加速器８の蓄積リング２４に入射した荷電粒子は、（水平方向用）収束電磁石２２、（垂直方向用）収束電磁石２２で収束し、偏向電磁石２５で偏向・加速し、次の蓄積リング２７へ入り、ここでも高周波加速空洞２９でさらに加速し、（垂直方向用）収束電磁石２６、（水平方向用）収束電磁石２８で収束し、偏向電磁石３０で偏向・加速し、次の蓄積リング３３へ入り、ここでも（垂直方向用）収束電磁石３１、（水平方向用）収束電磁石３２で収束し、偏向電磁石３４で偏向・加速し、次の蓄積リング３８へ入り、ここでも（垂直方向用）収束電磁石３５、（水平方向用）収束電磁石３６

で収束し、次の偏向電磁石３７で偏向・加速し、次の蓄積リング２４へ入る。このようにして、荷電粒子は、蓄積リング２４、２７、３３、３８中を加速しながら回り続け、所望の速度および所望の数の荷電粒子が得られたら、荷電粒子を外部へ導く空洞（これを荷電粒子排出空洞と呼ぶこともある）４０へ入り、荷電粒子排出空洞４０の出口４１から外部へ取り出す。荷電粒子排出空洞４０の途中に線形加速装置３９を設けて荷電粒子をさらに加速させても良い。また、その途中に他の偏向電磁石、加速電極、減速電極、線形加速装置、収束電磁石等を設けても良い。

【００３８】

以上のように、蓄積リング２４、２７、３３、３８は１つなぎになった環状通路となっている。また、種々の空洞は、各所に孔が形成され、その孔は真空引きラインにつながり、その真空引きラインはさらに外部の真空ポンプに接続し、各種空洞は真空に近い状態まで圧力が低下する。さらに、種々の空洞は、各所に孔が形成され、その孔から窒素、Ｈｅ、Ａｒ等の不活性ガス等のガスを導入することもでき、適宜空洞内部をクリーニングしたり、ガスパージできる。

【００３９】

図１に示すように、本発明は、電子またはイオンの粒子発生装置１１も主基板（第１基板）９内に配置する。この粒子発生装置１１の一例を図２に示す。図２に示す粒子（イオン発生装置は平行平板型電極を有するイオン発生装置である。図２（ａ）は基板平面に対して垂直な（基板厚み方向の）断面構造で、図２（ｂ）は平面構造図である。主基板５１内に、プラズマ発生室である空洞７６、プラズマ発生室７６で発生した電子、陽子や各種イオン等の荷電粒子を取り出し加速装置（図１の１３）へ導く空洞７７が形成され、主基板５１の上面に第２基板（上部基板）５３、主基板５１の下面に第３基板（下部基板）５２が付着されている。

【００４０】

プラズマ発生室７６において、下部基板５２上に（下部）電極５４が形成され、その周囲はシリコン酸化膜（またはシリコン窒化膜、シリコン酸窒化膜）等の絶縁膜５５が積層されて被覆されている。上部基板５３上に（上部）電極５８が形成され、その周囲はシリコン酸化膜（またはシリコン窒化膜、シリコン酸窒化膜）等の絶縁膜５９が積層されて被覆（保護）されている。これらの電極５４および５８は対向するようにパターニング・配置され、主基板５１の上下両面に第２基板５３および第３基板５２が付着される。下部基板５２にはコンタクト孔が開けられそのコンタクト孔にコンタクト電極（導電体膜）５６が形成され、さらに、下部基板５２の片面に取り出し電極５７が形成されている。上部基板５３にもコンタクト孔が開けられそのコンタクト孔にコンタクト電極６０が形成され、さらに、上部基板５３の片面に取り出し電極６１が形成されている。これらの電極５７および６１は、上下基板５２、５３を主基板５１に付着させたときに、外側に配置され、これらの電極間に整合回路７８および交流または高周波電極７９が接続され、一方の電極はアース接地される。

【００４１】

上部基板５３には、ガス導入孔７１、プラズマ発生室７６の気体を排気して低圧にする気体排気孔７２、７３、さらに加速装置側の空洞７７にも気体を排気して低圧にする気体排気孔７４が開けられている。これらのガス導入孔７１、気体排気孔７２、７３、７４には、上部基板５３の上面側にシール部６２が形成されており、このシール部６２にガス導入ライン６３、気体排気ライン６４、６５、６６が接続し、外部から外部気体（空気など）等がプラズマ発生室７６や空洞７７へ入らないように気密シールされている。気体排気ライン６４、６５は真空ポンプ６８、６９に接続され、プラズマ発生室７６は所定の圧力（たとえば、0.1atm～0.001atm）まで下げられ、その状態で取り出し電極５７、６１を通して上下電極５４および５８に高周波電圧印加すると、気体がプラズマ電離し、電子が発生したり、イオンになったりして、荷電粒子が発生する。たとえば、アルゴンガス（Ar）を導入すれば、Ar＋や電子等が発生する。メタン（CH4）ガスを導入すれば、種々のイオン(C－、CH＋、CH2+、CH3+、CH4+等)が発生する。ヒ素ガス（As）を導入すれば、As＋や電子

等が発生する。

【００４２】

電極５４および電極５８の電極間距離ｄ１は、主基板５１の厚みとほぼ同じ（厳密には、主基板の厚み－上下の電極厚み）であるから、主基板の厚みを１㎜とすれば、１００Ｖの印加により、１ＫＶ／cmの高電界が印加できるので、低電圧でプラズマ発生が可能である。もっと高電界を印加するには、高電圧をかける以外に、主基板の厚みを薄くしたり、あるいは、主基板（全体）の厚みを薄くできない場合は、電極を設ける部分だけの距離ｄ１を小さくするために、主基板を所定厚みだけエッチングしてその底部に電極を形成したり、あるいは上部基板または下部基板に突部を設けてその突部に電極を形成すれば良い。この突部は上部基板または下部基板に別基板を付着して作製することもでき、その突部を付けた上部基板または下部基板を主基板の上下に付着すれば良い。

【００４３】

加速装置側空洞７７にも気体排気ライン６６が接続し、真空ポンプ７０に接続されるが、加速装置側空洞７７の圧力は、プラズマ発生室７６に比較して、かなり低く（たとえば、10^{-3}atm～10^{-12}atm）なっている。従って、プラズマ発生室７６で発生したプラズマの一部は加速装置側空洞７７に導入される。また、加速装置側空洞７７には加速空洞が接続しているので、荷電粒子が加速装置側空洞７７へ引き寄せられる。尚、プラズマ発生室７６は加速装置側空洞７７より大きく記載しているが、プラズマが発生できる面積があれば良いので、加速装置側空洞７７が大きくなる場合もある。その場合、加速装置側空洞７７の方が低圧なので、プラズマ発生室７６と加速装置側空洞７７との間に開閉バルブを備えても良いし、プラズマ発生室７６と加速装置側空洞７７との間の一部を狭くしても良い。プラズマ流は８０の方向へ流れ、加速装置側へ入り込む。

【００４４】

プラズマ発生室７６と加速装置側空洞７７との間に引き出し電極８３が配置され、プラズマ発生室７６で発生したイオンを引き出しても良い。引き出し電極８３は、中央孔８４を有する主基板５１の基板側壁８１の周囲を導電体膜８２で覆った構造である。主基板５１の基板側壁８１は断面図（立面図）２（ａ）および平面図２（ｂ）からも分かるように加速装置空洞７７の内面周囲に張り出して形成され、中央に中央孔８４が形成されている。また、上部基板５３の下面（加速装置側空洞７７の内側面の上面）に導電体膜配線８５－１が形成され、この導電体膜配線８５－１は導電体膜８２と接続している。上部基板５３に形成されたコンタクト孔およびそこに形成された導電体膜８６は導電体膜配線８５－１とつながり、コンタクト孔内導電膜８６は上部基板５３上面に形成された外側電極・配線８７に接続する。この結果、引き出し電極８３に外側電極・配線８７からイオンや電子を引き出す電圧を印加することができる。

【００４５】

図２の引き出し電極８３には加装置側へ導くイオンと逆電荷の電圧を印加するが、図２の場合の引き出し電極８２は直接イオンに直面しているので、中央孔８４に入って加速するイオンのほかに引き出し電極８２の側面に衝突するイオンも多いので、イオンの引き出し効率が悪くなる可能性がある。そこで、中央孔８４の孔のサイズを調整してイオンを通り易くしても良い。たとえば、孔サイズを加速装置側空洞７７と同じサイズ、すなわち基板側壁８１を設けず、加速装置側空洞７７の周囲電極８５（上部基板下面の電極配線８５－１、主基板５１の側面電極８５－２、下部基板下面の電極配線８５－３、主基板５１の側面電極８５－４が連続して繋がった環状（矩形帯状）電極）だけにする場合、中央孔８４を基板側壁８２に設けてその中央孔サイズの大きさを変化させて最適値にし、その上に導電体膜８２を形成する場合などである。他に、引き出し電極８３の手前、イオン発生室７６側に導電体膜を設けない中央孔を有する基板側壁を設けて、引き出し電極８３の前方側の垂直壁電極を遮り、イオンが中央孔の方へ向かうようにする方法もある。

【００４６】

その他に図９に示す方法もある。図９は、引き出し電極構造の別の実施形態を示す図である。図９（ａ）は垂直断面図、図９（ｂ）は平面断面図である。図９においては、引き出

し電極８３の手前、イオン発生用電極５４、５８との間に収束用電極８９が存在する。図２における引き出し電極８３の基板側壁８１は上下基板５３、５２、主基板５１の側面にほぼ垂直になっているが、本実施形態では、基板側壁が傾斜していて加速装置側空洞７７－２（基板側壁８１を挟んで右側（加速空洞側）の空洞）の方へ徐々に狭くなり中央孔８４へつながる。中央孔８４のサイズが加速装置側空洞７７－２へ向かうにつれて徐々に小さくなると言っても良い。またこの部分を加速装置側空洞７７－２の入り口部８８としたとき、入り口部８８が加速装置側空洞７７－２側へ徐々に小さくなると言うこともできる。逆に、中央孔８４のサイズが加速装置側空洞７７－１（基板側壁８１を挟んで左側（イオン発生用電極側）の空洞）の方へテーパー状に傾斜して大きくなっていると言うこともできる。基板側壁５１－２が加速装置側空洞７７－２の方向に徐々に厚くなっているとも言える。さらに、図９（ｂ）に示すように、プラズマ（イオン）発生室７６の出口が加速装置側空洞７７の入り口より大きい場合に、平面的に見た時に、出口部４８が徐々に狭くなる形状に形成されている。（図２に示す場合は、図２（ｂ）に示すように、プラズマ（イオン）発生室７６の出口サイズと加速装置側空洞７７の入り口サイズは急に変化している。）この加速装置側空洞７７の入り口部８８の傾斜した主基板側面に導電体膜電極８９が形成され、この導電体膜電極８９には上部基板５３または下部基板に形成された導電体膜配線４５へ繋がり、その導電体膜配線４５は上部基板５３または下部基板に形成されたコンタクト孔およびその中の導電体膜配線４６を通して外側電極４７へ接続する。

【００４７】

この導電体膜電極８９はプラズマ（イオン）発生室７６の出口部の（平面的に見て傾斜した）主基板側面にも伸びて形成されている。また、中央孔の一部と加速装置側空洞７７－２の基板側壁８１の側面には導電体膜電極８２が形成されていて、外側電極８７へ接続している。導電体膜８９と導電体膜８２は接続していないので、外側電極４７と８７から異なった電圧を印加できる。すなわち、導電体膜８９にはイオンと同電荷の電圧を印加しておき、イオンが空洞の中央部へ収束するようにする。また、引き出し電極８２にはイオンと逆電荷の電圧を印加するので、イオンは引き出し電極８２へ引かれて加速して、空洞７７－１の中央孔８４を通って隣の加速空洞７７－２へ入る。加速が弱ければ、加速空洞７７－２へさらに中央孔を有する基板側壁に導電体膜を積層した加速電極（静電レンズ）を設けて、イオンを加速する。加速しすぎていれば、逆電位をかけて減速電極にすれば良い。本発明は、短い距離でも多数の加速電極および減速電極を設けて、それぞれに外側電極を簡単に作製できるので、所望の速度でイオンを加速空洞側空洞７７－１および７７－２の中を通すことができる。このように図９に示す構造によって、引き出し電極によりイオンが加速装置側空洞７７へ引き寄せられること、出口部や入り口部に印加したイオンと同電位によりイオンが収束されること（すなわち、中央側へ集まること）、出口部や入り口部が徐々に狭くなっているために出口部や入り口部がイオンと同電位でも反発して押し戻されるイオンは少ないことなどから、イオン発生室７６で発生したイオン（引き出し電極と逆電位）の多くが加速装置側空洞７７－２へ入っていき、加速されているためにさらに加速装置側へ進んでいく。テーパー状になった導電体膜８９をイオンの進行方向に対して幾つかに分割しておき、それぞれの電極に異なる電圧をかけるようにすることもできる。たとえば、イオンの進行方向に対して徐々に電圧を弱めていけば、イオンに印加される電界を一定にできるか、少しずつ弱めることもできる。（イオンの進行方向に対して見れば、イオンと電極との距離は小さくなるので同じ電圧印加だと電界が強くなる。）この結果、安定してイオンを進行方向（加速空洞７７－２側）へ送り出すことができる。あるいは、分割した導電体膜８９電極に収束電圧と加速電圧を選択して印加して、イオンを収束しつつ加速させることもできる。このように導電体膜８９電極を分割して個々に調整しながら電圧印加すれば、イオンを効率的に加速空洞７７－２側へ送り出すことが可能となる。

【００４８】

あるいは、傾斜した電極８９へイオンと逆電位の電位をかけて、さらにその電位より高い逆電位の電位を引き出し電極に印加することによっても多数のイオンを加速装置側空洞７７－２へ導くことができる。すなわち、イオン４９が進んでいくほど電界が大きくなって

いくので、イオン４９が中央に集まって進んでいくようになる。

【００４９】

次に、図２、図９に示すプラズマ（イオン）発生装置、加速空洞側空洞、引き出し電極、加速（減速）電極のプロセスについて説明する。まず、中央孔を持たない空洞を有するプラズマ（イオン）発生装置等について説明する。主基板（第１基板）５１として、導電体基板（Ｃｕ、Ａｌ、Ｔｉ、Ｚｎ等の金属やこれらの合金、導電性Ｃ（カーボンナノチューブ、グラフェン等も含む）、導電性プラスチック、導電性セラミック等も含む）、Ｓｉ、ＳｉＣ、Ｃ、化合物半導体等の半導体、プラスチック、ガラス、石英、アルミナ（Al_2O_3），ＡｌＮ、高分子樹脂、セラミック等の絶縁体等、これらの複合体を使用できる。上部基板（第２基板）や下部基板（第３基板）として、最適な基板は、内部にコンタクト孔を作製するので、プラスチック、ガラス、石英、アルミナ（Al_2O_3），ＡｌＮ、高分子樹脂、セラミック等の絶縁体であるが、主基板５１と同じ材料も使用できる。

【００５０】

主基板５１上に感光性膜を塗布法や貼り付け法等により付着し、露光法により感光性膜をパターニングする。主基板５１と感光性膜の間に絶縁膜やエッチングストッパー用の材料や感光性膜との密着性向上膜を付着させた後に感光性膜を付着しても良い。パターニングされた感光性膜をマスクにして主基板５１をエッチング除去し、主基板５１の上面から下面に貫通する貫通室を形成する。貫通室は寸法通り作製するためにサイドエッチングの小さい側面がほぼ垂直な形状が望ましいが、サイドエッチングをコントロールできれば垂直形状でなくても良い。主基板がＳｉ基板の場合、表面を酸化、窒化したり、ＳｉＯ２膜やＳｉＮ膜等の絶縁膜を積層した後に感光性膜シートを付着したり、レジストを塗布した後、適度な熱処理（プリベークなど）をし、露光法で所定の部分を窓開けする。この窓から、絶縁膜等を垂直エッチング（異方性エッチング）し、さらにこれらをマスクにして窓開け部分を垂直エッチング（異方性エッチング、ＤＲＩＥ、ボッシュ法等各種ある）して、貫通室を作製する。貫通室内に導電体膜パターンを形成する場合、ここで行なっても良い。主基板が半導体基板、導電体基板の場合、主基板の表面および貫通室の側面に絶縁膜を形成してから導電体膜を形成する。主基板５１に感光性膜シート付着法や、レジスト塗布法、感光性膜の電着法等により主基板５１の表面および側面に感光性膜を形成する。次に、露光法（斜め露光法、焦点深度の深い露光装置を使用）により、主基板５１の表面や側面の感光性膜パターニングを行なう。次に、この感光性膜のパターンをマスクにしてウエットエッチング法または等方性ドライエッチング法により導電体膜をエッチングし、所望の導電体膜パターンを形成する。この後必要なら導電性膜パターン上に絶縁膜の保護膜を形成する。後の上下基板の導電体膜と接続する部分については、同様のフォトリソ法＋エッチング法を用いて、その接続部分の導電体膜の窓開けを行なう。次に、上下基板の導電体膜との接続を良くするために窓開けした部分に導電体膜で凸状にしても（少し盛り上げておくと）良い。この方法として、再度の導電体膜の積層を行ない同様のフォトリソ法＋エッチング法を用いて、接続部分だけに導電体膜を残す方法や、あるいは選択CVD法やメッキ法等でその接続部に金属等を積層しておいても良い。

【００５１】

上部基板および下部基板には予め電極となる導電体膜パターンを形成する。上下基板がガラス基板、石英基板、プラスチック基板等の絶縁基板である場合は、直接導電体膜を積層できるが、密着性向上用に絶縁膜を積層後、導電体膜を積層しても良い。導電体膜は、Ｃｕ、Ａｌ、Ｔｉ、Ｗ、Ｍｏ、Ａｕ、Ｃｒ、Ｎｉ、導電性Ｃ、導電性PolyＳｉ，導電性プラスチック等、これらの合金、複合膜、積層膜等である。CVD法、PVD法、メッキ法、塗布法、スクリーン印刷法、これらの組合せ等を用いることができる。導電体膜を積層後、感光性膜を用いて露光法等で感光性膜パターンを作り、それをマスクにして導電体膜電極や必要な配線を形成する。導電体膜のエッチングはドライエットングやウエットエッチングを用いることができる。その導電体膜パターンを形成後絶縁膜等でカバーして保護膜を形成しても良い。絶縁膜等でカバーした場合は、上下基板に形成する導電体膜パターンとの接続部については、同様のフォトリソ法＋エッチング法を用いて、その接続部分の導電体膜

の窓開けを行なう。次に、上下基板の導電体膜との接続を良くするために窓開けした部分に導電体膜で凸状にしても（少し盛り上げておくと）良い。この方法として、再度の導電体膜の積層を行ない同様のフォトリソ法＋エッチング法を用いて、接続部分だけに導電体膜を残す方法や、あるいは選択CVD法やメッキ法等でその接続部に金属等を積層しておいても良い。その後、コンタクト孔、その中の導電体膜の形成、コンタクト孔上およびその他の部分への導電体膜、電極の形成を行なっても良い。また、上下基板にガス導入孔や真空引き用の開口部を設けても良い。この開口部は、ドライエッチングやウエットエッチングで行なうことができる。

【００５２】

次に、貫通室や導電体膜配線パターンを形成した主基板に上下基板をパターン合わせをしながら付着させる。主基板の導電体膜と上下基板の導電体膜との接続において、互いの接続領域が重なるようにお互いの導電体膜パターンを形成しておくと、接続しやすい。導電体膜同士の接続部には導電性接着剤（接着剤には低融点半田合金も含む）を付着して接着する。接着後所定の熱処理をして接続を確実にする。接着剤を用いない場合でも導電体膜の融点前後での熱処理や融着法により接続を確実にできる。圧力をかければ融点以下の熱処理でも導電体膜同士を接続できる。その他の部分も接着剤を用いた接着法や、常温接合法、拡散接合法、高温接合法を用いて接着できる。主基板５１がSi等の半導体基板や導電体基板であり、上下基板がガラス基板や石英基板や、アルミナ基板等である場合は陽極接合法を用いて接着できる。上下基板に設けたコンタクト穴を通して主基板の導電体膜へ接続することもできる。接着剤を用いた場合でも用いない場合でも、接合した後に、上下基板に設けた開口部を利用して、選択CVD法やメッキ法や電鋳法を用いて、接続部に導電体膜を積層できる。さらに、保護膜等でカバーされていない導電体膜部分にも導電体膜を積層できるので、確実な接続を行なうことができる。たとえば、開口部に石英チューブ、ガラスチューブ、耐熱性プラスチックチューブ、SUS等の金属チューブを接続して（耐熱性プラスチックパッキングを接触部に介在しても良い）そこから反応性ガス（たとえば、WF6ガス）を主基板の貫通室へ導入し、別の開口部からポンプで引きながら、反応性ガスを主基板の貫通室を流し、所定の温度で熱処理することによって、導電体膜同士の接続部など導電体膜が露出した部分に導電体膜（たとえば、W膜）を選択的に積層できる。また、それらのチューブを通してメッキ液（銅や各種半田メッキ液）を流して、外側電極から通電すれば導電体膜（銅や各種半田メッキ膜）が露出した部分にメッキ膜を積層できる。その後所定の熱処理を行なえば接続部の接続がより確実になる。

【００５３】

上記では、主基板５１の貫通室の形成では支持基板を用いていないが、支持基板を用いて貫通室を形成できる。主基板５１の貫通室の形成後にストレス等で基板変形が発生するときには支持基板を用いると良い。主基板に支持基板を付着させて支持基板との付着面と賀ン体側の主基板面を感光性膜等でパターニングして、主基板をエッチングすることによって主基板に貫通室を作製する。支持基板に到達するまでエッチングすれば良い。支持基板を後で取り外す場合は、支持基板と主基板の付着は、軟化性接着剤や低融点金属（合金）（接着材Aとする）を使うと良い。主基板と支持基板を付着した後に上述した方法で主基板に貫通室を形成する。このとき、支持基板もエッチングされるが、選択比の高いエッチング法を用いれば支持基板のエッチングも少なくて済む。その後、絶縁膜や導電体膜や保護膜、それらのパターニングは同じであるが、支持基板は取り外すので、その接続部における膜はエッチング除去しておくことが望ましい。次に、上部基板または下部基板を開口している主基板にパターン同士を合わせながら付着させる。接着剤等（接着材Bとする）を用いる場合、支持基板を取り外すときの温度で付着が外れたり、ずれたりしないような接着剤等を選択する必要がある。たとえば、接着材Bの硬化温度T_Bは接着材（金属）Aの軟化温度（融点）T_Aより低い熱硬化性接着剤とすれば良い。上部基板または下部基板を主基板に接着した後で、T_A以上の温度で熱処理することによって支持基板を主基板から分離させることができる。あるいは、接着剤Ａを光剥離接着剤として、接着剤Ｂを熱硬化性接着剤として、接着剤Ｂで上部基板または下部基板を接着した後に光照射によって支持

基板をはがせば良い。その後他方の基板（上部基板または下部基板）を付着させる。

【００５４】

支持基板の代わりに最初から上部基板または下部基板を付着させる場合も可能である。上部基板と主基板を付着させ、その反対側から主基板のパターニングおよび貫通室を形成する。このとき、上部基板が余りエッチングされないように、選択比の高いエッチング条件を設定することが望ましい。上部基板または下部基板に導電体膜等のパターンが必要な場合は、それらのパターンを形成した後に主基板と付着させる。特にパターン形成面が主基板側に面するときには、予め上部基板または下部基板に導電体膜等のパターンを形成しておく。この上部基板または下部基板のパターン面を主基板のパターン面に合わせて付着させる。主基板のパターン面とは、予め貫通室が形成されている場合はその貫通室パターン、さらに主基板に導電体膜等のパターン面が形成されている場合はその導電体膜等のパターンに合わせても良い。貫通室を付着した後で形成する場合は、付着の際は余り正確なパターン合わせは必要ではない。貫通室を形成した後、絶縁膜、導電体膜、保護膜を積層し、これらのパターニングを行なう。このとき、上部基板にも電極・配線形成が必要なので、および／あるいは貫通室側壁へ電極・配線形成が必要なので、感光性シート法、電着レジスト法や焦点深度の高い露光法、回転露光法、斜め露光法等を用いて感光性膜パターンを作製し、ウエットエッチングやドライエッチングで導電体膜等のパターン形成を行なう。その後、電極・配線パターンを形成した上部基板または下部基板を主基板に付着させる。

【００５５】

上記で上部基板に電極・配線パターンを予め作製したものを用意しておき、また主基板に予めその上部基板のパターン部分を逃がした凹部を形成しておく。この主基板の凹部と上部基板のパターンを合わせて上部基板と主基板を付着させる。その後、主基板に貫通室を形成する。このとき、上部基板に既に形成した電極・配線パターンがあるので、この電極・配線パターンがエッチングされない（されにくい）ような条件で貫通室を形成する。たとえば、主基板がＳｉの場合、ＳｉはＣＦ系ガスで高速にエッチングできるが、上部基板にＡｌや銅の電極・配線を形成しておけば、ＣＦ系ガスでこれらは殆どエッチングされない条件を選定できる。この後、絶縁膜を形成し導電体膜を形成した後、主基板の側面だけ導電体膜のパターニングを行なうことができる。上部基板にも導電体膜は形成されるが、上部基板上は感光性膜がカバーしていないので、上部基板の導電体膜はエッチングできて、しかも既にパターニングされた上部基板の電極・配線は絶縁膜で被われているのでエッチングされない。上部基板の電極・配線と主基板の導電体膜の接続は、絶縁膜形成後にその接続部分の絶縁膜を除去するパターニングを行なっておけば良い。その後で導電体膜を積層するので、接続は十分可能である。あるいは、上部基板の電極・配線部分上の絶縁膜を全部（殆ど）除去しておいても良い。導電体膜のパターニングのときに、上部基板の電極・配線部分にも重ねてパターン形成しておけば良い。

【００５６】

次に、中央孔を形成する場合の方法について述べる。主基板は分割し（主基板の厚みの半分の主基板を用いる、それを半主基板とする）、中央孔を形成するパターニングをする。このとき、主基板に絶縁膜等を形成したり、感光性膜密着性用の膜を形成したり、エッチングストッパー用のマスク（レジストが削れたときに主基板をエッチングしないためのもの）としての膜を形成しても良い。そのパターンで中央孔を形成する。曲線を持って形成したいときには、ウエットエッチングやドライエッチングのサイドエッチングを利用する。垂直パターンのときには異方性エッチングを行なう。次に、貫通室形成および基板側壁（中央孔を含む）形成用のパターニングを行なう。垂直パターンを形成する部分と図９（ａ）に示すような傾斜した主基板側面を形成する部分がある場合には、パターニングは別々に行なう。さらに、傾斜角度を複数持つ場合にはそのつどパターニングを行ない、垂直エッチング、傾斜エッチング１、傾斜エッチング２、・・・と分けてエッチングする。主基板を一部残す場合にも同様である。基本的には、主基板に貫通室を形成する。この結果、半主基板中に中央孔（これも半分）、中央孔を有する基板側壁（これも半分）、貫通室

（これも半分）が形成される。中央孔のサイズもエッチング条件により自由に大きさを変えることができる。また傾斜角度もエッチング条件により自由に選択できる。また、図９（ｂ）の平面方向に傾斜した出口部のパターンもマスクで自由に変えることができる。従って、任意の所望の形状を作製できる。この後、絶縁膜を形成し、導電体膜を形成し、導電体膜のパターニングを行なうことができる。高さが半分になっているので、膜形成やパターニングがより簡単になる。中央孔内にも当然絶縁膜や導電体膜を形成でき、それらをエッチング除去もできる。本発明では、ＬＳＩプロセスを用いているので、基板側壁や貫通室の大きさなどは非常に正確に形成できる。導電体膜のパターニングでは貫通室のパターニングが深い所でむずかしい部分もあるが、１μｍ～１０μｍ以内の精度で加工はできるので、本発明の加速装置の精度には殆ど問題ない。

【００５７】

半主基板を２つ同じものを作製し、それらを中央孔が一致するように付着させれば良い。付着法はこれまでに述べた方法でできる、さらに静電陽極結合をする場合は、間に薄いガラス基板、石英基板等を介すれば良い。そのガラス基板等にも同じサイズで貫通室や基板側壁や中央孔、必要な部分に導電体膜を形成して、それを半主基板と順次または同時に付着させれば良い。支持基板を半主基板に用いるときも同様に可能である。この場合、たとえば、上部基板に半主基板を付着させてから支持基板を外し、その後でさらに半主基板を付着させて、支持基板を外し、最後に下部基板を付着させる方法を取ることができる。あるいは、上部基板に半基板を付着させてから支持基板を外し、下部基板にも半基板を付着させてから支持基板を外し、それらを半基板同士を付着させるという方法でも可能である。最後に、上部基板および下部基板にコンタクト孔・その中の導電体膜、さらに外側電極を形成できる。あるいは予めこれらのコンタクト孔・外側電極を形成しておくことも可能である。さらに、貫通室の深さを深くしたい場合には、上記のプロセスを何回も重ねていけば良い。同じものを同時に何枚も作りそれらをさらに重ねて付着させていけば工程が長くなることもなく貫通室の深さが深いものも自由に簡単に作製できる。たとえば、０．５㎜～1㎜の主基板を用いて順次積層していけば、４回の重ね合わせで８㎜～16㎜の貫通室を持つ加速装置を作製できる。

＜他のプラズマ発生法＞

【００５８】

図３は、荷電粒子の線形加速装置の構造を示す図である。図１では１３や３９に使用でき、その他、単独でも線形加速器としても使用できる。図３（ａ）は基板（主基板９１の上面に第２基板（上部基板）９２が、下面に第３基板（下部基板）が付着）の厚み方向断面構造図（加速空洞９９の進行方向、すなわち荷電粒子Ｇの進行方向）、図３（ｂ）は基板面に平行な平面図で、図３（ｃ）は厚み方向断面構造図（加速空洞９９の進行方向、すなわち荷電粒子Ｇの進行方向に対して垂直方向）である。

【００５９】

加速装置内の荷電粒子Ｇが通る加速空洞９９は、主基板（第１基板）９１（厚みｈ１）に形成した貫通孔（室）９９（幅ａ１）の上部を第２基板（上部基板）９２で、下部を第３基板（下部基板）９３で付着して内部の貫通孔（加速空洞）９９は気密空間となっている。この加速空洞９９内に長手方向（荷電粒子の進行方向）に環状電極（貫通孔９９の側壁、上部基板９２下面、下部基板９３の上面に形成された連続した（電気的に一繋ぎとなった）電極）９４が離間して多数形成される。（９４－１、２、・・・）たとえば、環状電極９４－１は、深さｈ１、幅ａ１の貫通孔９９において、貫通孔９９の側壁に導電体電極９４Ｓ１および９４Ｓ２が形成され、さらに、上部基板９２の下面に導電体電極９４Ｕ、並びに下部基板９３の上面に導電体電極９４Ｂが形成され、これらの導電体電極９４Ｓ１、９４Ｓ２、９４Ｕおよび９４Ｂは電気的に接続し、長さ（加速空洞９９の長手方向）ｋ１であり、より正確な形状は矩形形状である。導電体電極の厚みをｔ１（すべて一定と仮定する）と、導電体電極９４Ｓ１と９４Ｓ２の距離ｂ１は、ａ１－２ｔ１で、導電体電極９４Ｕと９４Ｂの距離ｄ４は、ｈ１－２ｔ１である。たとえば、ａｉ＝1㎜、h1=1㎜、導電体膜の厚みを10μｍとすれば、ｂｉ＝0.98㎜、ｄｉ＝0.98㎜となる。

【００６０】
この環状電極９４－１の隣には、距離ｊ１で離間して長さｋ２の環状電極９４－２が形成され、その隣には、距離ｊ２で離間して長さｋ３の環状電極９４－３が形成され、加速空洞９９内には多数の環状電極９４が形成される。荷電粒子Ｇの進行方向において、ｉ番目の環状電極９４－ｉの長さをｋｉとし、その次のｉ＋１番目の環状電極９４－（ｉ＋１）との距離をｊｉとする。環状電極９４（９４－ｉ：ｉ＝１、２、・・・）の上部基板９２にコンタクト孔が形成され、そのコンタクト孔にコンタクト電極９５（９５－ｉ：ｉ＝１、２、・・・）が形成され、さらにそのコンタクト電極９５に接続する上部電極９６（９６－ｉ：ｉ＝１、２、・・・）が形成され、上部電極９６は上部基板９２の下面に形成されている導電体電極９４Ｕと電気的に接続する。また、環状電極９４（９４－ｉ：ｉ＝１、２、・・・）の下部基板９３にコンタクト孔が形成され、そのコンタクト孔にコンタクト電極９７（９７－ｉ：ｉ＝１、２、・・・）が形成され、さらにそのコンタクト電極９７に接続する下部電極９８（９６－ｉ：ｉ＝１、２、・・・）が形成され、下部電極９８は下部基板９３の上面に形成されている導電体電極９４Ｂと電気的に接続する。

【００６１】
このように空洞９９の主基板９１の内面に形成された各環状電極９４（９４－ｉ）には上下基板上に形成された外側電極９６（９６－ｉ）および９８（９８－ｉ）から電圧を印加できるが、どちらか一方だけでも良い。従って、どちらか一方だけでも良いが、同時に印加すれば効果的に即座に環状電極９４（９４－ｉ）内が同電位になる。各環状電極９４（９４－ｉ）にイオンＧと逆電位の電圧を印加すれば、各電環状電極９４（９４－ｉ）の電位Ｖｉによってイオンは加速して進んでいく。たとえば、イオンの質量をｍ、各環状電極９４（９４－ｉ）で増える速度をΔｕｉとすれば、$1/2m(\Delta ui)^2=zeV$が成り立つ。従って、多数個並べるとイオンを非常に高速にできる。たとえば、ｍ＝１０$^{-25}$kg、ｚ＝１、Ｖ＝１０Ｖとすれば、Δｕｉ＝5.6km/sec（１電極あたり）、そこで１万個並べれば、5.6万km/secとなる。すなわち、ｋi=10μｍ,ｊi=5μｍとすれば、15cmの長さの加速空洞を作製すれば良い。このように、非常に短い距離で超高速のイオンを実現できる。ただし、イオンは環状電極にも引かれて発散もするので、収束も行なう必要がある。イオンを収束するには、イオンと同電位の電圧を印加する電極を配置するか、四重極磁場をかける。これらを組み合わせながら所望の速度を有するイオンを得ることができる。また、図３に示す加速室では、上部基板９２および／または下部基板９３に開口部１００が１つまたは複数空いていて、この開口部１００を通して空洞９９を真空びきしたり、あるいは不活性ガス等を導入して内部をクリーニングしたりパージできるようになっている。

【００６２】
加速空洞室は、中央孔を有する基板側壁電極を複数配置して作製することもできる。図１０は、中央孔を有する基板側壁電極を複数配置した加速空洞室を示す図である。図１０（ａ）は基板面に垂直な断面図で、図１０（ｂ）は基板面に平行な平面図であり、図１０（ｃ）はＡ１－Ａ２における断面図で、図１０（ａ）および図１０（ｂ）の左右方向から見た図である。図１０に示すように、主基板１０１にその上面から下面に貫通する貫通室１０４が形成され、その上部は上部基板１０２、その下部は下部基板１０３が付着し、貫通室１０４の横側面は主基板１０１の側面となっている。貫通室であるプラズマ発生室やイオン化室１０４－１で発生したイオン等の荷電粒子Ｇ（破線矢印で示す）は、基板側壁１０１－０の中央部に設けた中央孔１０５－０を通って貫通室である加速空洞室１０４－２へ入る。加速空洞室１０４－２には中央孔１０５（１０５－１、・・・、４、・・・）を有する複数の基板側壁１０１－１（１０１－１、・・・、４、・・・）が配置されている。基板側壁１０１（１０１－１、・・・、４、・・・）の周囲には導電体膜電極１０６（１０６－１、・・・、４、・・・）が形成されている。この導電体膜電極１０６（１０６－１、・・・、４、・・・）は各基板側壁１０１（１０１－１、・・・、４、・・・）の中央孔１０５（１０５－１、・・・、４、・・・）の内面にも積層されている。この導電体膜電極１０６（１０６－１、・・・、４、・・・）は、上部基板１０２の下面に形成された導電体膜配線１０７（１０７－１、・・・、４、・・・）と接続し、および／または

下部基板１０３の上面に形成された導電体膜配線１０８（１０８－１、・・・、４、・・・）と接続する。この導電体膜配線１０７（１０７－１、・・・、４、・・・）は上部基板１０２内に形成されたコンタクト孔およびコンタクト配線１０９を通して上部基板１０２上に形成された外側電極・配線１１０（１１０－１、・・・、４、・・・）に接続する。また、この導電体膜配線１０８（１０８－１、・・・、４、・・・）は下部基板１０３内に形成されたコンタクト孔およびコンタクト配線１１１を通して下部基板１０３下に形成された外側電極・配線１１２（１１２－１、・・・、４、・・・）に接続する。

【００６３】

基板側壁電極・配線１０６には外側電極・配線１１２から電圧を印加できるようになっている。通常は、この電圧は荷電粒子の電荷と逆の電圧が印加されているので、加速空洞室へ入射した荷電粒子Ｇは、最初の基板側壁電極配線１０６－１によって引かれ加速して基板側壁中央孔１０５－１を通りぬけていき、次の基板側壁電極配線１０６－２によって引かれ加速して基板側壁中央孔１０６－１を通りぬけていき、これを繰り返して加速されて、最後の基板側壁電極配線１０６－ｎによって引かれ加速して基板側壁中央孔１０６－ｎを通りぬけて、（ｎ個の基板側壁電極配線等があるとする）貫通室である隣室１０４－３へ出射する。隣室１０４－３は、たとえば、図１における空洞室１４や偏向電磁石室１５等である。加速空洞室１０４－２と隣室１０４－３の間にも中央孔１０５－５を有する基板側壁１０１－５があり、荷電粒子はこの中央孔１０５－５を通って隣室１０４－３へ入る。この中央孔を有する基板側壁電極は、荷電粒子Ｇが通る領域が狭いので、荷電粒子Ｇは余り広がらずに中央付近を通っていく。しかし、やはり荷電粒子の一部は電極側へも引かれていくので、所々に荷電粒子と同電位（プラスまたはマイナス）の電圧を印加して荷電粒子を収束することが望ましい。ここでは荷電粒子と同電位なので少し減速するが、次の加速電極でまた加速させていく。この収束・発散、加速・減速を繰り返しながら、多数の中央孔を有する基板側壁電極を配置して全体として大きく加速させていく。本発明は、ＬＳＩプロセスを用いているので、従来では実現できない非常に小さな中央孔および距離の短い基板側壁を用いることができるので、短い距離でも多数の基板側壁電極を配置でき、短い距離で大きな速度まで加速させることができる。さらに、印加電圧も小さくて済むので、大きな電源は必要がなくなる。尚、大きな電源にして大きな電圧も印加でき、その場合は大きな加速を得ることもできる。

【００６４】

また、荷電粒子Ｇの進行方向に各基板側壁電極へ徐々に電圧を印加することもでき、大きな加速を短時間で短距離で得ることもできる。あるいは、高周波電圧を各基板側壁電極へ印加して、それぞれが同期するようにすれば、収束と発散、および加速と減速を繰り返しながら、全体として大きな加速を得ることもできる。加速空洞室１０４－２には上部基板または下部基板に開口部１１３を設けて、真空引きやクリーニングやパージを行なうこともできる。また、各基板側壁の間にそれぞれ開口部１１３を設けて、それぞれ真空引き等を行なうこともできる。

【００６５】

隣室との間にある基板側壁１０５－０や１０５－５は必要なければ配置しなくても良い。たとえば、隣室１０４－１からの荷電粒子Ｇが最初の基板側壁電極１０６－１の前方側側面へ衝突しても問題がない場合や、隣室１０４－１との圧力が同じで良い場合、荷電粒子Ｇが十分加速し収束して最初の基板側壁電極１０６－１の中央孔１０５－１を通りぬけることができる場合などである。また、基板側壁１０１－０の中央孔１０５－０のサイズは、最初の基板側壁電極１０６－１の中央孔１０５－１のサイズより小さくして、荷電粒子Ｇが最初の基板側壁電極１０６－１に引かれ易くすることもできる。基板側壁電極１０６（１０６－１、・・・）の中央孔１０５（１０５－１、・・・）のサイズは、同じサイズである方が加速性を均一にできるので望ましい。隣室１０４－３との仕切りである基板側壁１０１－５の中央孔１０５－５のサイズは最後の基板側壁電極１０６（図では１０１－４）の中央孔１０５（図では１０５－４）のサイズより大きくし、荷電粒子が基板側壁１０１－５に衝突しないようにすることが望ましい。

【００６６】
図４は、高周波導波管を用いた荷電粒子加速管の一例を示す図で、円板装荷型進行波型加速管の一種である。図４（ａ）は基板面に垂直な断面図（の模式図）で荷電粒子ビームＧの進行方向に平行な図で、図４（ｂ）は基板面に平行な断面図（の模式図）で、図４（ｃ）は基板面に垂直な断面図（の模式図）で図４（ａ）および図４（ｂ）の左右方向から見た図で、中央孔の断面図である。図４に示す荷電粒子加速管２００は、主基板２０１に形成され、荷電粒子の通路となる貫通孔空洞２０４、主基板２０１の上面および下面に付着し、貫通孔空洞２０４を気密空間とする上部基板２０２および下部基板２０３で構成される。荷電粒子加速管２００は、荷電粒子の進行方向（貫通項空洞の長手方向）Ｇにおいて、その両側は中心部が孔（中央孔）の空いた基板隔壁２０１Ｓ－Ａおよび２０１Ｓ－Ｂで仕切られ、さらにその間に中心部が孔（中央孔）の空いた基板隔壁２０１Ｓ－ｉ（ｉ＝１、２、３、・・・）で仕切られた複数の空間が形成され、それらの空間の両側には、マイクロ波等の高周波の導入口２０８が上部基板２０２にあいている（下部基板２０３にあいていても良い）空間（これを高周波導入室と記載することもある）２０４Ｃ－Ａおよびマイクロ波等の高周波の導出口２０９が上部基板２０２にあいている（下部基板２０３にあいていても良い）空間（これを高周波導出室と記載することもある）２０４Ｃ－Ｂがあり、それらの間に荷電粒子を加速する複数の空間（加速キャビティと記載することもある）２０４Ｃ－ｉ（ｉ＝１、２、３、・・・）がある。また、これらの空間には、上部基板２０２または下部基板２０３に真空排気口２１０が適宜あいていて、この真空排気口２１０は真空ポンプ２１３に接続し、荷電粒子の通る空間を真空に近い状態にしている。図４では真空排気口２１３は高周波導入室または高周波導出室に開いているが、これらに限定されず他の空間や空洞に設けても良い。

【００６７】
本発明で使用する主基板としてシリコン基板等の半導体基板を用いる場合、主基板は電気抵抗が高いので荷電粒子加速管２００内の多数の貫通孔空洞２０４内には導電体膜２０６を形成する。すなわち、主基板２０１に形成された空洞２０４において、主基板２０１の空洞側面に導電体膜２０６Ｓ１および２０６Ｓ２が、上部基板２０２の下面に導電体膜２０６Ｕが、下部基板２０３の上面に導電体膜２０６Ｂが形成される。図４（ｃ）は中央孔２０５における断面図であるから、導電体膜２０６Ｓ１、Ｓ２、Ｕ、Ｂは見えないが、ここは透視しているとして描いている。中央孔２０５は基板側壁２０１Ｓ－ｉ（ｉ＝１、２、・・・）の中央に配置され、その中央孔２０５の内面にも導電体膜２０６が環状に形成されている。中央孔２０５の断面は長方形状に記載されているが、中央孔２０５は主基板２０１を分割した状態でエッチング法（ウエットまたはドライ）で形成するので、台形を上下に合わせた形状や楕円状、あるいは円状など種々の形状に形成することができる。

【００６８】
加速キャビティ２０４Ｃ－ｉ（ｉ＝１、２、３、・・・）の内壁に高周波の電流が流れるので、導電体膜２０６は導電性が良い方が良く、たとえば銅や金、銀、アルミニウム、タングステン、コバルト等がベターである。温度が上がる可能性がある場合は、融点の高い金属膜が良い。本発明の荷電粒子加速管は小さくすることも可能なので、超伝導体膜を使いこの装置全体を低温に冷やして使用することもできる。超伝導体膜として、ニオブ（Ｎｂ）、ニオブ－チタン（Ｎｂ－Ｔｉ）、ニオブ－スズ（Ｎｂ－Ｓｂ）、二硼化マグネシウム、酸化物高温超電導体（イットリウム系、ビスマス系等）がある。これらをスパッター膜、塗布膜として形成できる。主基板２０１の厚みをｈ２、横幅（平面幅）をａ２とし、導電体膜２０６の厚みをｔ２とすれば、貫通孔空洞２０４の深さｄ５はｈ２－２ｔ２、貫通孔空洞２０４の横幅ｂ２はａ２－２ｔ１となる。主基板２０１と導電体膜２０６の間に絶縁膜（たとえば、シリコン酸化膜）や密着性向上膜（たとえば、Ｔｉ、ＴｉＮ膜）を形成する場合、導電体膜２０６の上に絶得膜（保護膜）を形成する場合は、それらの膜の厚みも考慮する必要がある。

【００６９】
荷電粒子Ｇは荷電発生装置等から発射され、空洞２０４－１の内部を通過して、荷電粒子

加速管２００の入り口である基板隔壁２０１Ｓ－Ａの中央孔２０５を通り荷電粒子加速管２００へ進入する。荷電粒子Ｇは、高周波導入空間２０４Ｃ－Ａへ入った後、基板隔壁（側壁）２０１Ｓ－１の中央孔２０５を通って加速空間２０４－１に入り、次々と基板隔壁２０１Ｓ－ｉ（ｉ＝１、２、３、・・・）の中央孔２０５を通って加速空間２０４Ｃ－ｉ（ｉ＝１、２、３、・・・）に入り、最後に高周波導出空間２０４Ｃ－Ｂへ入った後、荷電粒子加速管２００の出口である基板隔壁２０１Ｓ－Ｂの中央孔２０５を通り、荷電粒子加速管２００の外側の空洞２０４－２へ出ていく。高周波２１１は、高周波導入口２０８から高周波導入空間２０４Ｃ－Ａへ入り、各基板隔壁の中央孔２０５を通り、各加速空間２０４Ｃ－ｉ（ｉ＝１、２、３、・・・）で荷電粒子を加速する高周波電界を形成し、高周波導出空間２０４Ｃ－Ｂへ出て、高周波導出口２０９から高周波２１２として出ていく。従って、荷電粒子は各加速空間２０４Ｃ－ｉ（ｉ＝１、２、３、・・・）で発生する加速電界により次々に加速されて、基板隔壁２０１Ｓ－Ｂの中央孔２０５を通って荷電粒子加速管２００を出ていく。

【００７０】

加速管２００には、加速された荷電粒子の発散を収束する収束用電磁石２０７を設けることもできる。収束用電磁石２０７は、荷電粒子Ｇが基板隔壁２０１Ｓ－Ｂの中央孔２０５を出た後の空洞２０４の部分に設置される。たとえば、図４に示すように４極電磁石２０７（２０７－１、２、３、４）を空洞２０４の周囲に配置する。図４（ｄ）は、４極電磁石が配置された部分において空洞２０４の長手方向に垂直な断面構造を示す図である。空洞２０４の両横側面には基板側壁２０１Ｓ－Ｓ１および２０１Ｓ－Ｓ２を挟んで、コイル２０７－２およびコイル２０７－４が形成されている。コイル２０７は空洞２０４の中心部に近いほど磁束密度（または磁界）が強くなり、荷電粒子の制御が容易となる（荷電粒子Ｇは空洞２０４の中央部を通る）ので、基板側壁２０１Ｓ－Ｓ１および２０１Ｓ－Ｓ２は薄い方が良い。ＬＳＩプロセスを使用できるので、たとえば、１０μｍ～１０００μｍと非常に薄い基板側壁も形成可能である。

【００７１】

空洞２０４の上部には上部基板２０２が存在するが、この上部基板２０２の上方に、または上部基板２０２の内部に埋め込んで、または上部基板２０２の上部または内部に、コイル２０７－１を配置する。コイル２０７は空洞２０４の中心部に近いほど磁束密度（または磁界）が強くなり、荷電粒子の制御が容易となる。従って、上部基板２０２の上方に配置する場合は、コイル２０７－１をできるだけ上部基板２０２の上面に近づける。最適にはコイル２０７－１を上部基板２０２の上面と接するようにすれば良い。コイル２０７－１を上部基板２０２の内部に埋め込むか、上部基板２０２の内部に形成する場合は、空洞２０４とコイル２０７－１の底面と空洞の間に存在する上部基板２０２は、上部基板２０２－Ｕであるが、この部分の厚みは上部基板２０２の厚みより薄い。この上部基板２０２－Ｕの厚みは薄いほど良いが、たとえば、１０μｍ～１０００μｍと非常に薄くすることもできる。

【００７２】

空洞２０４の下部には下部基板２０３が存在するが、この下部基板２０３の下方に、または下部基板２０３の内部に埋め込んで、または下部基板２０３の内部に、コイル２０７－３を配置する。コイル２０７は空洞２０４の中心部に近いほど磁束密度（または磁界）が強くなり、荷電粒子の制御が容易となる。従って、下部基板２０３の下方に配置する場合は、コイル２０７－３をできるだけ下部基板２０３の下面に近づける。最適にはコイル２０７－３を下部基板２０３の下面と接するようにすれば良い。コイル２０７－３を下部基板２０３の内部に埋め込むか、下部基板２０３の内部に形成する場合は、空洞２０４とコイル２０７－３の上面と空洞の間に存在する下部基板２０３は、下部基板２０３－Ｂであるが、この部分の厚みは下部基板２０３の厚みより薄い。この下部基板２０３－Ｂの厚みは薄いほど良いが、たとえば、１０μｍ～１０００μｍと非常に薄くすることもできる。

【００７３】

図４（ｄ）に示すように、主基板２０１の横方向中心線をＣ１としたとき、空洞２０４の

中心Ｏ１は横方向中心線Ｃ１上にあり、コイル２０７－２およびコイル２０７－４の軸が横方向中心線Ｃ１と揃うようにコイル２０７－２およびコイル２０７－４を主基板２０１内に配置する。また、コイル２０７－１およびコイル２０７－３の軸が、空洞２０４の中心Ｏ１を通り横方向中心線Ｃ１と直交する縦方向中心線Ｃ２と揃うようにコイル２０７－１およびコイル２０７－３を配置する。このように４極電磁石（コイル）を配置することによって、空洞２０４内の磁界分布を対称形に近い状態にできるので、荷電粒子を空洞２０４の中心Ｏ１の近傍に収束することができる。特に基板側壁２０１Ｓ－Ｓ１および２０１Ｓ－Ｓ２の厚みをほぼ等しくし、コイル２０７－２およびコイル２０７－４の特性を同じくし、また空洞２０４の中心Ｏ１に対して対称な位置に配置すること、さらに２０２－Ｕおよび２０２－Ｂの厚みをほぼ等しくし、コイル２０７－１およびコイル２０７－３の特性を同じくし、また空洞２０４の中心Ｏ１に対して対称な位置に配置すること、さらにコイル２０７－１、コイル２０７－２、コイル２０７－３およびコイル２０７－４の特性を同じくすることによって、空洞２０４内の磁界分布を対称形に近い状態にできる。ただし、本発明の四重極電磁石は構成するコイルの特性や配置、基板側壁や基板の厚みが多少異なっても、個別のコイルに印加する電圧を自由に設定でき、空洞２０４の内部磁界を自由に変化させることができるので、荷電粒子のビームを空洞中心Ｏ１の近傍に収束することは容易である。尚、空洞２０４の中心Ｏ１は、荷電粒子の進行方向Ｇであり、従って、中央孔２０５の中心は空洞２０４の中心Ｏ１と一致するようにすることが望ましい。

【００７４】

基板側壁２０１Ｓ－ｉの幅、すなわち中央孔２０５の長さをｍ１、加速キャビティ２０４Ｃ－ｉの長さ（荷電粒子加速装置２００の長手方向のサイズ）をｐ１とすると、高周波導入室２０４Ｃ－Ａおよび高周波導出室２０４Ｃ－Ｂの距離は、（ｎ＋１）×ｍ１＋ｎ×ｐ１となる。（荷電粒子加速装置２００がｎ個の加速キャビティを有するとき）それぞれの加速キャビティの長さｐ１や中央孔２０５の長さをｍ１の長さを変化させて、加速電界分布を変化させても良い。また、空洞２０４のサイズ（ａ２、ｈ２）や中央孔２０５のサイズ（たとえば、中央孔２０５が矩形の場合は、縦や横の長さ、中央孔２０５が円形の場合は、直径）を変化させて、加速電界分布を変化させても良い。本発明の荷電粒子加速装置は、ＬＳＩプロセスを用いて作製できるので、これらの大きさを容易に安価に変化させることができる。また、四極電磁石の大きさや数も空洞２０４のサイズに合わせて自由に変化させることができる。

【００７５】

次に電磁石（コイル）の作製法を説明する。図１１は、電磁石（コイル）の作製法を示す一実施形態である。サポート基板１１４－１にコイル作製基板１１５－１を付着させる。サポート基板１１４－１はコイル作製基板１１５－１と後に分離するので、軟化性接着剤（軟化温度T1）による付着が良い。サポート基板１１４－１はガラス基板、石製基板、アルミナ基板、プラスチック、エポキシ基板、高分子基板等の絶縁体基板や、Ｓｉ等の半導体基板、Ｃｕ、Ａｌ等の導電体基板である。コイル作製基板１１５－１は、非磁性体基板で、ガラス基板、石製基板、アルミナ基板、セラミック基板、プラスチック、エポキシ基板、高分子基板等の絶縁体基板や、Ｓｉ等の半導体基板である。図１１（ａ）に示すように、コイル作製基板１１５－１にコイル導線パターン用の感光性膜パターンを形成し、コイル作製基板１１５－１をエッチングする。このエッチングは感光性膜パターンに忠実な垂直エッチングが望ましい。あるいは、金型で打ち抜いたコイル導線パターンを形成したコイル作製基板１１５－１をサポート基板１１４－１に付着しても良い。あるいは、コイル導線用パターンを形成したプラスチックまたは高分子樹脂フィルムをサポート基板１１４－１に付着しても良い。コイル作製基板１１５－１がＳｉ等の半導体基板であるときは、コイル配線間がショートしないように凹部側面に導電体膜を積層しておく。

【００７６】

次に、凹部のコイル導線用パターンを導電体膜で充填する。導電体膜は、たとえば、Ｃｕ、Ｎｉ、Ｃｒ、Ａｕ、Ａｌ、Ｗ、Ｍｏ、Ｔｉ、Ｚｒ、各種半田、これらの合金や複合金属、あるいは各種シリサイド膜、超伝導体である。この充填方法として、ＣＶＤ法、ＰＶＤ

法で積層し、研磨（たとえば、ＣＭＰ）して凹部だけに導電体膜を充填する方法、選択ＣＶＤ法により凹部に導電体膜を充填する方法、あるいはメッキ法により凹部に導電体膜を充填する方法、あるいは導電性ペースト塗布法がある。これらに研磨を行ない平坦化することもできる。これらの方法によって、幅がａ、深さがｃ１のコイル配線パターンの1層目（１１６－１）が完成する。１層目の平面パターンは、たとえば図１１（ｇ）に示すような長さｄ（幅ａ）、距離ｂの配線パターンである。

【００７７】

次に２層目のパターンを同様にして作製する。２層目もサポート基板１１４－２にコイル作製基板１１５－２を付着し、感光性膜等で２層目のコイル配線パターン１１６－２を形成する。２層目のパターンの断面パターンは図１１（ａ）と同様であるが、平面パターンは図１１（ｈ）に示すように（横）幅ａ、距離ｂで、（縦）幅ｅの矩形パターンで、重ねたときに１層目のパターンに合うようになっている。コイル線幅は、（横）幅ａ×（縦）幅ｅとなるので、ｅはほぼａに等しく取るのが良い。次に図１１（ｂ）に示すように１層目のコイル配線パターンに２層目のコイル配線パターンをパターン合わせしながら付着する。すなわち、サポート基板１１４－１に付着した１層目のコイル導線パターンを形成したコイル作製基板１１５－１に、サポート基板１１４－２に付着した２層目のコイル導線パターンを形成したコイル作製基板１１５－２を付着させる。この付着法として、常温接合法、拡散接合法、高温接合法、コイル作製基板１１５－１または２がガラス基板や石英基板等の絶縁体基板で、コイル作製基板１１５－２または１がＳｉ等の半導体基板であるときは、静電陽極接合法も使用できる。また、接着剤を用いて付着することもでき、導電体膜同士の接合部は導電性接着剤を用い、他の部分は絶縁性接着剤を用いる。他の接合法でも導電体膜同士の接合部は導電性接着剤を用いることができる。配線間距離ｂが１０μｍ以上であれば（現時点でも）、メタルマスクを用いて導電性接着剤を接合部パターンに塗布できるし、感光性膜導電性接着剤や感光性膜パターン＋エッチング法を用いれば、配線間距離ｂが１μｍでも導電性接着剤を接合部パターンに塗布できる。さらに、半田を接合部に塗布またはメッキして、付着させることもできる。２層目の凹部もｃ１の深さとすれば、Ｃ２は２ｃ１となる。コイル作製基板１１５同士の接合に用いる接着剤は、後の熱処理で分離しないように熱硬化性接着剤が望ましい。半田金属や熱可塑性接着剤を用いる場合は、その後の熱処理でコイル作製基板１１５同士が移動してパターンずれを起こしたり分離しないようにする。

【００７８】

次にサポート基板１１４－２を取り外す。サポート基板１１４－２とコイル作製基板１１５－２とを付着させた接着剤は熱可塑性接着剤で軟化温度をＴ２としたとき、Ｔ１＞Ｔ２になるような接着剤を選定する。この結果Ｔ１とＴ２の間の温度で、サポート基板１１４－２だけを分離できる。図１１（ｃ）はサポート基板１１４－２を分離した状態を示す図である。３層目以降のパターンも２層目と同じであり、これを次々に付着させることによって、コイルの高さ方向の配線を作製できる。ただし、１枚ずつ重ねていくのは時間がかかるので、図１１（ｄ）に示すように、２枚重ねたもの同士を次に重ねて４枚にし（図１１（ｄ）の状態）、その次には４枚同士重ねたものを重ねていくことにより８枚になる。ｃ１＝０．１ｍｍとすれば、５回の付着で０．８ｍｍの厚さになる。

【００７９】

最後のコイル配線パターンは、コイルとしてスパイラルに接続する必要があるので、図１１（ｉ）に示すような配線パターンとなる。１層目が図１１（ｇ）に示す配線パターンで、最上層が図１１（ｉ）示す配線パターンである。（この逆でも良い。）これらの間の配線パターンが図１１（ｈ）に示すパターンである。所定の高さｃ４になったときに、最上層側のサポート基板を分離した後、感光性膜１１７を付着（塗布）し、感光性膜パターン１１７を形成する。これをマスクにしてコイル作製基板１１５をエッチング除去する。サポート基板１１４－１はまだ分離しないので、コイル作製基板１１５とサポート基板１１４－１との選択比の高いエッチングが望ましい。サポート基板１１４－１とコイル作製基板１１５との材料を異なったものにすれば、容易にエッチング選択比を大きくできる。た

とえば、サポート基板１１４－１がＳｉまたはガラスであり、コイル作製基板１１５がガラスまたはＳｉである場合である。あるいは、ダイシング法で切断して不要な部分を分離することもできる。たとえば、サポート基板１１４－１とコイル作製基板１１５－１を付着するときに、不要な部分として分離する所に光照射で分離できる接着剤を用い、それ以外の所には通常の熱可塑性接着剤を用いることによって、ダイシングして、コイル作製基板１１５とサポート基板１１４－１の一部（深さ方向に少し）だけカットして、その後光照射して不要な部分を分離することができる。接着剤を分けて付着するには、たとえば、マスクを用いて塗布すれば良い。この結果、図１１（ｆ）で示す形状のコイル１１８がサポート基板１１４－１に付着したものが作製される。

【００８０】

次に、下部基板２０３に付着し、コイル挿入用空洞１２０（１２０－１、２）および荷電粒子ビームＧが通る空洞２０４－２（図４を参照）が形成された主基板２０１に、サポート基板１１４－１に形成された電磁石（コイル）１１８－１、１１８－２を挿入する。下部基板２０３には、コイル１１８の端子が接続するための導電体電極・配線１１９が形成されているので、そのパターンに合わせるように挿入する。コイル１１８の中心軸が主基板２０１の中央に来るようにコイル１１８の大きさを調整する。接続部には予め導電性接着剤や半田金属を付着させておくことが望ましい。熱などをかけながらこれらを軟化させて付着させれば上下方向の高さ調節もできる。コイル１１８の配線パターンに絶縁膜を積層したり絶縁シートを付着させて、接続部だけ窓開けしておけば、導電性接着剤等を広く塗布できるので、接続も確実だし、高さ調節や水平度調整も容易になる。

【００８１】

また、コイル側の端子をすべて反対側に設けておけば（図１１（ｊ）～（ｍ）に示すコイル１１８－１のように）、下部基板２０３に導電体膜電極・配線パターン１０９を設ける必要がないので、絶縁性接着剤を下部基板２０３に、および／またはコイル１１８の下方側に塗布しておけるので、コイル１８の付着を確実にでき、また高さ調節や水平度調整も簡単に行なうことができる。たとえば、サポート基板１１４のリフトプレスの水平度調整や押圧調整を簡単に行なうことができる。尚、コイル挿入用空洞１２０（１２０－１、２）の大きさはそれほど制約がないので、コイル１１８よりかなり大きめに開けられるので、コイルの挿入は特に問題はない。また、導電体膜電極・配線も大きく形成しておけばコイル側との接続も特に問題ない。コイル１１８の端面（コイル１１８－１なら右側、コイル１１８－１なら左側）と空洞２０４－２の中心との距離は、荷電粒子へ及ぼす磁場に影響を与えるが、現在の挿入による合わせ誤差は１μｍ～１０μｍの間であるから、余り影響はない。

【００８２】

さらに、２つのコイル１１８－１および１１８－２の距離は全くずれないので、空洞２０４－２の中心へ及ぼす両方を合わせた磁場は殆ど変化はない。空洞２０４－２全体へ磁場を均一にするために、コイルの大きさ（端面の）を空洞２０４－２の大きさ（深さ方向における）よりも大きくすることが望ましいが、予め下部基板２０３において、コイル挿入用空洞１２０（１２０－１、２）における下部基板２０３を薄くしてコイル挿入用空洞１２０（１２０－１、２）の深さを空洞２０４－２より深くしておけば良い。その場合は当然、コイル１１８の大きさもそれに対応して大きくしておく。

【００８３】

コイル１１８をコイル挿入用空洞１２０（１２０－１、２）における下部基板２０３に固定した後、サポート基板１１４－１を分離する。この方法は、たとえば、コイル１１８と下部基板２０３との接着に用いる接着剤等の硬化温度Ｔ３がＴ１より低い温度である熱硬化性接着剤等を用いて、コイル１１８を下部基板２０３に固定した後に、温度をＴ１以上に上げてサポート基板１１４－１を分離する。（図１１（ｋ））次に、図１１（ｌ）に示すように、コイル端子と接続する導電体膜電極配線１２１が形成された上部基板１２１をコイル１１８の端子に合わせて主基板２０１に付着する。コイル１１８の上部に配線パターンが形成されている場合は、絶縁膜を積層したり絶縁性フィルムを付着して接続部を窓

開けした状態で導電性接着剤や半田金属を塗布または形成した後に付着させれば良い。

【００８４】

次に上部基板２０２に導電体膜電極配線１２１と接続するコンタクト孔導電体膜配線１２２を形成し、それに接続する外側電極配線１２３（１２３－１、２、３）を形成する。下部基板２０３にも導電体膜電極配線１１９と接続するコンタクト孔導電体膜配線１２４を形成し、それに接続する外側電極配線１２５を形成する。これによって、空洞２０４－２の両側面に、主基板側壁２０１Ｓ－Ｓ２および２０１Ｓ－Ｓ１を挟んだコイル挿入用空洞１２０（１２０－１、２）内にコイル１１８（１１８－１，２）が配置される。しかも非常に正確に配置されている（現状での合わせ誤差は１０μｍ以下である）ので、空洞内の磁場も均一になる。コイル１１８－１に対しては外側電極１２３－１と１２３－２から電流を流すことができ、コイル１１８－２に対しては外側電極１２３－３と１２５から電流を流すことができる。（図１１（ｍ））

【００８５】

図１１のプロセスにおいて、１層目のパターンからサポート基板に付着する方法を採用したが、１層目のコイルパターンを下部基板上に作製しておき、サポート基板へは２層目から付着して形成することもできる。この方法を取れば、最初の１層目のプロセスを省くことができる。同様に最後の最上層目のパターンを上部基板（の下面）に形成することもできる。これでさらに最上層目のプロセスも省略できる。さらに、この場合、２層目からｎ－１層目（ｎ層目を最上層目とする）までのコイル配線パターンは同じなので、単純に積み上げていっても良いし、積層したもの同士を所望の大きさになるように重ねて作製することもできる。最後にそれらを下部基板の１層目のパターンに、ｎ－１層目を上部基板の最上層目のパターンに合わせて付着すれば良い。

【００８６】

図１１（ｊ）のプロセスでは、荷電粒子ビームＧが通る空洞２０４－２とコイル挿入用空洞１２０（１２０－１、２）との間の仕切りとして基板側壁２０１Ｓ－Ｓ１および基板側壁２０１Ｓ－Ｓ２が存在するが、この仕切りとして基板側壁２０１Ｓ－Ｓ１および基板側壁２０１Ｓ－Ｓ２は、磁場を弱めたり磁場を乱したりする方向に働くので取り除くこともできる。ただし、空洞２０４－２は荷電粒子が通るので、空洞２０４－２と同程度の圧力になるようにしなければならない。そのために、コイル挿入用空洞１２０（１２０－１、２）にも上下基板２０２や２０３に真空引き用の開口部を設けることもできる。基板側壁２０１Ｓ－Ｓ１および基板側壁２０１Ｓ－Ｓ２を設けなければ、空洞２０４－２とコイル挿入用空洞１２０（１２０－１、２）は同じ空洞になるので、コイル１１８－１および２を挿入するときに、コイル１１８－１および２が基板側壁２０１Ｓ－Ｓ１および基板側壁２０１Ｓ－Ｓ２に衝突する心配がないので、挿入が簡単になる。

【００８７】

さらに、基板側壁２０１Ｓ－Ｓ１および基板側壁２０１Ｓ－Ｓ２とコイル１１８－１および２との間の距離について、挿入時の余裕度（余裕距離）を考慮しなくても良い。従って、コイル１１８－１およびコイル１１８－２の間の距離を短くすることができるので、空洞内の磁場を作るための電流を小さくできる。あるいは磁場をさらに強めることができる。あるいは、基板側壁２０１Ｓ－Ｓ１および基板側壁２０１Ｓ－Ｓ２に中央孔を開けておけば、その部分の磁場は基板側壁２０１Ｓ－Ｓ１および基板側壁２０１Ｓ－Ｓ２の（材料による）影響を受けなくて済み、空洞２０４－２の圧力もコイル挿入用空洞１２０（１２０－１、２）の影響を余り受けなくて済む。

【００８８】

さらに、支持基板１１４－１を用いたが、この代わりに上部基板２０２または下部基板２０３を用いれば、図１１（ｊ）に示すプロセスで支持基板を取り外さずにそのまま使用できる。また、図１２（ｄ）と同様に、支持基板１１４－１に凸部分を設けてコイル１１８を作製すれば、コイル挿入時に（図１１（ｊ）に示すプロセス）支持基板１１４－１と主基板２０１を接触させないで、支持基板１１４－１を取り外すことができるので、主基板２０１にダメッジ等を与えずに済む。図１１（ｍ）に示すように、コイルの配線端に接続

する電極は、上部基板２０２にも、あるいは下部基板２０３にも自由に形成できる。図１１（ｊ）では下部基板２０３に電極配線パターンを形成したので、その電極配線パターンへコイル１１８の端子を合わせる必要があったが、下部基板２０３に電極配線パターンを形成しなくても良いようにもできるので、コイル挿入時に合わせる必要がないので、プロセスを速く行なうこともできる。さらに導電性接着剤を使用する必要もなく、通常の１種類の接着剤（たとえば、絶縁性接着剤）を用いて下部基板２０３に付着することもできる。また、そのとき支持基板１１４－１の代わりに上部基板２０２または下部基板２０３を用いれば、下部基板２０３にコイル１１８を接触させる必要もなく、コイル１１８が付着した上部基板２０４は主基板２０１と付着させるだけでも良いので、精密な合わせも必要がなくなる。

【００８９】

図１１のプロセスで、コイルサイズをａ＝e=30μｍ、ｂ＝20μｍ、ｄ＝1㎜（＝5×10^{3}μｍ）、高さ=1㎜、長さ＝5㎜とすると、100巻きのコイルができ、コイル導線をCuで作製すると、10^{6} Ａ/cm^{2}の電流を流せるとすれば（エレクトロマイグレーション耐性からこの程度は可能）、Ｉ＝９Ａの電流をコイルに流すことができる。従って、コイルの端面の中心にできる磁場Ｈｃ＝8×10^{5} A/mとなる。

【００９０】

さらにこのコイルに比透磁率μの高いコアを挿入することによって発生する磁場を高めることができる。そこで、本発明の加速器に使用するコイルへ比透磁率μの高いコアを入れる方法を説明する。既にこの方法の類似方法は、特開２０１２－１３４３２９に記載されているので、それらも本発明に適用可能である。図１２は、比透磁率μの高いコアを挿入した高性能のコイルを作製する方法を示す図である。図１２に示す実施形態では、４種類のコイル作製用パターンを用いる。図１２（ｇ）～（ｊ）がそのパターンを図示した平面図である。図１２（ｇ）は図１１（ｇ）と同じであるが、コア挿入孔に対応する領域を破線Ａで示している。また、コイルの外形に対応する部分を点線Ｂで示している。図１１や図１２ではコイルの外側も各レイヤーで同じ基板（層）が存在していて、図１１（ｅ）のプロセスで、感光性膜パターン１１７をマスクにして一気に外側の基板層１１５をエッチング除去していたが、支持基板１１４に付着した後で、点線Ｂで示す部分に感光性膜パターン等を形成して、それをマスクにして点線Ｂで示す領域の外側の基板１１５をエッチング除去して、コイル形成領域だけを付着させて重ねることもできる。あるいは、支持基板には付着しないで、このコイルの部分だけ付着して重ねていき、最後に支持基板１１４の所定部分にコイルを付着させて、図１１（ｆ）に示す状態を作製することもできる。

【００９１】

図１２（ａ）は、図１１（ｃ）と同じ図である。すなわち、コイル作製基板１３０－１は図１２（ｇ）に示すコイル配線パターン１１６を有するコイル作製基板１１５である。コイル挿入領域は、破線Ａで示す矩形（長方形）状であり、縦側（コイルの幅側）において、図１２（ｇ）に示すコイル配線パターン１１６の内側に入り、横側（コイルの軸方向）はコイル配線から左右とも食み出ている。点線Ｂはコイルの外形となる部分である。コイル作製基板１３０－２は図１２（ｈ）に示すコイル配線パターン１１６を有するコイル作製基板１１５である。このコイル配線パターン１１６はコイルの高さ方向に積み重なってコイル配線パターンとなる。図１２（ｇ）および（ｈ）のパターンでは、コイル挿入領域Ａはコイル作製基板１１５と同じであり、平面的には平坦になっている。この上に付着するパターンは図１２（ｉ）に示すパターンを有するコイル作製基板１１５である。すなわち、コイル作製基板１３０－３は図１２（ｉ）に示すパターンを有するコイル作製基板１１５である。図１２（ｉ）では、コイル挿入領域Ａがくり抜かれて空洞となっている。この空洞は、図１２（ｈ）に示すコイル作製基板１１５を支持基板に付着させて窓開けして、コイル作製基板１１５をエッチングしたり、金型で打ち抜いたりして作製できる。さらには、既にコイル領域Ｂの大きさにした図１２（ｈ）に示すコイル作製基板１１５をエッチングしたり、打ち抜いたりして作製することもできる。このコイル作製基板１３０－３の上にも。図１２（ｉ）に示すコイル挿入領域Ａがくり抜かれて空洞となったコイル作製

基板１１５を付着させて、これを所定枚数付着させていく。（図１２（ｂ））ここで、コイル作製基板１３０－４、５、６は図１２（ｉ）に示すパターンを有するコイル作製基板１１５である。図１２（ｉ）に示すパターンを有するコイル作製基板１１５を多数枚付着させたもの（これはすべてコイル挿入領域Ａがくり抜かれて空洞となっている）をまとめて、図１２（ａ）で示す、図１２（ｈ）に示すコイル挿入領域Ａがくり抜かれていないコイル作製基板１１５であるコイル作製基板１３０－２上に付着させることもできる。この場合は、図１２（ｂ）に破線Ａで示す部分が、内側が空洞となっている。この空洞は、基板面に垂直な側面を有すると重ね合わせしたときにやはり垂直形状となるが、この領域Ａは、軸方向はコイル領域Ｂより大きいので、なくなる部分であるから、必ずしも垂直形状でなくても良い。

【００９２】

あるいは、図１２（ａ）で示すものに、さらにコイル挿入領域Ａがくり抜かれていない図１２（ｈ）で示すコイル作製基板１１５を重ねて付着させても良い。すなわち、コイル作製基板１３０－２～１３０－６はすべてコイル挿入領域Ａがくり抜かれていない平坦なものとなっている。その場合は、図１２（ｃ）で示すように、感光性膜１３１をパターニングし、コイル挿入領域Ａの部分を窓開けして、その部分にあるコイル作製基板１１５をエッチングして、コイル挿入領域Ａである凹部（開口部）１３４を形成する。図１２（ｃ）では、エッチングしたコイル挿入領域Ａである凹部（開口部）１３４がコイル作製基板１３０－３の部分まで達しているが、コイル作製基板１３０－２の部分もエッチングしても良い。コイル作製基板１３０－１の領域に達すると、コイル配線１１６が露出するので好ましくない（コイル配線１１６もエッチングしたり、ダメッジを及ぼさないようにする）ので、コイル配線１１６が露出しない程度でエッチングをストップする。この後、感光性膜パターン１３１は除去する。

【００９３】

次に、この凹部１３４内に接着剤（塗布液）を入れるか、図１２（ｄ）で示すコア部材１３３に接着剤を付着させて、コア部材１３３を凹部１３４内へ挿入する。コア部材１３３は予め支持基板１３２に接着剤等で付着させておく。たとえば、コア部材となるコア部材シートまたはフィルムまたは薄板を支持部材１３３へ付着させた後、フォトリソ法＋エッチングで所定パターンを形成したり、或いは、金型で打ち抜いたりして作製しても良い。あるいは、コア部材シート等をダイシングして不要な部分をピックアップして取り除いて良い。その場合、取り除く部分とそのまま付着しておく部分で接着剤を分けておけば、異なった剥離法を用いて不要な部分だけ容易に取り除くこともできる。（たとえば、軟化温度の異なる接着剤を用いる。）接着剤として非磁性の絶縁性接着剤を用いることができるが、フェライト粒子等の強磁性体粒子を含むペースト状または液状の接着剤を用いても良い。これらの強磁性体粒子もコアの一種となるので、コアの効果を高めることができる。

【００９４】

支持基板１３２に付着したコア部材１３３をコイル挿入領域Ａである凹部（開口部）１３４に挿入する。このとき、支持基板１３２に凸部１３５を設けておけば、コア部材１３３の上部が最上部のコイル作製基板１３０－６の上面より外側に出ないように、すなわちコア部材１３３の全部が凹部（開口部）１３４内に入れることができる。（コア部材１３３の高さｈ１と接着剤の厚みｈ２の和は、凹部１３４の深さｈ３より小さくなるようにし（すなわち、ｈ１＋ｈ２＜ｈ３、凸部１３５の高さをｈ４としたとき、ｈ１＋ｈ２＋ｈ４＞ｈ３となるように設計すれば、支持基板１３２がコイル作製基板１３０－６の上面に当たることはなく、スムーズにコア部材１３３を凹部（開口部）１３４内に入れることができる。）凹部内に入れる接着剤はたとえば熱硬化性接着剤（硬化温度Ｔ１）とし、コア部材１３３と支持部材１３２との接着剤は熱可塑性接着剤（軟化温度Ｔ２）としたとき、Ｔ１＜Ｔ２であるような接着剤を用いることによって、まずＴ１とＴ２の間でコア部材１３３を凹部１３４内に固定し、その後でＴ２以上の温度にしてコア部材１３３を支持部材１３２から分離すれば良い。

【００９５】

コア部材１３３を凹部１３４内に挿入した後で、接着剤等の異物が最上部のコイル作製基板１３０－６の表面に付着しないようにすれば、図１２（ｆ）で示す工程、すなわち次のコイル作製基板１３０－７をコイル作製基板１３０－６に付着できる。接着剤等の異物が最上部のコイル作製基板１３０－６の表面に付着している場合や、コア部材１３３を凹部内に完全に埋め込む場合は、コア部材１３３を凹部１３４内入れて固定した後に同じ接着剤をコア部材１３３の上から凹部１３４内に入れて凹部１３４の隙間空間を接着剤で充填する。あるいは、絶縁膜を積層したり、塗布しても良い。このとき、当選最上部のコイル作製基板１３０－６の表面にも接着剤や絶縁膜が付着または積層するので、ＣＭＰ、ＢＧ（グラインダー）やエッチバックにより付着または積層した接着剤や絶縁膜を取り除き、平坦化して、コイル配線パターン１１６を露出させる。この平坦化は、たとえば、レジスト液等の有機膜を塗布して平坦化した後にＣＭＰ、ＢＧ（グラインダー）等で研磨したり、エッチバック法によりエチングしたりして、平坦化しながらコイル作製基板１３０－６表面を出す。（図１２（ｅ））

【００９６】

この後、図１２（ｈ）に示すコイル挿入領域Ａがくり抜かれていないコイル作製基板である１１５であるコイル作製基板１３０－７をコイル作製基板１３０－６（少しエッチングまたは研磨されている）に付着させる。その後で、最上部のコイル作製基板である図１２（ｊ）に示すコイル配線パターンを有するコイル作製基板１３０－５であるコイル作製基板１３０－８をコイル作製基板１３０－７に付着させる。このようにして、コア部材１３３を内蔵したコイルを作製できる。支持基板１１４－１上の必要な場所に必要な数のコア部材１３３を内蔵したコイルを作製しておく。この後、図１１（ｊ）以降に示す工程でコア部材１３３を内蔵したコイルをコイル挿入用空洞１２０へ挿入する。多数の加速装置や電磁石を必要とする部分に一括して同時にコア部材１３３を内蔵したコイルを配置することができる。尚、図１２（ｇ）で示すコイルの配線パターンを有するコイル作製基板１１５であるコイル作製基板１３０－１の上に絶縁膜を塗布したり積層したりするなどして、絶縁膜を介在すれば、図１２（ｈ）で示すコイル挿入領域Ａがくり抜かれていないコイル作製基板である１１５であるコイル作製基板１３０－２を付着せずに、図１２（ｉ）で示すコイル挿入領域Ａがくり抜かれているコイル作製基板である１１５であるコイル作製基板１３０－３を付着することもできる。（コイル配線パターンとコア部材１３３が電気的に導通することはないので）また、同様にコア部材１３３の上面に絶縁膜が介在していれば、図１２（ｈ）で示すコイル挿入領域Ａがくり抜かれていないコイル作製基板である１１５であるコイル作製基板１３０－７をコイル作製基板１３０－６に付着せずに、図１２（ｊ）で示すコイル配線パターンを有するコイル作製基板である１１５であるコイル作製基板１３０－８を付着することもできる。この介在する絶縁膜は絶縁性接着剤や絶縁性シートや絶縁膜の積層（ＣＶＤ、ＰＶＤ、塗布法等）で実現できる。この結果、図１２（ｈ）で示すレイヤーは必要がなくなる。尚、コア部材としては、鉄（μ＝約5000）、純鉄（μ＝約10000）、ケイ素鉄（μ＝約7000）、パーマロイ（μ＝約100000）、スーパーマロイ（μ＝約1000000）、アモルファス鉄（μ＝約3000）、フェライト（μ＝約2000）、センダスト（μ＝約30000）、バーメンジュール（μ＝約5000）等の軟磁性材料が挙げられる。

【００９７】

次に、上下基板に配置するコイルの作製方法について説明する。図１３は上下基板に配置するコイルの作製方法を示す図である。支持基板１４１－１に1層目のコイル配線基板１４２－１を付着させる。このコイル配線基板１４２－１は、コイル配線のない基板、たとえば図１３（ｉ）の導電体膜配線パターン１４４がないものである。このコイル配線基板１４２－１がＳｉ等の半導体基板や導電体基板である場合は、基板表面に絶縁膜を形成して配線とコイル配線基板１４２－１との間が接続しないようにる。コイル配線基板１４２－１がガラス、石英、サファイヤ、アルミナ、プラスチック、高分子樹脂等の絶縁体であるときは、通常絶縁膜を形成する必要はないが、導電体膜との密着性向上のための絶縁膜が必要な場合もある。１層目のコイル配線基板１４２－１はこの上に付着する配線基板の

配線パターンを保護するものであるが、２層目のコイル配線の下面に絶縁膜を形成して保護することもできるので、この１層目のコイル配線基板１４２－１を設けなくても良い。ただし、コイルを頑丈にするためにはこの１層目のコイル配線基板１４２－１を設けた方が良い。

【００９８】

次に、２層目のコイル配線基板１４２－２を付着する。1層目のパターンはないのでパターン合わせは不要である。２層目のコイル配線基板１４２－２は図１３（ｉ）に示す配線パターンを有する配線基板である。この付着法は、既に記載したように別の支持基板１４１－２（図示せず）に２層目のコイル配線基板１４２－２を付着させて、支持基板１４１－１に付着したコイル配線基板１４２－１と支持基板１４１－２に付着したコイル配線基板１４２－２を対面させて付着した後、支持基板１４１－２をコイル配線基板１４２－２から分離すれば良い。あるいは、コイル配線基板１４２が単体で支持できるものであれば、直接コイル配線基板１４２－１と支持基板１４１－２をアライメントしながら付着させることもできる。あるいは、配線パターンのないコイル配線基板１４３を支持基板１４１－２に付着させて、その配線パターンのないコイル配線基板１４３をパターニングしては配線パターンを開口部とした感光性膜パターンをフォトリソ法で形成し、コイル配線基板１４３をエッチングし、貫通溝パターンを形成する。この貫通溝パターンは垂直形状が望ましい。あるいは、配線パターンを有する金型等で配線パターンのないコイル配線基板１４３を打ち抜いて貫通溝パターンを形成することができる。あるいは、支持基板１４１に感光性樹脂を塗布して貫通溝パターンを開口して開口部以外を硬化させて貫通溝パターンを形成する。あるいは、絶縁膜ペーストを塗布して金型等で貫通溝パターンを開口してペーストを硬化させて貫通溝パターンを形成する。あるいは、スクリーン印刷法でペーストを塗布し貫通溝パターンを開けた後ペーストを硬化させて貫通溝パターンを形成する。

【００９９】

このように貫通溝を形成したコイル配線基板１４３に必要なら絶縁膜を形成し、次に導電体膜を形成し、貫通溝パターンを導電体膜で充填する。ＣＶＤ法やＰＶＤ法やメッキ法で導電体膜を厚く形成して貫通溝を埋めた後、表面をエッチング（エッチバック法）したり、研磨（ＢＧ法やＣＭＰ法）したりして、表面の導電体膜を除去して貫通溝だけに導電体膜を充填させる。あるいは、ＣＶＤ法やＰＶＤ法で貫通溝の内壁およびコイル配線基板１４３の表面に導電体膜（シード層）を薄く積層した後、感光性膜を塗または感光性シートを付着してフォトリソ法を用いて貫通溝パターンを除いた部分を感光性膜で覆い、その後メッキ法で貫通溝パターンをメッキ膜で充填し、その後で、エッチバック法や研磨法でコイル配線基板１４３の表面に積層した導電体膜を除去し、貫通溝パターンだけに導電体膜が充填したパターン（たとえば、図１３（ｉ）～（ｋ）に示すもの）を形成したコイル配線基板１４３を作製する。あるいは、導電体ペーストを塗布して貫通溝パターンを充填して、貫通溝パターンを除いた部分のペーストは取り除き、熱処理等で貫通溝内の導電体ペーストを固める。あるいは、溶融メタルを貫通溝パターンに流し込んで冷却して固めて貫通溝内をメタル（導電体）で充填する。２層目のコイル配線基板１４２－２のコイル配線パターン１４４－２は図１３（ｉ）に示すようなスパイラル状パターンの１枚目である。矩形パターンで形成しているが、円形パターンでも良いし、楕円状パターンでも良い。次に、支持基板１４１－２にコイル配線基板１４２－２が付着している場合は、コイル配線基板１４２－２から支持基板１４１－２を分離する。（図１３（ａ））尚、図１３（ｉ）の右側へ出ている配線パターン１４４は、コイル端子を上部に作製するためのパターンであるが、これは図面上で分かり易いように記載しただけであり、このパターンは図の左側の方に配線を伸ばして来ても良い。

【０１００】

次に、２層目のコイル配線基板１４２－２の上に３層目のコイル配線基板１４２－３を付着する。３層目のコイル配線基板１４２－３の配線パターンは図１３（ｊ）に示すような上下の環状配線パターンをコンタクトするもの（１４４－１）である。右側の配線パターン１４４－２はコイルの端子電極を上部に設けるためのコンタクト配線である。支持基板

１４１－３にコイル配線基板１４２－３を付着させて、それをさらに２層目のコイル配線基板１４２－２の上に３層目のコイル配線基板１４２－３を付着する。（図１３（ｂ））支持基板１４１－３を分離した図が図１３（ｃ）である。このような上下のコンタクト配線では横方向には電流は流れず、縦方向へ電流が流れるので、コイル配線基板１４３の厚みは薄くても良い。そこで、直接２層目のコイル配線基板１４２－２の上に絶縁膜をＣＶＤ法やＰＶＤ法、あるいは塗布法（ＳＯＧ、ペースト）で形成し必要なら適度な熱処理等を行なった後、フォトリソ法を用いてコンタクト孔を開けて、ＣＶＤ法やＰＶＤ法、メッキ法、あるいは塗布法（ペースト）導電体膜を積層し、コンタクト孔を導電体膜で充填し（コイルに流す電流によっては必ずしも充填する必要はない）、フォトリソ法等およびエッチング法等を用いてコンタクト孔回りの導電体膜パターンおよび上層の配線とのコンタクト導電体膜パターンを形成する。この作製法によれば、コイル配線間の厚み、すなわちコンタクト孔の深さも1μｍ～１０μｍ程度にできる。
（この図も図１３（ｃ）である。）

【０１０１】

コンタクト孔サイズ（矩形状の場合、縦ａμｍ、横ｂμｍ）はコイルに流す電流によって選択する。（もちろん、上下のコイル配線の幅ｄ、厚みｈも）コイルに流す電流はコイルが発生する磁界を決定する。たとえば、メッキ法でコンタクト孔（図１３（ｊ）の１４４－１や１４４－２）やコイル配線１４４をメッキ法で形成した場合、エレクトロマイグレーションやストレスマイグレーションを考慮して、１０６Ａ／ｃｍ２程度の電流密度は流せるので、ａ＝ｂ＝３０μｍ、またはｄ＝３０μｍ、ｈ＝３０μｍで、１０Ａ程度の電流を流すことができる。コイルサイズをｘ＝１ｍｍ、ｙ＝１ｍｍの矩形として、コイルは１００回巻きとして、このときに発生するコイル端面の中心磁界は、でかなり大きい。コンタクトの深さを2μｍとすれば、１巻き当たりのピッチは３２μｍとなり、１００回巻きで３２００μｍ＝３．２ｍｍのコイル長さとなる。コンタクトの深さを20μｍとすれば、１巻き当たりのピッチは５０μｍとなり、１００回巻きで５０００μｍ＝５．０ｍｍのコイル長さとなる。尚、環状巻きのコイル配線パターンを有するコイル配線基板を付着方式ではなく積層方式で作製することができる。その方法は、上述したコンタクト配線パターンを形成する方法と同じである。

【０１０２】

次に、コンタクト孔パターンを有するコイル配線基板、あるいはコンタクト孔パターンを有する絶縁層１４２－３の上に、図１３（ｋ）に示すようなリング状のコイル配線パターン１４４を有するコイル配線基板１４３であるコイル配線基板１４２－４を付着させる。コイル配線基板１４２－４も支持基板１４１－４（図示せず）に付着させた後にコイル配線基板１４２－３の上に付着させ、その後、支持基板１４１－４を分離する。単独でコイル配線基板１４２－４を処理できるときは、コイル配線基板１４２－４をコイル配線基板１４２－３の上に直接付着させることもできる。次に、図１３（ｊ）で示すようなコンタクトパターンを有するコイル配線基板１４３であるコイル配線基板１４２－５を支持基板１４１－５に付着させた後に、コイル配線基板１４２－４に付着させる。上述したように、コイル配線基板１４２－５を使用せずに、コンタクト１４４－５－１を形成することもできる。また、下側コイル端子を上部の電極まで接続するコンタクト１４４－３－２、１４４－４－２、および１４４－５－２を順次積み上げ接続していく。（図１３（ｄ））

【０１０３】

これらを繰り返して、図１３（ｋ）に示すような環状のコイル配線パターンと図１３（ｉ）に示すようなコンタクトパターンを交互に付着させるか、積層するかして所定の巻き数を持つコイルを形成する。図１３（ｅ）では、環状のコイル配線パターンを有するコイル配線基板は、１４２－２、４、６、８の４層、コンタクト配線パターンを有するコイル配線基板は、１４２－３、５、７、９の４層である。簡単のためにコイル配線の巻き数は少なくしたが、どんどん積み重ねていくこともできる。あるいは何層か積み重ねたもの同士を重ねることもできる。コイルの中にコアを挿入する場合は、この後コイルを挿入すべき部分、すなわち、環状に形成したコイル配線１４４の内側部分、図１３（ｅ）で破線１４

７で示す部分の内側部分（コイル配線パターン図１３（ｉ）～（ｋ）に破線１４７で示す部分の内側）を繰り抜くための感光性膜パターン１４５を形成する。かなりの厚みをエッチングするので、エッチングストッパー用の膜または薄板を介在しても良い。この感光性膜パターン１４５をマスクにして、開口部１４６からエッチングして、コイル配線の内側のコイル配線基板を除去する。最下層の配線パターンのあるコイル配線基板１４２－２における内側のコイル配線基板を全部除去し、さらにその下にある配線パターンのないコイル配線基板１４２－１の途中まで（あるいは全部でも良い）エッチング除去する。その結果コイル挿入孔１４８（側面が１４７となる）が形成される。このエッチングではかなりの量のコイル基板をエッチングするので、感光性膜パターン１４５（および、エッチングストッパーを介在する場合は、エッチングストッパーも）とコイル基板のエッチング選択比をかなり大きく取る必要がある。あるいは感光性膜を１４５かなり厚くする必要がある。そこで、前もって、各コイル配線基板を作製する段階で、コイル挿入孔となる部分１４８をくり抜いておくと良い。たとえば、図１３（ｉ）～（ｋ）に示すように破線１４７で示す領域の内側部分１４８も除去しておく。この除去方法は、配線パターン１４４の形成時における配線溝（貫通孔）を形成するときに同時に形成できるので、プロセスの増加にはならずコストアップにはならない。配線パターン１４４を形成するときに、繰り抜いた部分１４８に形成した導電体膜も同時に除去しておくか、マスキングして導電体膜を形成しないようにすれば良い。これもプロセスの増加にはならない。この結果、所定枚数のコイル配線基板を積層すれば、同時にコイル挿入孔１４８が形成され、感光性膜パターン１４５やエッチングストッパーを付着するなどのプロセスは不要となる。

【０１０４】

次に、図１３（ｆ）に示すように、支持基板１４９に付着したコア１５１をコイル挿入孔１４８に挿入する。支持基板１４９が最上部のコイル配線基板１４２－９に衝突しないように、凸部１５０を設けてコア１５１をその凸部１５０に付着させてコア１５１をコイル挿入孔１４８に挿入しても良い。これにより、コア１５１を完全にコイル挿入孔１４８へ入れることができる。ディスペンサーや塗布等でコイル挿入孔１４８内へ接着剤を入れてからコア１５１をコイル挿入孔１４８内へ挿入しても良いし、あるいはコア１５１の下面や側面へ接着剤を付着させてからコアを挿入しても良い。接着剤はペースト状、液状、またはゲル状である場合は、緩衝剤にもなるので、コイル配線基板１４２に及ぼすダメッジを小さくすることもできる。あるいは、コア１５１に粘着シートを付着しても良く、その粘着シートもクッション性を持たせることにより、緩衝材の役目を果たす。前述したように、粉末状の軟磁性材料を含むペースト、または液状またはゲル状材料を接着剤に用いることによりコアとしての効果をさらに高めることもできる。コア１５１を用いない場合でも、粉末状の軟磁性材料を含むペースト、または液状またはゲル状材料をコイル挿入孔へ充填することによって、ある程度コイルの磁束密度を高めることもできる。また、粉末状の軟磁性材料を含むペースト、または液状またはゲル状材料をコイル挿入孔１４８が満たされる程度注入するか、あるいはコア１５１を入れたときにコイル挿入孔１４８を充填する程度に上記材料を注入することによって、コア１５１はこれらの材料に被われるのでこの後で、コイル挿入孔１４８を充填するための接着剤等の材料を使用する必要がなくなる。

コア１５１を入れてコイル挿入孔１４８に接着剤等でコア１５１を被ったときには、最上部のコイル配線基板１４２－９の上面で露出している配線層も接着剤等で被われてしまう可能性があるので、研磨法（ＢＧ法、ＣＭＰ法等）やエッチング法で最上部のコイル配線基板１４２－９の上面に付着している接着剤等を除去する。また、最上部のコイル配線基板１４２－９の上面を平坦化しておくことが望ましい。

【０１０５】

次に、図１３（ｇ）に示すように、コイルの外形を決めるための感光性膜のパターニング１５２を行なう。この感光性膜のパターン１５２をマスクにしてコイル配線基板１４２をエッチングし、最下層のコイル配線基板１４２－１まで不要な部分を除去する。このコイル配線基板１４２も厚いので、コイルの外形を決めた状態で積み重ねることもできる。各

コイル配線基板１４２（１４２－１、２、・・・）の外形は、最初から決まった外形の基板（たとえば、図１３（ｉ）～（ｋ）で示す外形だけを有する基板１４３）に配線用の貫通孔および貫通孔内の導電体膜充填のパターンを形成したものを用いても良い。あるいは、広い面積を有するコイル配線基板１４２（１４２－１、２、・・・）に外形部分および配線用の貫通孔および貫通孔内の導電体膜充填のパターンを形成したものを多数（あるいは、１個でも作製はできる）作製したものを積み重ねていくこともできる。こうして、図１３（ｈ）に示すように、支持基板１４１－１に付着したコイル１４０が形成される。

【０１０６】

次に第４基板１５３をコイル１４０の上面（図１３（ｇ）では、コイル配線基板１４２－９）に付着させる。（図１３（ｌ））第４基板１５３は、ガラス基板、石英基板、サファイヤ基板、アルミナ基板、ＡｌＮ基板、セラミック基板、エポキシやポリミド等の各種高分子基板、プラスチック基板などの絶縁基板である。導電体基板やＳｉ基板等の半導体基板の場合は、表面やコンタクト孔部分を絶縁膜で被う必要がある。第４基板を付着した後、最上部のコイル配線基板１４２－９の導電体膜配線パターン１４４－９－１および１４４－９－２に対して、第４基板１５３にコンタクト孔およびその中の導電体膜配線１５４を形成し、さらに少なくともそのコンタクト１５４に接続する電極・配線パターン１５５－１および１５５－２を作製する。導電体膜配線パターン１４４－９－２は、最下部のコイル配線基板１４２－２のコイル配線端子と接続する配線であり、これに接続するものが電極・配線パターン１５５－２である。他方のコイル配線端子は最上部のコイル配線基板１４２－９のコイル配線端子１４４－９－１であり、これに接続するものが電極・配線パターン１５５－１である。従って、導電体膜配線パターン１４４－９－１および１４４－９－２の間でコイル１４０に電流を流し磁界を発生させることができる。第４基板１５３が絶縁性基板（または表面に絶縁膜を被った導電体膜基板または半導体基板）の場合は、コンタクト配線パターンだけであるコイル配線基板１４２－９は省くことができて、環状のコイル配線パターンを有するコイル配線基板１４２－８を直接付着するっことができる。その場合の接着剤は絶縁性接着剤を使用する。予めコンタクト１５４や導電体膜・配線電極１５５を形成した第４基板１５３をコイル１４０に付着させることもできるが、導電体膜配線パターン１４４－９－１および１４４－９－２とコンタクト１５４の接続には導電性接着剤を用い、それ以外の部分は絶縁性接着剤を使用する。または直接接合（常温、高温、融着等）で導電体膜配線パターン１４４－９－１および１４４－９－２とコンタクト１５４の接合、および他の部分の接合を行なうこともできる。

【０１０７】

この後、支持基板１４１－１を分離する。この結果、第４基板１５３に付着したコイル１４０を作製できる。コイル１４０はコア１５１をコイル配線内部に有する。コアを用いない場合は、コイル挿入孔１４８を形成する必要はないのでプロセスは簡単になる。尚、支持基板１４１－１に第４基板を使用することによって、同様のコイル１４０を作製することができ、最後の支持基板１４１－１を分離する必要がないこと、最初の配線パターンのないコイル配線基板１４２－１を使用しなくても良いことなどのメリットがある。ただし、この第４基板１５３は製品として使用していくので、耐久性などの信頼性を考慮して材料やプロセスを構築する必要がある。また、このときは、支持基板でもある第４基板１５３側にコンタクト孔や電極・配線を形成する。

【０１０８】

この第４基板１５３に付着したコイル１４０を、図１１で示した荷電粒子が通る空洞２０４－２の上下に付着した第２基板（上部基板）２０２および第３基板（下部基板）２０３に付着させる。この状態を示した図が、図１４である。すなわち、図１４は、本発明のコイル（電磁石）によって作製された四極電磁石である。荷電粒子通過空洞２０４－２の左右（Ｙ方向）に設けた空洞（コイル挿入用空洞）１２０－１および１２０－２にはコイル１１８－１および１１８－２がそれぞれ配置され、その上部には第２基板（上部基板）２０２が、その下部には第３基板（下部基板）２０３が付着している。このような加速装置における荷電粒子通過空洞２０４－２の上にある第２基板（上部基板）２０２の上に、第

４基板１５３（１５３－１）に付着したコイル１４０（１４０－１）の下面を付着させる。第２基板（上部基板）２０２の付着面に接着剤を塗布したり、接着シートを塗布して、コイル１４０（１４０－１）を付着する。あるいは、コイル１４０（１４０－１）の下面に接着剤を塗布したり、接着シートを塗布して、コイル１４０（１４０－１）を付着する。コイル１４０（１４０－１）を配置する第２基板（上部基板）２０２の部分に凹部を作製し、その部分の第２基板（上部基板）２０２を薄くして、その凹部にコイル１４０（１４０－１）を挿入しても良い。荷電粒子通過空洞２０４－２上の第２基板（上部基板）２０２の厚さが薄くなっているので、コイル１４０（１４０－１）の端面がより荷電粒子通過空洞２０４－２に近づくので、荷電粒子通過空洞２０４－２の磁界の強さを高めることができる。第２基板（上部基板）２０２は磁界を弱めたり、あるいは磁界を乱すので、荷電粒子通過空洞２０４－２上の第２基板（上部基板）の一部（点線で示す開口部分１５９－１）を取り除いても良い。その場合、荷電粒子通過空洞２０４－２の圧力が上昇することを防ぐために、コイル１４０－１が、その開口部分１５９－１を完全に塞ぐように接着剤等でシールする。コイル１４０－１の下側端面のシール部分に導電体膜（導電体薄板）やＳｉ膜（Ｓｉ基板）等の半導体基板を接着しておけば、第２基板（上部基板）がガラス基板等であれば、陽極静電結合で強固に付着できる。あるいは、コイル配線基板１４２－１にこれらの膜、層または基板を用いれば、同様に陽極静電結合で強固に付着できる。

【０１０９】

あるいは、図１４に示すように、支柱１５６－１を第２基板（上部基板）に付着して、その支柱１５６－１に第４基板１５３－１を付着して、空洞１５７－１を形成し、その中にコイル１４０－１が配置されるようにし、また第４基板１５３－１に開口部１５８－１を設けて真空引きできるようにすれば、荷電粒子通過空洞２０４－２の圧力の上昇を防止できる。この場合、第４基板１５３－１が支柱１５６－１に付着したときに、第２基板（上部基板）２０２とコイル１４０－１の端面との距離がほぼゼロになるようにすれば、同時に付着することも可能であるし、第２基板（上部基板）２０２とコイル１４０－１の端面を付着させなくとも、荷電粒子通過空洞２０４－２とコイル１４０－１の端面との距離も固定される。支柱１５６－１は、コイル配線基板１４２を用いて形成すれば、プロセスの増加はない。あるいは、コイル１４０－１の長さと同じか少し長い長さの厚さを持つ基板（これは、絶縁基板、導電体基板、Ｓｉ基板等の半導体基板を使用できる）に空洞１５７－１を作製して、第２基板（上部基板）２０２に付着するか、第４基板１５３－１に付着しておき、コイル１４０－１を配置するときに、第２基板（上部基板）２０２または第４基板１５３－１に付着することができる。第２基板（上部基板）２０２や第４基板１５３－１がガラス基板等であり、支柱１５６－１が導電体基板またはＳｉ基板等の半導体基板であれば、静電陽極結合で強固に接着することもできる。紙面に垂直方向（荷電粒子の進行方向）は記載していないが、荷電粒子通過空洞２０４－２より広く支柱１５６－１によって取り囲むことができるので、荷電粒子通過空洞２０４－２の上部を完全に空洞１５７－１の中に含むことができる。従って、荷電粒子通過空洞２０４－２の外側も圧力制御された空洞１５７－１に囲まれているので、荷電粒子通過空洞２０４－２の圧力もより低圧にコントロールできる。尚、コイル１１８（１１８－１、２）の電極は空洞１５７－１の内部に入っているが、配線として引きまわしができるので、空洞の外側へ伸ばすこともできる。

【０１１０】

荷電粒子通過空洞２０４－２の下側も全く同じようにコイル１４０－２を配置できる。支柱１５６－２、コイル端面に面した第３基板（下部基板）２０３の開口部１５９－２の形成や凹部野形成、空洞１５７－２の形成、真空引き用の開口部１５８－２の形成も同様である。また、紙面に垂直方向に、すなわち荷電粒子通過空洞２０４－２に沿って、複数のコイル１１８（１１８－１、２）およびコイル１４０（１４０－１、２）を配置でき、複数の四極磁石空間を同時に、しかも簡単に作製できる。この四極電磁石により、荷電粒子通過空洞２０４－２を通る荷電粒子の収束および発散を制御することができる。

【０１１１】

図４では、基板コイルを配置させたが、通常の電磁石を配置しても良い。たとえば、各種電磁石を配置して荷電粒子を収束する部分（たとえば、図１において、１５、１７、１９、２１、２２、２３、２６、２８、２９、３１、３２、３５、３６等の部分）に四極磁石を配置することができる。上下方向は簡単に電磁石の一方の磁極を配置でき、磁極を上下基板に接触させるか、接近させれば良い。上下基板に近づけるほど、荷電粒子軌道（貫通室の中央近傍）に近づくので、より小さな磁場でも荷電粒子を収束させることができる。横側は、このままでは電磁石を配置できないので、荷電粒子を収束する部分において、荷電粒子を収束する部分の外側領域（両側）を荷電粒子軌道に略平行に切断して基板に開口部領域（両側）を設けて、その開口部領域に荷電粒子軌道に垂直に磁場が印加されるように、電磁石を配置する。領域としてはスペースが限定されているので、小型で強力磁場を発生するものが望ましい。超伝導磁石の方が容器スペースも考えて磁場強度が所望の大きさを得られるなら超伝導磁石を配置することもできる。本発明の加速器はサイズが小さいので、電磁石を配置する部分全体を超伝導を保持できる温度にする容器内に納めても余り大きな容器サイズとならない。基板に開口部を作製する方法として、レーザーダイシングや高圧水ダイシング等を使用できる。基板内の所望部分を正確に開口することができる。横側に配置する電磁石も基板に接触させるか、接近させて、基板に近づけるほど、荷電粒子軌道（貫通室の中央近傍）に近づくので、より小さな磁場でも荷電粒子を収束させることができる。

【０１１２】

シンクロトロンの場合、偏向磁石２５、３０、３４、３７の間の空洞でも加速するとより高速の荷電粒子を発生させることができる。たとえば、後に説明する質量分析装置で用いた加速用電極を用いることができる。すなわち、中央孔を有する基板側壁板に導電体膜電極を積層した加速電極（収束や減速にも使用できる）を貫通室内に平行に多数作製する。荷電粒子の進行方向に対して多数配置された加速電極にだんだんと大きな電圧を加えていけば、加速電極の中央孔を通る荷電粒子は加速していく。たとえば、１００枚の基板側壁板をピッチ１ｍｍで並べると、長さは100㎜であるが、その間に電圧を分割して、全体で100Vを印加すると、$1/2mv^2=qV$（ｍ：荷電粒子の質量、ｖ：速度、ｑ：電荷、Ｖ：印加電圧）であるから、$m=10^{-25}$kg、q=eとして、v=14km/secとなる。４か所で加速すると56km/secとなる。1000周させると56000km/secとなり、光速の1/5になる。

あるいは、多数配置した加速電極に高周波電圧を印加することによっても荷電粒子は加速され、周波数を大きくしていけば速度を増大させることができる。シンクロトロンの円形軌道を多数並べることもできる（図１６参照）ので、それぞれの軌道において徐々に高周波電圧の周波数を上げていけば無理なく荷電粒子の速度を増大させることができる。線形加速器の場合は、貫通室の横側の基板を切断すれば良いので、横側（左右方向）から電磁石を配置することは簡単である。

【０１１３】

図５は、本発明の荷電粒子加速装置を複数連結させた加速装置を示す図である。図４に示す加速装置２００を多数（２００－１、２、３、・・・）接続し、それぞれの加速装置へ高周波を入力する高周波導入管（導波管）２２３を通して、高周波発生装置２２５から高周波を入力し、加速装置２００で加速電界を作り、荷電粒子発生装置２２１から加速装置２００（２００－１）へ入射した荷電粒子の速度を加速させて、最終段加速装置２００（２００－３）から荷電粒子２２７を高速で出射する。また、加速装置２００内を通過した高周波は高周波導出管２２４から出ていく。それぞれの高周波発生装置２００および荷電粒子発生装置２２１は制御装置２２６で周波数や電力、タイミング（パルス等）がコントロールされる。本発明の加速装置はサイズを自由に変化させて作製できるので、用途に応じて選択できる。たとえば、空洞深さ（ｈ１、すなわち主基板の厚み）を１ｍｍとすると、加速装置の幅を３ｍｍ程度にできるので、３００ｍｍ×３００ｍｍのウエハ（この場合は矩形）で、３００ｍｍの長さの加速装置を１００本作製できる。従って、１枚のウエハで３０ｍの長さの加速装置を作製できる。このような幅の小さな加速装置であれば、全体を真空（超低圧）箱で覆うこともできるので、加速装置内も真空引きすれば、さらに超超

低圧の空洞を実現できる。また、全体を液体Ｈｅや液体窒素等に浸漬することもできるので、高周波印加による発熱を抑えることもできるし、収束用電磁石に超伝導体を使用できるので、電磁石の磁界を高めることもできる。

【０１１４】

図６は、本発明の荷電粒子加速装置の製造方法の一例を示す図である。本発明の荷電粒子加速装置は、主基板２０１内に形成した貫通孔を荷電粒子の加速空洞に用いる。主基板２０１を下部基板２０３に付着させる。主基板２０１は、導電体基板、絶縁体基板、半導体基板等種々の材料を使用できる。導電体基板として、銅、アルミニウム等の金属基板や、高濃度にキャリアをドープした半導体基板（たとえば、低抵抗半導体基板）や導電性プラスチックや導電性セラミックや導電性炭素基板等を使用できる。ただし、強磁性体や常磁性体は高周波の導入で発生する磁場に影響を及ぼすので使用しないことが望ましい。従って、オーステナイト系ステンレス鋼等の非磁性体であるステンレス鋼は使用可能である。絶縁体基板として、ガラス基板、石英基板、サファイヤ基板、アルミナ基板、ＡｌＮ基板、プラスチック基板、セラミック基板等を使用できる。半導体基板として、シリコン基板、ＳｉＣ基板、炭素基板、化合物半導体基板等を使用できる。本明細書では特に記載がない場合は、主基板は半導体基板であるシリコン基板として説明する。

【０１１５】

下部基板２０３も導電体基板、絶縁体基板、半導体基板等種々の材料を使用でき、具体的な材料は主基板２０１と同様である。本明細書では特に記載がない場合は、下部基板は絶縁体基板であるガラス基板として説明する。主基板２０１と下部基板２０３の付着方法は、接着剤を使用して接着する方法、付着面を溶かして接合する融着法、常温接合法、高温接合法、拡散接合法等がある。シリコン基板等の半導体基板または導電体基板とガラス基板の場合、静電接合（陽極接合）法を用いることもできる。主基板２０１の下面にＣＶＤ（化学気相成長）法やＰＶＤ（物理的成長）法により絶縁膜や金属膜等を形成してから下部基板２０３と付着することもできる。次に、図６（ａ）に示すように、主基板２０１の上面にフォトレジスト等の感光性膜２３３を塗布法またはシート付着法で形成してフォトリソ法により窓開けし感光性膜パターン２３３を形成する。この感光性膜パターン２３３は、主基板２０１に貫通孔（貫通室と考えても良い）を形成するためのものである。主基板２０１と感光性膜の間に絶縁膜や金属膜を形成しても良い。これらの絶縁膜や金属膜は主基板２０１の保護膜としての役目を果たしたり、主基板２０１のエッチング中に感光性膜２３３もエッチングされるが、その際感光性膜２３３もすべてエッチングされたときのエッチングストッパーとしての役割もある。

【０１１６】

次に、パターニングされた感光性膜２３３をマスクにして窓開けされた部分の主基板２０１をエッチングする。主基板２０１がシリコンの場合、エッチングガスとしてＣＦ系、ＳＦ系、ＣＣｌ系、ＳｉＣｌ系、Ｃｌ系、Ｂｒ系等を使用でき、貫通孔（空洞）はできるだけ主基板表面に垂直なパターンが望ましく、感光性膜パターン２３３に忠実な形状（図６（ａ）の点線２３４で示す）でエッチングすることが望ましい。このような垂直エッチング法として、ＲＩＥ（反応性イオンエッチング）法、ボッシュ（Bosch）、クライオ法がある。

【０１１７】

下部基板２０３がガラス基板の場合、上記のエッチングガスやエッチング法においてエッチング選択比を大きく取れるので、主基板２０１であるシリコンを厚み方向にオーバーエッチングして主基板２０１の全面を均一性良くエッチングしても、下部基板２０３のエッチング量は小さい。たとえば、主基板２０１の厚みを５００μｍとして、エッチング選択比を５０としたとき、２５％のオーバーエッチングでも（この程度のオーバーエッチングにより主基板２０１全体で貫通孔を完全に形成できる）下部基板２０３のエッチング量は多くても５μｍである。従って、下部基板の厚みは１０μｍあれば十分であるが、一定程度の強度を保持するために１００μｍ程度以上とすることが望ましい。後に補強のために別基板を下部基板２０３に付着させても良い。厚い下部基板２０３（たとえば、３００μ

ｍ以上）を付着させて、後に研磨法（ＣＭＰ法やＢＧ法）やエッチバック法により１００μｍ以下の厚さに薄くする方法もある。

【０１１８】

主基板２０１をエッチングし貫通孔を形成し、感光性膜２３３を除去した後の断面図が図６（ｂ）である。この断面は、空洞の長手方向（を左右）に見た図であり、図５（ａ）に対応し、基板側壁２０１Ｓ－（Ａ）、２０１Ｓ－（１）、２０１Ｓ－（ｉ）｛ｉ＝１、２、・・・｝、２０１Ｓ－（Ｂ）等が、空洞（貫通孔、貫通溝、貫通室と呼んでも良い）２０４Ｃ－（Ａ）、２０４Ｃ－（ｉ）、２０４Ｃ－（Ｂ）等が形成される。ここで括弧（）をつけているのは、後述するように、空洞または基板側壁の半分が形成されているということを意味する。従って、ここでは、主基板２０１の基板厚みはｈ２／２となる。図６（ａ）では主基板２０１（２０１Ｈ）と半分を示すＨを付している。基板側壁２０１Ｓは主基板２０１の表面または裏面に対してほぼ垂直な主基板側壁として形成される。ただし、ほぼ垂直に形成できない場合でも、９０度±１０度以内に抑えることにより加速器として所定の特性を得ることができる。これ以上になる場合でも、高周波入力電圧や荷電粒子発生装置の条件、収束用電磁石の入力電圧等を調整することによって、荷電粒子の速度や方向を制御することができる。

【０１１９】

図６（ｃ）および（ｄ）は、基板側壁２０１Ｓの部分を空洞２０４の長手方向（荷電粒子の進行方向、図６（ａ）および図６（ｂ）では左右方向）に対して直角な方向から見た図である。すなわち、中央孔２０５の形成方法を示す図である。図６（ｂ）に示す基板側壁２０１Ｓを形成した後に、感光性膜２３５を形成し（感光性シート付着法や感光性膜塗布法にフォトリソ法を用いて形成）、中央孔２０５を形成するための窓２３６を窓開けする。主基板２０１の表面に絶縁膜を形成してから感光性膜２３５を形成しても良い。パターニングされた感光性膜２３５をマスクにして、窓開け部分２３６から主基板２０１をエッチングし、中央孔２０５を形成する。中央孔の形状が矩形であるとき、縦の長さをｅ１、横の長さをｅ２とすれば、感光性膜２３５をリムーブした後の状態を示す図である図６（ｄ）に示すように、この段階における中央孔の深さ（縦の長さ）は１／２×ｅ１である。図６（ｃ）および（ｄ）では空洞は見えないが、この基板側壁２０１（たとえば、２０１Ｓ－（ｉ））｛ｉ＝１、２、３、・・・｝の手前または後方に存在し、その境界を点線２３７で示す。簡単に分かるように、図６（ｃ）および（ｄ）の中央孔２０５の形成プロセスは、図６（ｂ）に示す基板側壁２０１Ｓおよび空洞２０４を形成する前、すなわち図６（ａ）の前に形成することもできる。その方が、空洞等の凹凸がないので、感光性膜パターンを形成しやすいというメリットがある。

【０１２０】

次に、図６（ｅ）に示すように、主基板２０１上および貫通孔２０４内に絶縁膜２３８を形成する。この絶縁膜２３８は、主基板２０１が半導体や導電体の場合において、この後形成される導電体膜２０６と導通して問題になる場合に形成する。あるいは、導電体膜との密着性向上膜として形成する。尚、主基板２０１が絶縁体であるときは導通しないので必要ないが、密着性向上用として絶縁膜を形成することができる。絶縁膜２３８は、ＣＶＤ法、ＰＶＤ法等で形成する。たとえば、シリコン酸化膜（ＳｉＯｘ）、シリコン窒化膜（ＳｉＮｘ）、シリコン酸窒化膜（ＳｉＮｘＯｙ）である。主基板２０１がシリコンの場合は、酸化または窒化によって形成することもできる。この後、導電体膜２０６を形成する。この導電体膜２０６は、高周波による加速電界形成するためのものであるから、導電率が高い方が良い。また、磁場発生に影響がない非磁性体（反磁性体含む）が良い。たとえば、銅、金、銀、Ｔｉ、Ｚｒ、Ｔａ、タングステン、アルミニウム、炭素（たとえば、導電性ナノチューブ）、各種シリサイド、これらの合金、導電性PolySi、これらの複合膜が良い。これらの導電体膜はＣＶＤ法、ＰＶＤ法やメッキ法により形成することができる。これらの導電体膜２０６と絶縁膜２３８、主基板２０１、下部（上部）基板２０２、２０３と密着性向上用の密着性向上膜を形成してから導電体膜２０６を形成しても良い。密着性向上膜として、たとえば、チタニウム（Ｔｉ）、窒化チタン（ＴｉＮ）がある。

【０１２１】
荷電粒子加速装置部分以外の空洞における導電体膜は除去またはパターニングする必要があるので、感光性膜を形成しパターニングし、不要な部分の導電体膜２０６はエッチングする。荷電粒子加速装置内の空洞（加速キャビティ）２０４Ｃ－（ｉ）および高周波導入室２０４Ｃ－（Ａ）や高周波導出室２０４Ｃ－（Ｂ）の内部は導電体膜２０６を形成する。導電体膜２０６をパターニングした後、保護膜用の絶縁膜を形成することもできるが、保護膜が不要なら形成しなくても良い。
【０１２２】
図７にそのプロセスの詳細を示す。図７は、基板側壁形成後、導電体膜パターニングまでのプロセスを示す図で、簡単のために図６に示す構造の一部だけ図示している。図７（ａ）に示すように、基板側壁２０１Ｓ（２０１Ｓ－（Ａ）、２０１Ｓ－（１）等）および空洞２０４（２０４Ｃ－（Ａ）、２０４Ｃ－（１）等）を形成後、絶縁膜２３８を形成し、次に導電体膜２０６を形成し、さらに感光性膜２４１を形成する、感光性膜２４１は、塗布法や感光性シートを付着させてそのシートを軟化させて形成する。次に、図７（ｂ）に示すように、露光法（現像やベーク含む）により、所望のパターン２４１を形成し、導電体膜２０６を除去すべき部分の感光性膜を除去し窓開けする。この窓開けされた部分において露出している導電体膜２０６をドライエッチングまたはウエットエッチング法によりエッチング除去する。導電体膜２０６の上に保護膜等が存在する場合は、その保護膜等をエッチング除去した後に導電体膜２０６をエッチングする。導電体膜２０６をエッチングした後、その下に絶縁膜２３８が存在し、それも除去する場合は絶縁膜２３８もドライエッチングまたはウエットエッチング法によりエッチング除去する。その後、感光性膜２４１をリムーブすれば、図７（ｃ）に示すように、所望の部分に導電体膜２０６が形成される。尚、加速装置内の導電体膜２０６を接続する場合は、基板側壁２０１Ｓの凸部分にある導電体膜２０６を残すことができる。中央孔に導電体膜を形成する場合もその中央孔部分に感光性膜を形成（残す）すれば良い。
【０１２３】
導電体膜２０６を残したい部分においてメッキ法で導電体膜を厚く積層する方法について説明する。導電体膜２０６はメッキのシーズ（種）になれば良いので、薄く積層するだけで良い。たとえば、導電体膜２０６が銅の場合、１００ｎｍ程度あれば良い。図７（ａ）の後で、導電体膜２０６を積層したい部分を窓開けする。すなわち、図７（ｄ）に示すように感光性膜２４２をパターニングし、導電体膜２０６を積層したい部分である加速キャビティ部分等を窓開けする。従って、図７（ｂ）とは逆のパターニングとなる。この状態でメッキ液（たとえば、銅メッキであればたとえば硫酸銅液）に浸漬し電界印加により露出した導電体膜２０６部分に厚く銅等のメッキ膜２４３を所定厚みメッキする。尚、無電解メッキ法を用いれば、最初に積層する導電体膜２０６が不要となる場合もある。この後感光性膜２４２を除去した後、薄い導電体膜２０６をエッチングするが、メッキ膜２４３（＋２０６）に比べ導電体膜２０６の厚みは薄いので、導電体膜２０６のエッチング液またはエッチングガスで全面エッチングする。こうすれば新たなマスク（感光性膜など）は不要で、所望の領域だけに導電体膜２０６および２４３を形成できる。
【０１２４】
上部基板２０２上にも図６（ａ）～（ｅ）に示すプロセスで同じ構造を形成する。本発明の荷電粒子加速装置は、空洞２０４の中心に対して上下および横は（ほぼ）対称形となっている。従って、図６（ｆ）に示すように、下部基板２０３に形成した図６（ｅ）に示す構造と上部基板２０２に形成した図６（ｅ）に示す構造を主基板２０１の上面同士を付着させる。上部基板２０２や下部基板２０３はたとえばガラス基板であるから、導電体膜２０６のない空洞部分２０４を通して可視光が通るので、直接上側基板（上部基板２０２と主基板２０１）と下側基板（下部基板２０３と主基板２０１）とをアライメントできるので、極めて正確に合わせ込みができる。本発明の加速装置はＬＳＩプロセスで作製できるので、パターン精度は１μｍ以下であるから、合わせ精度を３μｍとすれば、５μｍ以下の精度で上側基板と下側基板を付着できる。この精度は加速装置の制御には十分である。

【０１２５】
主基板同士の付着は、常温接合法、拡散接合法、高温接合法、あるいは接着剤を用いて強固に行なうことができる。付着部分２３９に絶縁膜が存在し、付着が不十分となる場合は、この部分の絶縁膜を除去し主基板（たとえば、シリコン）同士を常温接合法、表面活性化法、高温接合法または拡散接合法等で付着できる。あるいは、この部分に金属膜または接着剤を付着して、常温接合、または加熱や圧力をかけて上側基板と下側基板を強固に付着することもできる。さらに、この部分に薄いガラス基板を挟み上下の主基板（たとえば、シリコン）と静電結合（陽極接合）で強固に付着させることもできる。また、導電性接着剤を使用すれば、上側基板に形成される導電体膜２０６と下側基板に形成される導電体膜２０６を電気的に接続することが可能である。導電性接着材を使用しなくても、常温接合または適度な温度や圧力をかけて導電体膜２０６を電気的に接続することも可能である。ここでＳ１は接合面であり、加速空洞の中心はほぼＳ１と重なる。また、中央孔の中心もほぼＳ１と重なる。
【０１２６】
図６（ｇ）は、図６（ｆ）における基板側壁２０１Ｓの断面を空洞の長手方向と垂直な方向から見た図である。上側基板（上部基板２０２および主基板２０１）と下側基板（下部基板２０３および主基板２０１）を接合面Ｓ２で付着した図で、空洞キャビティの境界を破線２３７で示す。上部基板２０２と下部基板２０３をほぼ同様の基板とした場合は、接合面Ｓ２に対して上下がほぼ対称関係となる。その中心には中央孔２０５が形成される。中央孔２０５が矩形の場合、図６（ｄ）から分かるように縦がｅ１で、横がｅ２である。中央孔２０５において、基板側壁２０１Ｓの表面にシリコン酸化膜等の絶縁膜２３９を積層して、さらに導電体膜２０６を形成しても良い。図６（ｇ）では、上側基板と下側基板２０３との間にある、導電体膜２０６は除去しているが、この除去は、導電体膜２０６を残したい部分を感光性膜でマスクし、除去したい部分について感光性膜の窓開けを行ない、導電体膜２０６のエッチング液またはエッチングガスでエッチング除去する。接合面（付着面）Ｓ２において、絶縁膜２３９を除去しても良い。この場合は主基板２０１と主基板２０１の接合になる。また、主基板２０１（上側なので、２０１（Ｕ））と主基板２０１（下側なので、２０１（Ｂ））との間に薄いガラス基板を挟んで、静電（陽極）結合により強固に付着させることもできる。
【０１２７】
以上のようにして、平板状基板（主基板、下部基板、上部基板を含む）を用いて荷電粒子加速装置を作製することができる。従来は、加速管内に配置するディスクを１枚1枚作製し、また加速キャビティも１個ずつ作製してそれらを組立てていくため、装置も大きくなり、組立て時間も組立てコストも膨大になり、さらに精度を高めることも困難であったが、本発明の場合は、ＬＳＩプロセスを用いるか、応用しているため、大量に、しかも安価に、精度良く（合わせ誤差は、大きくても１～５μｍ以下）作製できる。
【０１２８】
図８は、上側基板（主基板２０１Ｕ、上部基板２０２）と下側基板（主基板２０１Ｂ、下部基板２０３）の間にガラス基板２５１を挟んで静電結合で付着させる場合の荷電粒子加速装置の作製方法を示す図である。図６および図７と重複する所は省略している所もある。シリコン基板２０１（下側になる基板ということで２０１Ｂと称している）と下部基板２０３であるガラス基板または石英ガラス基板を陽極接合で接合する。次に、シリコン基板２０１のもう一方の面にもガラス基板また石英ガラス基板２５１を陽極接合で接合する。このとき、シリコン基板２０１にプラス（＋）電圧を印加する必要があるので、シリコン基板２０１の側面からプラス（＋）電圧を印加するか、あるいは、下部基板２０３の周辺をフォトリソ法でエッチング除去してシリコン基板２０１を露出して、その露出した部分からプラス（＋）電圧を印加する。（尚、シリコン基板２０１は金属板等の導電体基板でも陽極接合が可能である。また、シリコン基板２０１上にアルミニウム等の金属膜を薄く積層してからガラス基板と接合すれば、金属膜がない場合の陽極接合より低温接合が可能である。）ガラス基板２５１等の厚みは薄い方が良いので、１００μｍ以下、望ましく

は５０μm以下、もっと望ましくは２０μm以下が良い。１０μm以下でも良い。このように薄くする方法として、最初厚いガラス基板等を付着して、研磨法（CMP、BG等）やエッチング法（ウエット、ドライ等）で薄くすることができる。

【０１２９】

次に、基板側壁２０１Ｓを形成するための感光性膜２３３のパターンをフォトリソ法で形成する。次にこの感光性膜２３３のパターンを用いて、窓開けされた領域のガラス基板２５１をエッチング除去する。感光性膜２３３のパターンにできるだけ忠実にエッチングするために、異方性ドライエッチング（垂直エッチング）が望ましいが、サイドエッチング量を考慮してウエットエッチングや等方性ドライエッチングでも良い。ガラス基板２５１をエッチング除去した後、シリコン基板２０１をエッチング除去する。感光性膜２３３のパターンにできるだけ忠実にエッチングするために、異方性ドライエッチング（垂直エッチング）が望ましいが、サイドエッチング量を考慮してウエットエッチングや等方性ドライエッチングでも良い。図８（ａ）では、垂直エッチングライン２３４を破線で示している。

【０１３０】

中央孔２０５の形成もガラス基板２５１の上から感光性膜のパターニングを行ない、ガラス基板２５１および主基板２０１の一部エッチングを行なう。中央孔サイズがガラス基板２５１が厚み以下である場合は、ガラス基板２５１だけのエッチングで良い。逆にガラス基板２５１の厚みを中央孔サイズと合わせることもでき、その場合、ガラス基板２５１と主基板２０１とのエッチング選択比を大きくすることにより、中央孔のサイズがガラス基板の厚みと等しくなり、極めて正確に中央孔のサイズを制御できる。中央孔のパターニングは、基板側壁２０１Ｓ－（Ａ）、２０１Ｓ－（ｉ）｛ｉ＝１、２、・・・｝、２０１Ｓ－（Ｂ）および貫通孔２０４Ｃ－（Ａ）、２０４Ｃ－（ｉ）、２０４Ｃ－（Ｂ）を形成する前に形成することもできる。次に、絶縁膜２３８を形成し、さらに導電体膜２０６を形成する。（図８（ｂ））次に、フォトリソ法、エッチング法により、導電体膜の必要なパターニングを行なう。（図８（ｃ））加速空洞となる貫通孔２０４Ｃ－（Ａ）、２０４Ｃ－（ｉ）｛ｉ＝１、２、・・・｝、２０４Ｃ－（Ｂ）の内側面には導電体膜２０６が形成される。また、それらを接続する中央孔２０５内面にも必要な部分に導電体膜２０６を残す。

もう一方の側（図８では、上側の上部基板２０２側）も同様に作製し、それらを付着させる。（図８（ｄ））ガラス基板２５１の側面にも導電体膜２０６が付着しているので、それらが付着して圧力や熱処理等を行ない接続させることができる。さらに、必要な場合には導電性接着剤や半田金属をこの接続部分に付着させて合わせて付着することにより十分な接続を確保できる。導電性接着剤や半田金属はディスペンサー等でなぞりながら塗布できる。あるいは、接続部分と同じ注入口を持つディスペンサー等を作製し、その注入口から一挙に接続部へ導電性接着剤や半田金属（溶融したもの、またはペースト）を付着できる。あるいは、導電体膜の必要な部分を感光性膜でパターニングして露出させ、その露出部分にメッキ法で半田金属を析出させる。これらを付着させて熱処理すれば良い。さらに、この後真空引き用、またはパージ・クリーニング用の開口部を上部基板２０２または下部基板２０３に開口するが。この開口部を利用して、メッキ液を注入して接続部等にメッキすることもできる。あるいは、開口部から選択ＣＶＤ用のガス（たとえば、ＷＦ６）を導入し、接続部等の導電体膜２０６が露出した部分に選択的に金属膜（たとえば、Ｗ）を積層することもできる。あるいは、接続が不十分な場合でも、上下に電極を形成できるので、両方から同じ高周波電圧を印加すれば良い。図８（ｃ）と同じものを互いに付着させたときの接着面は一点鎖線で示す２４４であり、この接着面２４４に対し上下にほぼ対称な形状となる。この接着は、ガラス面とガラス面の接着になるので、静電陽極接合を行なえないので、片側はガラス基板２５１を使わないようにすれば、上下を接着するときに静電陽極接合を使用できるので、強固な接合を実現できる。

【０１３１】

次に、図８（ｅ）に示すように、下部基板２０３および絶縁膜２３８にコンタクト孔を形

成し、そこに導電体膜を形成し導電体膜２０６へ接続するコンタクト２４５を形成する。さらにこのコンタクト２４５に接続する導電体膜・電極・配線２４６を形成する。同様に、上部基板２０２および絶縁膜２３８にコンタクト孔を形成し、そこに導電体膜を形成し導電体膜２０６へ接続するコンタクト２４８を形成する。さらにこのコンタクト２４８に接続する導電体膜・電極・配線２４９を形成する。図８（ｅ）に示すように、これらのコンタクト２４５、２４８および電極・配線２４５、２４９は、各空洞室２０４Ｃ－Ａ、Ｂ、２０４Ｃ－ｉそれぞれの空洞室内面に形成された導電体膜２０６へ接続できるようにそれぞれ作製でき、プロセスの増加は全く生じない。これによって、それぞれの空洞室内面に形成された導電体膜２０６へ外側から個別に電圧を印加できる。さらに、上下の導電体膜２０６は接合面２４４で互いに合わさり接合するが、たとえ接合が不十分でも、それぞれ上下の電極２４６および２４９から（高周波）電圧印加ができるので、同じ電位とすることができる。また、下部基板２０３に真空引き用の開口部２４７、上部基板２０２に真空引き用の開口部２５０を形成する。この開口部２４７および２５０も各空洞で同時に作製でき、各空洞の圧力を個々に制御することもでき、また非常に小さな空間を個別に真空引きできるので、超超低圧の空洞を実現することができる。上述した様にこの開口部を用いて、メッキ液を空洞内に入れて内部の導電体膜の接続部にメッキもできるし、選択ＣＶＤ用のガスを空洞内に入れて内部の導電体膜の接続部に選択導電体膜を積層することもできる。以上のように極めて簡単に非常に小さな加速空洞を作製できる。

次に偏向電磁石を説明する。図４、図１１～図１４に示した四極磁石のうち上下に配置したコイルを用いて偏向電磁石を作製できる。図１５は、図１における偏向電磁石２５、３０、３４、３７等の荷電粒子通過空洞およびそこに配置された電磁石を示す図である。図１５（ａ）は偏向電磁石部分の荷電粒子通過空洞２５７およびコイルの配置状態を示す図である。荷電粒子通過空洞２５７は、中心軌道が半径Ｒの曲率を持ち、その曲率に沿った空洞である。この空洞の上下に電磁石である微小コイル２５８が多数配列している。微小コイル２５８は荷電粒子通過空洞２５７の全体を覆って密に配置される。荷電粒子Ｇは、荷電粒子通過空洞２５７の入り口から入って、荷電粒子通過空洞２５７内の垂直磁界によりローレンツ力を受けて軌道半径Ｒで円運動を行ない荷電粒子通過空洞２５７の出口から出ていく。

【０１３２】

荷電粒子通過空洞２５７を曲率中心に垂直な断面Ａ１－Ａ２に沿った断面図を図１５（ｂ）に示す。主基板２６１に形成された貫通室２６４の上下を上部基板２６２および下部基板２６３で閉じている。この貫通室２６４が荷電粒子通過空洞２５７であり、中心軌道が半径Ｒの円軌道を有する空洞となっている。上部基板２６２の上面にコイル２６０（２６０－１、２、３）が複数配置されている。コイル２６０（２６０－１、２、３）は第４基板２６６に付着し、第４基板２６６は支柱２６５（２６５－１、２）に付着し、支柱２６５は上部基板２６２に付着している。コイルはコイルサイズ（コイル軸に対して垂直面方向サイズ）が小さいほど、巻き数が多いほど、流れる電流が大きいほど、コイル端面の磁界が大きいので、小さなコイルを多数並べて配置すると、荷電粒子通過空洞２５７に及ぼす磁界が大きい。本発明のコイルは、図１３でも示したようにコイルサイズを小さくすることは容易であるが、配線サイズを小さくすると流せる電流も小さくなる。従って、一概にコイルサイズを決めることはできないが、荷電粒子通過空洞２５７に比べてコイル２６０のサイズが小さい場合は、荷電粒子通過空洞２５７全体をコイル２６０で完全に被うように複数配列する。たとえば、コイルサイズが0.5㎜×0,5㎜で、荷電粒子通過空洞２５７の幅が1㎜であるときは、図１５（ｂ）に示すように、少なくとも３個のコイルを荷電粒子通過空洞２５７の幅方向に並べる。その際荷電粒子Gの中心軌道は荷電粒子通過空洞２５７の幅方向におけるほぼ中心であるから、この中心上に１つのコイルの軸がほぼ一致するように配置するのが望ましい。コイル端面の中心が最も磁界が大きいからである。（ただし、余り差はない。）そのコイルを間にして幅方向に密に配列していく。コイル間の距離（たとえば、コイル２６０－１と２６０－２との距離）は、コイルを作製するとき（コイル配線基板を重ねて付着するとき）に決まり、コイル同士を分離する必要がないので、

かなり小さくすることができる。たとえば、配線間距離をコイルの配線幅程度とすることも可能である。コイルサイズが荷電粒子通過空洞２５７より大きい場合は、幅方向には１個のコイルで良い。そのときもコイルの軸は荷電粒子通過空洞２５７の中心上に来るようにコイルを配置することが望ましい。

【０１３３】

また、荷電粒子通過空洞２５７における荷電粒子の進行方向に関しても、この軌道に合わせたコイル配線基板のコイルパターンを用いて、コイルを隙間なく配列していけば良い。たとえば、図１５（ａ）に示すようにコイル２５８を配列していく。そして、コイル配列群をまとめて分離して（あるいは分離しなくても良い）第４基板に付着して、支柱２６５（２６５－１，２）を元にして（または一緒に）上部基板２６２に付着する。これは図１４で説明したことと同様である。コイル２６０の軸は上部基板２６２や主基板表面に対して垂直となるようにする。また、コイル２６０の端面はできるだけ荷電粒子通過空洞２５７に近い方が良いので、上部基板２６２に接触させて付着するか、できるだけ接近させる。コイル２６０が配置される部分における上部基板２６２の部分２７３－１を薄くして（実際にはコイル２６０（２６０－１、２，３）の方が荷電粒子通過空洞２５７の幅よりも広いので、荷電粒子通過空洞２５７の幅よりも広いコイル２６０が全て入り込むことのできる凹部を設ける）、その凹部へコイル２６０（２６０－１、２、３）を挿入することも望ましい。さらに、荷電粒子通過空洞２５７におけるコイル２６０を配置する部分の上部基板２６２の部分２７３－１を開口して、コイル２６０の磁界が上部基板２６２により弱められたり、乱されたりしないようにすることも望ましい。この場合、荷電粒子通過空洞２５７の気密空間が破れるので、コイル２６０の下端面の外周部（この場合は、複数のコイルの外周部）と上部基板２６２との付着を確実に行なうことが望ましい。たとえば、コイル外周部に接着剤（半田金属）を付着したり、常温接合や高温接合、拡散接合、あるいは静電陽極接合を確実に行なう。さらに、コイルが配置される空間２６９を気密空間として、第４基板２６６に真空引き用の開口部２７０を設け、この真空引き用開口部２７０から気密空間２６９を超低圧にする。当然荷電粒子通過空洞２５７にも真空引き用の開口部を上部基板２６２や下部基板２６３に設けて、その開口部を通して真空引きできるようにする。この結果、荷電粒子通過空洞２５７を超超低圧空間とすることができる。

【０１３４】

下部基板２６３も同様にコイル２５９（２５９－１、２、３）を配置する。コイル２５９（２５９－１、２、３）の端面を荷電粒子通過空洞２５７へ近づけるために凹部２７３－２を設けたり、開口部２７３－２を設けたりすることができる。コイル２５９は第４基板２６８に付着し、支柱２６７（２６７－１、２）は下部基板２６３に付着し、第４基板２６８は支柱２６７に付着する。コイル２５９を配置する空間２７１を気密空間とし、第４基板２６８に真空引き用開口部２７２を設けることもできる。下部基板２６３側のコイル２５９は、上部基板２６２側のコイル２６０と同じものを同じ数だけ、荷電粒子通過空洞２５７に対して対称に配置することが望ましい。同じ特性のものであれば、荷電粒子通過空洞２５７内の磁界を制御しやすい。しかし異なるサイズのコイルでも、流す電流の大きさを調整すれば、同様に荷電粒子通過空洞２５７内の磁界を制御することができる。本発明は、コイルを配置する空洞がどのような形状をしてもそれに合わせてコイルの形状を設定できる。たとえば、コイル配線を任意の曲線形状にできる。また、コイルサイズの自由に設定できるし、コイルの配置項数や配置形状も自由に変更できる。図１に示すシンクロトロンの偏向磁石部２５、３０、３４、３７等は半径Ｒの曲率を持つ扇型形状の空洞であるが、それに対応したコイルを自由に配置することができる。もちろん、直線形状の空洞における四極電磁石、収束用電磁石の配置形状や配置個数も自由に設定できる。

【０１３５】

既に述べたように、本発明の加速器は、種々の機能を持つ機器を一括して作製できるので、基板を大きくして、さらに機器を接続することができる。図１で示したシンクロトロンである超小型加速装置をさらに１回り大きいシンクロトロンを接続し、それらを同時に一挙に作製することができる。図１６は、図１で示した円形加速器（シンクロトロン）８－

１を有する超小型加速装置１０－１をさらに１回り大きい円形加速器８－２に接続した図で、２重シンクロトロン（あるいは２サイクルシンクロトロン）を示す図である。１つ目の小さな超小型加速装置１０－１の回りを２つ目のシンクロトロン８－２が取り巻いている。これらをまとめて超小型装置１０－２とする。１つ目の小さな超小型加速装置１０－１（図１で示したものと同じと考えて良い）の出口４１－１（図１の４１であるが、２つ目の大きなシンクロトロンの出口４１（これは４１－２）と区別する意味で「－１」をつけた。）は２つ目のシンクロトロン８－２のインフレクター２１－２へ接続する。すなわち、１つ目の小さなシンクロトロン８－１の出口４１－１を出た荷電粒子は、インフレクター２１－２を介して、円形加速器８において荷電粒子が通る空洞である蓄積リング２４－２に入射する。円形加速器８を出た空洞の途中に線形加速装置３９－１を設けて、インフレクター２１－２へ入る荷電粒子の速度を調節することもできる。また、その途中に他の偏向電磁石、加速電極、減速電極、線形加速装置、収束電磁石等を設けても良い。

【０１３６】

インフレクター２１－２から円形加速器８－２の蓄積リング２４－２に入射した荷電粒子は、（水平方向用）収束電磁石や（垂直方向用）収束電磁石を設けて、収束しても良く、偏向電磁石２５－２で偏向・加速し、次の蓄積リング２７－２へ入り、ここでも高周波加速空洞２９－２でさらに加速し、（垂直方向用）収束電磁石２６－２、（水平方向用）収束電磁石２８－２で収束し、偏向電磁石３０－２で偏向・加速し、次の蓄積リング３３－２へ入り、ここでも（垂直方向用）収束電磁石３１－２、（水平方向用）収束電磁石３２－２で収束し、偏向電磁石３４－２で偏向・加速し、次の蓄積リング３８－２へ入り、ここでも（垂直方向用）収束電磁石３５－２、（水平方向用）収束電磁石３６－２で収束し、次の偏向電磁石３７－２で偏向・加速し、次の蓄積リング２４－２へ入る。このようにして、荷電粒子は、蓄積リング２４－２、２７－２、３３－２、３８－２中を加速しながら回り続け、所望の速度および所望の数の荷電粒子が得られたら、荷電粒子を外部へ導く空洞（これを荷電粒子排出空洞と呼ぶこともある）４０－２へ入り、荷電粒子排出空洞４０－２の出口４１－２から外部へ荷電粒子を取り出す。荷電粒子排出空洞４０－２の途中に線形加速装置３９－２を設けて荷電粒子をさらに加速させても良い。また、その途中に他の偏向電磁石、加速電極、減速電極、線形加速装置、収束電磁石等を設けても良い。

【０１３７】

このようにいくつも円形加速器を接続することができる。これを用いて、荷電粒子の速度を上げることができる。またそれぞれの蓄積リングに荷電粒子を貯めておくことができるので、必要な量の荷電粒子を短時間で準備できる。たとえば、荷電粒子の通る蓄積リングの空洞直径を1㎜とし、一番内側の超小型加速装置の大きさを半径50㎜とし、リングピッチを3㎜とし、基板の半径を270㎜とすれば、70個の円形加速器を配置できる。

【０１３８】

図１７は、円形加速器８を分割して基板に作製する場合の模式図を示す図である。すなわち、基板を大きくできず、かつ円形加速器等が基板サイズに対して大きい場合に、加速器を作製する方法を示す。図１に示すような円形加速器８がかなり大きく、たとえば２ｍ×２ｍの基板が必要であるが、１ｍ×１ｍの基板しか用意できない場合には、１ｍ×１ｍの４枚の基板４４－１～４４－４（破線で示す）を用意し、それぞれに円形加速器８の１／４のパターン４３－１～４３－４を作製する。接続部のパターンである４５－１、２、３、４の所で基板４４－１～４４－４を、たとえばダイシング装置で切断する。ここで接続すべき部分は、蓄積リング２４、２７、３３、３８であるから、この部分における蓄積リングの中心軸が合うように接続する。この接続を確実に行なうために、切断部を研磨したり、エッチングしたりして、接続面を平滑にする。接続部の付着は、各種接合法で行なうことができる。接続部の間に別材料を介在することもできる。たとえば、ガラス基板、プラスチック基板、金属基板等で、これらと接続部材の融着等や静電陽極結合を行なうことができる。蓄積リング２４、２７、３３、３８の内部が超低圧にできれば、接続部は必ずしも確実に付着する必要はない。たとえば、この部分を被う部材または箱を用意して、基板４４－１～４４－４とその部材等を付着すれば良い。蓄積リング２４、２７、３３、３

８の軸合わせを調整できるようなある程度柔軟性またはフレキシブルな部材等が望ましい。その部材等に真空引きラインを設けて、その内側を真空引きできるようにすれば尚良い。これを繰り返せば、極めて大きな円形加速器も作製できる。また、この方法は、前述したように、イオン化源や長い線形加速器の作製にも適用できる。すなわち、線形加速器を基板内に多数作製し、それらをダイシング等により切断して、それらの空洞同士を接続すれば良い。

【０１３９】

図１８は、本発明のマイクロ波イオン源を示す図である。本発明のマイクロ波イオン源は、主基板１６１の上面に上部基板１６２、下面に下部基板１６３が付着し、主基板に形成された貫通室１６４－１、１６４－２、１６４－３を含み、貫通室１６４－１は、上部基板１６２または下部基板１６３に開口された開口部１６６－１を通して、マイクロ波または高周波（以下、高周波）発振器からの高周波１６０が導入される導波管である。（以下、導波管室１６４－１とも言う。）貫通室１６４－２は、導波管室１６４－１の隣室で、中央孔１６５－１を有する基板側壁１６１－２によって隔てられた放電室であり（以下、放電室１６４－２とも言う）、導波管室１６４－１から基板側壁１６１－２の中央孔１６５－１を通して高周波が入射される。放電室１６４－２の周囲はコイル配線が取り巻いたコイル１６９が配置され、このコイル１６９により放電室１６４－２内にコイル軸方向に磁場Ｂ１が発生する。放電室１６４－２内の電子が高周波電界により加速され、気体を衝突電離することにより放電が起こり、プラズマが発生する。高周波発振器（図示せず）は、開口部１６６－１に接続しているが、接続部にシール部１６８－１を設けて高周波発振器と導波管室１６４－１との接続部から高周波が漏れたり、真空が漏れたりしないようにすることが望ましい。このシール部１６８－１はガラス、プラスチック等の絶縁体材料基板を接着剤等で付着することができる。尚、この導波管室１６４－１を主基板１６１の外側に設けて省略することもできる。その場合は、高周波１６０を直接放電室１６４－２へ導入することもできる。導波管室１６４－１の上部基板１６２および／または下部基板１６３に気体（ガス）導入用の開口部１６６－２が開口され、この開口部１６６－２からイオンの元になる各種気体（ガス）を導入し、高周波とともに放電室１６４－２へ送る。また、導波管室１６４－１の上部基板１６２および／または下部基板１６３には真空引き用の開口部１６７－１が備わり、導波管室１６４－１を所定の圧力に設定できる。さらに各貫通室の上部基板１６２および／または下部基板１６３に開口部を設けて、圧力測定や、温度測定を行なうこともできる。また、各貫通室の温度は、外部から赤外線を照射して温度を制御することができる。あるいは、外側から、ヒーターや熱水や熱風で温めることができ、ペルティエ素子等の使用、冷水や冷風、冷気体、液体Ｈｅ、液体窒素等の冷液体で冷却することもできる。体積が小さいので簡単にコントロールできる。

【０１４０】

放電室１６４－２の隣室の貫通室１６４－３はイオン引き出し電極室であり、放電室１６４－２のとは中央孔１６５－２を有する基板側壁１６１－３で隔てられている。放電室１６４－２には、引き出し電極であり中央孔１６５－３を有する基板側壁１６１－４、減速電極・収束電極である中央孔１６５－４を有する基板側壁１６１－５、加速電極である中央孔１６５－５を有する基板側壁１６１－６がある。放電室１６４－２内で発生したイオン（荷電粒子）は、引き出し電極１６１－４の電界に引き寄せられ、仕切り用の基板側壁１６１－３の中央孔１６５－２を通り、さらに引き出し電極１６１－４の中央孔１６５－３を通って加速し、隣の減速電極・収束電極１６１－５の中央孔１６５－４を通って収束して、さらに隣の加速電極１６１－６の中央孔１６５－５を通って加速する。これらを繰り返して加速・減速・収束したり、偏向磁石室へ出射したり、四重極磁石室で収束したり、質量分析室等、イオン注入、その他の用途を持つ種々の貫通室へ出射する。イオン引き出し電極室では、加速電極や減速・収束電極を組み合わせながら、所望の速度、電流密度を持つイオンビームを得る。

【０１４１】

各貫通室同士の仕切り用で中央孔を持つ基板側壁は、通常、導電体膜は積層していないの

で、ここで加速や減速はされない。引き出し電極であり中央孔１６５－３を有する基板側壁１６１－４は、その側面に導電体膜１７０－１（前方側側面）および１７０－２（後方側側面）が積層している。主基板１６１が絶縁体であれば直接導電体膜１７０を形成でき、主基板１６１が絶縁体でない場合は主基板１６１と導電体膜１７０の間に絶縁膜を介在すれば良い。この導電体膜１７０は、上部基板１６２の下面に形成された導電体膜１７６、および／または下部基板１６３の上面に形成された導電体膜１７５に接続し、さらに上部基板１６２および下部基板１６３に形成されたコンタクト１７３に接続し、さらに上部基板１６２の上面に形成された導電体膜電極配線１７２および／または下部基板１６３の下面に形成された導電体膜電極配線１７４に接続する。従って、導電体膜電極配線１７２および／または１７４から、導電体膜１７０へ電圧を印加できる。イオンが負電荷の場合は、引き出し電極１６１－４へ正電圧を印加し、イオンを引き寄せて加速する。イオンが正電荷の場合は、引き出し電極１６１－４へ負電圧を印加し、イオンを引き寄せて加速する。イオンが発散することを防ぐために、あるいは加速しすぎないために、減速・収束用電極１６１－５を設ける。その構造は引き出し電極１６１－４と同様である。イオンが負電荷の場合は、減速・収束用電極１６１－５へ負電圧を印加し、イオンを収束させるとともに減速する。イオンが正電荷の場合は、減速・収束用電極１６１－５へ正電圧を印加し、イオンを収束させるとともに減速する。加速電極１６１－６は、その構造も電圧印加法も引き出し電極１６１－４と同じである。本発明では、これらの基板側壁電極を複数自由に配置できるので、各基板側壁電極への印加電圧の正・負、印加電圧の大きさを自由に選定してイオンビームＧを制御できる。

【０１４２】

放電室１６４－２の上部基板１６２および／または下部基板１６３に気体導入用の開口部１６６－３を設けて、ここから気体を放電室１６４－２へ導入してイオン化しても良い。また、放電室１６４－２の上部基板１６２および／または下部基板１６３に真空引き用の開口部１６７－２を設けることもできる。コイル１６９の配線がスパイラルに放電室１６４－２の外側を取り巻いており、これが放電室１６４－２に磁場を発生させている（第１磁場発生）が、それを補助するために、コイル１６９の内側で、放電室１６４－２の外側に第２磁場発生手段である複数の磁石１７８が配置されている。この磁石１７８は、永久磁石でも良く、放電室１６４－２の長手方向（イオンの進行方向でもある）に同一の極性になっており、図１８（ｂ）に示すように、（図１８（ｂ）は、図１８（ａ）のＡ１－Ａ２に沿った断面図である）、放電室１６４－２の周囲に一定間隔をおいて複数配置される。（図１８では１６極磁石）放電室１６４－２を向いている面の各磁石１７８の極性は同一であり、隣り合った磁石の極性は逆になるように配置される。これによって、各磁石間に発生する磁場は放電室１６４－２の内面の周囲で内面に局在した多極磁場（破線で示す）Ｂ２となる。この多極磁場Ｂ２は、放電室１６４－２の内面から内側へ近づくにつれて小さくなる。この結果、放電室１６４－２の中心付近ではかなり磁場Ｂ２が弱くなり、放電室１６４－２の中心付近に一様なプラズマが生じる。同時に放電室１６４－２の内面側では磁場Ｂ２によりプラズマの進入が抑制され、プラズマ損失が低減する。さらに、これらの磁石１７８により、高周波によりプラズマの特性がより安定化して、主磁場Ｂ１によるイオン電流の変動を小さくすることができる。主磁場Ｂ１を精密にコントロールすることによっても、放電室１６４－２内のプラズマの安定化およびイオンビームＧの量を安定に生成できるが、磁石１７８を配置することによって、さらに精密なコントロールが可能となる。

【０１４３】

磁石１７８が永久磁石の場合、たとえばフェライト磁石、ネオジム磁石、サマリウムコバルト磁石、Ｆｅ－Ｃｒ－Ｃｏ磁石、Ｆｅ－Ｐｔ磁石、Ｆｅ－Ａｌ－Ｎｉ－Ｃｏ磁石、Ｃｏ－Ｐｔ磁石を使用できる。磁石１７８は、永久磁石の他に、本発明の微小コイルを複数並べたものでも良い。すなわち、１６極磁石の場合、各極の同じ側に同一の極性になるように複数の微小コイルを配置する。あるいは、各極は一つのコイルとしても良い。その場合は、イオンの進行方向に細長く巻いたコイルとなる。微小コイルを用いた場合、各コイル

の磁場は印加電流により制御できるので、より精密な磁場Ｂ２を発生でき、また制御できる。磁石１７８を配置する場合、上部基板１６２や下部基板１６３において、放電室１６４－２の磁石１７８の配置領域に凹部１８１や１８２を形成して、その部分における基板厚みを薄くしても良く、それだけ放電室１６４－２の磁場発生を強めることができる。また、磁石１７８を配置する場合、放電室１６４－２の外側において第４基板１６８や第５基板１７７を上部基板１６２や下部基板１６３に付着させて、図１８に示すように、磁石１７８の上方をあけておくこともできる。特に微小コイルを配置するときは、この部分をあけておけば、微小コイル端子に電流を流し易い。たとえば、微小コイル端子にワイヤボンドすることができる。尚、第４基板１６８（１６８－２、３）はシール用基板１６８－１と兼用することもできる。すなわち、同じ基板で上部基板１６２に付着できる。

【０１４４】

磁石１７８の上方に空間を設けて、図１８に示すように、第６基板１７９を第４基板１６８に、第７基板１８０を第５基板１７７に付着する。このとき、第６基板１７９および第７基板１８０にコイル配線１６９を形成しておき、また、第６基板１７９および第７基板１８０に、これらのコイル配線１６９に接続するコンタクト１８３－１を形成しておき、第４基板１６８に形成したコンタクト１８３－２と接続する。さらに第４基板１６８に形成したコンタクト１８３－２は、上部基板１６２に形成したコンタクト１８３－３と接続する。さらに上部基板１６２に形成したコンタクト１８３－３は、主基板１６１に形成したコンタクト１８３－４と接続する。さらに、主基板１６１に形成したコンタクト１８３－４は下部基板１６３に形成したコンタクト１８３－５と接続する。さらに、下部基板１６３に形成したコンタクト１８３－５は第５基板１７７に形成したコンタクト１８３－６と接続する。そして、第７基板１８０に作製したコイル配線１６９に接続した第７基板に形成したコンタクト１８３－７を第５基板１７７に形成したコンタクト１８３－６と接続する。この結果、コイル配線１６９はスパイラル状につながり、放電室１６４－２を取り囲み、コイル１６９が作製される。尚、磁石１７８を配置しないときには、第４基板～第７基板は不要であり、コイル配線パターンを上部基板１６２および下部基板１６３へ形成すれば良い。

【０１４５】

コイル配線１６９のコンタクト１８３（１８３－１～７）は、各基板にコンタクト孔を形成し、その基板が絶縁体でない場合は、そのコンタクト孔内面に絶縁膜を形成しておく。次に、必要なら密着用またはシード要導電体膜をコンタクト孔内面に積層した後、メッキ法、スキーズ法、溶融金属流し込み法、ディスペンス法、電鋳法、ＣＶＤ法、選択ＣＶＤ法等を用いてコンタクト孔内を導電体膜で充填またはセミ充填する。これらを順次付着させていけば良い。図１８（ｂ）に示すように、上部基板１６２と下部基板１６３の間、すなわち、放電室１６４－２の側面側に配置された磁石群１８４（１８４－１、２）は、放電室１６４－２と基板側壁１６１－４および１６１－５を挟んで形成された貫通室である、磁石群挿入用貫通室１６４－４および１６４－５に挿入される。この挿入方法は、既に述べたコイル挿入方法と同じである。また、磁石群１８４（１８４－１、２）の作製法は、磁石１７８を非磁性体１８３を介在させながら順次積層していけば良い。この作製法もコイル作製法と同じである。

【０１４６】

あるいは、主基板１６１を幾つかに分割し、その分割した主基板に磁石群１８４（１８４－１、２）や非磁性体１８３を搭載して順次付着させることによっても放電室１６４－２の側面側に磁石群１８４（１８４－１、２）を配置することができる。その場合、磁石群１８４（１８４－１、２）における磁石１７８の厚みとその間に介在する非磁性体１８３の厚みを分割した主基板１６１の厚みに合わせておくことが望ましい。

さらに、図１８において、第６基板１７９の下面に上側の磁石１７８を付着して、放電室１６４－２の上方に磁石１７８を配置することができる。このときは、当然第４基板１６８の厚み、凹部１８１の深さ、磁石１７８の厚みをそろえておき、できるだけ放電室１６４－２に近づけることが望ましい。同様に第７基板１８０の上面に下側の磁石１７８を付

着して、放電室１６４－２の下方に磁石１７８を配置することができる。このときは、当然第５基板１７７の厚み、凹部１８２の深さ、磁石１７８の厚みをそろえておき、できるだけ放電室１６４－２に近づけることが望ましい。

【０１４７】

上部基板１６２、第４基板１６８、第６基板１７９で形成される空間１８５を気密空間にし、下部基板１６３、第５基板１７７、第７基板１８０で形成される空間１８６を気密空間にすることもできる。この場合、放電室１６４－２における上部基板１６２の一部および下部基板１６３の一部、特に磁石１７８を配置される領域を除去すれば、磁石の磁場が直接放電室１６４－２へ印加されるので、効率的な磁場Ｂ２を発生できる。この場合、磁石１７８を上部基板１６２および下部基板１６３に付着した場合には、磁石１７８を支持できる最低減の上部基板１６２および下部基板１６３を残しておけば良い。第６基板１７９および第７基板１８０に磁石１７８が付着している場合は、磁石の直下または直上にある基板１６２および１６３を除去できる。同様に、放電室１６４－２の側面側の基板側壁１６１－４および１６１－５も除去できる。あるいは、一部だけ残しておいても良い。この場合、空間１８５や１８６を真空引きしたり、ガスを導入したりする開口部を第６基板１７９や第７基板１８０に設けることもできる。同様に、磁石群挿入用貫通室１６４－４および１６４－５を真空引きしたり、ガスを導入したりする開口部を上部基板１６２や下部基板１６３に設けることもできる。

【０１４８】

本発明の基板を用いた高周波イオン源のサイズを見積もる。本発明の貫通室は高さ、幅とも0.1㎜～100㎜、これ以上のものも付着法で可能である。モールドを用いた基板インゴット法でも可能である。3Dプリンターでも作製可能である。長さは基板サイズで決まるが10㎜～1000㎜、これ以上のものも接続法で可能である。一例として、主基板の厚み1㎜、上部・下部基板・第４基板～第７基板の厚み0.2㎜、基板サイズ600㎜×600㎜とすれば、放電室の高さは、１枚の主基板で1㎜、10枚重ねで10㎜、50枚重ねなら50㎜、100枚重ねなら100㎜となり、幅は1～100㎜と高さに合わせることができ、長さは500㎜程度までは作製できる。また、放電室１６４－２の長さを200㎜とし、コイル１６９の幅・厚みを1.5㎜×1.5㎜、ピッチを2㎜とすれば、100巻きのコイル（電磁石）を作製できる。コイル１６９は、図１８では基板内に導電体膜を埋め込んで作製しているが、基板を切断して放電室１６４－２を含む加速器等を個別に切りだした後で、放電室１６４－２の回りにコイル配線１６９を手動または自動で巻き付けてコイル１６９を作製することもできる。以上のように、基板を用いた本発明のイオン発生源は種々のサイズで作製できる。

【０１４９】

質量分析は、固体表面の組成分析、反応溶液の組成分析等物質の解析等に広範に使用されている。従来の質量分析は、構造が複雑であり、個々の部品の組み立ても正確さを要求されるため作製が容易でなく、大きさも少なくとも１m^3程度の体積があるので、コストが高く、持ち運びも困難であった。そこで、主基板（第１基板）とその上下に上部基板（第２基板）と下部基板（第３基板）を付着させて、マイクロチャネルを作る本発明を適用すれば、超小型・超安価の質量分析装置を実現できる。

【０１５０】

図１９は、本発明の質量分析の一実施形態を示す図である。主基板３０１の上面から下面に貫通する貫通溝（貫通室）３０５、３０６、３０７、３０８、３０９が形成され、主基板３０１の上面に上部基板３０２が、主基板３０１の下面に下部基板３０３が付着している。この付着は、接着剤を用いて接着しても良いし、主基板３０１がＳｉ、炭素系、ＳｉＣ系、化合物系等の半導体基板や金属板等の導電体基板であり、上部基板３０２や下部基板３０３がガラス基板等である場合は、静電陽極接合することもでき、この明細書で記載する他の接着法や他の文献等で記載される接着法でも良い。貫通溝３０５は試料室であり、主基板側壁３０１－１と、試料室３０５とその隣のイオン化室３０６を隔てる基板側壁（隔壁とも言う）３０１－２に挟まれた空間である。（側面は、主基板３０１の側壁である。）試料室３０５に試料３１１が配置される。試料３１１は、たとえば、上部基板３０

２の一部に開口された試料開口部３１２から挿入され、基板側壁３０１－１に付着させるようにすれば分析しやすい。試料３１１の表面の一部に加速されたイオンビームが当たり試料の一部がスパッタされるが、このイオンビームが当たる部分だけに分析すべき試料（分析試料）があれば良いので、試料３１１として試料ホルダーを用いても良い。試料３１１の裏面側に設けた真空ライン３１３から真空引きして、試料３１１を基板側壁３０１－１に付着させて固定することもできる。試料室２０５を低圧にする場合は、真空ライン３１３でさらに低圧にして試料３１１を引けば良い。同程度の低圧の場合は試料３１１を支持するのが難しければ、上下基板の一部に溝を切ってそこに試料３１１を入れて試料３１１を支えれば良い。

【０１５１】

試料室３０５の上部基板３０２にはイオンビーム導入口３１４が開口され、このイオンビーム導入口３１４を通して、質量分析装置３００の外側に配置されたイオン銃３１５から発射されるイオンビーム３１６を試料３１１に当てて、試料３１１の構成物質をスパッタする。尚、イオン銃３１５も主基板３０１内に配置することができるが、この場合は、試料室３０５の側面側（図１９の紙面に垂直方向）に形成されたイオン銃３１５から、主基板３０１の貫通溝を通してイオンビームを試料３１１に当てる。イオンビーム３１６は、たとえば窒素（Ｎ）イオン、アルゴン（Ａｒ）イオン、キセノン（Ｘｅ）イオン等である。スパッタされた試料物質は、中性粒子３１７、イオン（２次イオン）３１８であり、これらの粒子は隔壁３０１－２の中央孔３１０－２へ進みイオン化室３０６へ入る。試料室３０５内は大気圧近辺の圧力でも良いが、真空引きライン３１９を下部基板３０３等に開けて真空ポンプを接続して試料室３０５内を減圧にしても良い。

【０１５２】

試料室３０５内において、主基板３０１の内側面にシリコン酸化膜、シリコン窒化膜、シリコン酸窒化膜等の絶縁膜を積層しても良く、これらの絶縁膜はＣＶＤ法やＰＶＤ法、または酸化法や窒化法で形成できる。中央孔３１０－２は、これまでにも説明したように主基板３０１を上下に分離した状態で試料室等の貫通溝（の半分）および隔壁３０１－２等の隔壁を形成した後に、隔壁３０１－２等の中央部分を一部除去し（これらは逆でも良い。すなわち、中央孔をあけてから基板側壁を形成する。）その後分離された上下の主基板３０１を付着させて形成する。絶縁膜は主基板３０１を付着させる前に形成するか、主基板３０１を付着させた後に形成する。

【０１５３】

試料室３０５に隣接して形成されるイオン化室３０６は、試料室３０５から入射する中性粒子をイオン化し、そのイオン化されたイオンおよび試料室３０５から入射するイオンを中央付近に集束する空間である。イオン化室３０６の隣には、イオン化室３０６に存在するイオンを引き出してさらに加速する荷電粒子加速室３０７があり、イオン化室３０６と荷電粒子加速室３０７の間は、中央孔３１０－３を有する隔壁３０１－３で隔てられる。すなわち、イオン化室３０６は、隔壁３０１－２および隔壁３０１－３に挟まれた空間である。（側面は、主基板３０１の側壁である。）

【０１５４】

イオン化室３０６では、イオン化ビーム３２０を上部基板３０２または下部基板３０３を通してイオン化室３０６に存在する中性粒子３１７に照射しイオン化する。イオン化ビーム３２０は、これまでの文献等で紹介された種々のビームを用いることができ、たとえばレーザー光、電子ビーム、シンクロトロン放射光、Ｘ線等であり、また、レーザー光に加えてレーザー光を固体ターゲットに当ててその際発生するＸ線をさらに用いて中性粒子をイオン化しても良い。（特許3079585）イオン化ビーム３２０をイオン化室へ通しやすくするために、イオン化ビーム３２０の通り道となる上部基板３０２または下部基板３０３の部分を除去しても良い（開口部を設ける）。

【０１５５】

また、イオン化室３０６の内面は導電体膜３２１を積層し、上部基板３０２または下部基板３０３にコンタクト孔３２３を形成し、そのコンタクト孔３２３に導電体膜を積層し、

さらに上部基板３０２または下部基板３０３上に導電体膜電極・配線３２４を形成し、導電体膜３２１に電極・配線３２４から電圧を印加できるようにする。導電体膜３２１はイオン化ビーム３２０を通る部分を除いてイオン化室の内面を被うようにすると、イオン化室の内面が同じ電位状態にできる。イオンが正イオンの場合は導電体膜３２１に正電圧を印加し、正イオンを中央に集束させる。イオンが負イオンの場合は導電体膜３２１に負電圧を印加し、負イオンを中央に集束させる。上下左右の導電体膜を分割しそれぞれの導電体膜にコンタクト孔および電極・配線を形成すれば、それぞれの導電体膜領域の電圧を個別にコントロールできるので、イオン化室３０６における荷電粒子ビーム３２５の位置を調節できる。主基板３０１がＳｉ等の半導体基板やＣｕやＡｌ等の導電体基板である場合は、絶縁膜を形成した後に導電体膜３２１を積層する。また、導電体膜３２１の保護膜として導電体膜３２１の上に絶縁膜を積層しても良い。イオン化室３０６、隔壁３０１、中央孔３１０、絶縁膜、導電体膜３２１、保護膜等の形成、パターニングは、本明細書で述べるように、主基板３０１を分割してそれぞれ形成し、分割した主基板を付着させる方法で実現できる。尚、試料室３０５で発生したイオン３１８もイオン化室３０６へ入れば、当然イオン化室３０６の内面に印加された電圧によって収束し、イオン化ビーム３２５の一部となる。

【０１５６】

イオン化室３０６で収束した荷電粒子ビーム３２５は、中央孔３１０－３を通って荷電粒子加速室３０７へ入る。加速室３０７の入り口側に最も近い所に中央孔３２７－１を有する隔壁３０１－１１が配置され、隔壁３０１－１１の周囲には導電体膜３２６が積層されパターニングされる。この導電体膜３２６にはコンタクト孔３２３に積層された導電体膜および導電体膜電極・配線３２４へ接続し、荷電粒子ビーム３２５のイオンの電荷と逆電荷を持つ電圧が印加され、荷電粒子ビーム３２５はイオン化室３０６から引き出されかつ加速される。従って、この隔壁３０１－１１は引き出し電極と呼んでも良い。上下左右の導電体膜を分割しそれぞれの導電体膜にコンタクト孔および電極・配線を形成すれば、それぞれの導電体膜領域の電圧を個別にコントロールできるので、中央孔３２７－１における荷電粒子ビーム３２５の位置を調節できる。

【０１５７】

荷電粒子ビーム３２５の進行方向において隔壁３０１－１１に隣設して隔壁３０１－１２（中央孔３２７－２も有する）が配置され、隔壁３０１－１２の周囲には導電体膜３２６が積層されパターニングされる。この導電体膜３２６にはコンタクト孔３２３に積層された導電体膜および導電体膜電極・配線３２４へ接続し、荷電粒子ビーム３２５のイオンの電荷と同電荷かまたは逆電荷を持つ電圧が印加される。荷電粒子ビーム３２５のイオンの電荷と同電荷の電圧が印加される場合は、荷電粒子ビーム３２５は集束し、荷電粒子ビーム３２５のイオンの電荷と逆電荷の電圧が印加される場合は、荷電粒子ビーム３２５は加速される。荷電粒子ビーム３２５の進行方向において、隔壁３０１－１２以降にも隔壁３０１－１２と同様の導電体膜が積層された隔壁（中央孔も有する）を必要数形成し、これらの導電体膜に荷電粒子ビーム３２５のイオンの電荷と同電荷かまたは逆電荷を持つ電圧を印加し、必要な数だけ荷電粒子ビーム３２５を加速し、また必要な数だけ荷電粒子ビーム３２５を集束させて、中央孔３１０－４を有する隔壁３０１－４で隔てた隣接の質量分析室３０８へ荷電粒子ビーム３２５を導く。隔壁３０１－１２以降の個々の隔壁の導電体膜を上下左右に分割しそれぞれに個別にコンタクト孔およびその中に導電体膜および電極・配線を形成することによって、分割された導電体膜に別個に異なる電圧を印加できるので、荷電粒子ビーム３２５の進行方向や集束位置を制御できる。この結果、質量分析室に入射する荷電粒子ビームのビーム半径や位置や進行方向を自由に制御することが可能となる。

【０１５８】

中央孔３１０－２、３、４、５や加速室３０７内の隔壁３２７－１、２、・・・等が有する中央孔３０１－１１、１２、・・・等の孔の大きさは自由に変化させることができる。たとえば、３１０－２はスパッタされた中性粒子３１７やイオン３１８を殆どイオン化室

に導くために大きめにする。また、加速室３０７内の中央孔３２７－１１は、イオンを引き出し易くするためにイオン化室３０６との境界にある中央孔３１０－３より小さくする。また、加速室３０７内の中央孔３２７－２、・・・等は加速するために中央孔３１０－３や３２７－１１より小さくする。このように中央孔の大きさを変化させる方法は、主基板を上下２つに分割して、隔壁を形成した後各隔壁に形成する中央孔の大きさに合わせたパターニングを行ない（たとえば、フォトレジストパターン）、各中央孔の大きさに合わせて隔壁をエッチング除去すれば良い。あるいは、主基板を上下２つに分割して、各隔壁を形成すべき位置でそこに形成される中央孔の大きさに合わせたパターニングを行ない（たとえば、フォトレジストパターン）、各中央孔の大きさに合わせて主基板をエッチング除去した後に、各隔壁を形成する。その後、絶縁膜や導電体膜や保護膜、それらのパターニングを行なう。加速室３０７は、図１～図１７等を用いて説明した加速器に用いる加速室を使用することもできる。

【０１５９】

質量分析室３０８は、たとえば四重極型である。質量分析室３０８は加速室３０７に隣接し、中央孔３１０－４を有する隔壁３０１－４で隔てられている。加速室３０７で加速され集束された荷電粒子ビーム３２５は質量分析室３０８に入ると、質量分析室３０８の電場や磁場により、その荷電粒子の持つ電荷ｑと質量ｍとの比ｍ／ｑ（質量電荷比）によって軌道が振り分けられ、特定の荷電粒子だけがイオン検出室３０９へ進入する。イオン検出室３０９は、加速室３０７と中央孔３１０－５を有する隔壁３０１－５で隔てられる。

【０１６０】

質量分析室３０８は、たとえば四重極型である。図１９は、四重極質量分析型として示している。ここで、質量分析室３０８にはその分離壁である隔壁３０１－４および３０１－５以外の隔壁はなく、主基板３０１は上部基板３０２から下部基板３０３へ貫通する貫通溝（または貫通室）となっている。（側面は主基板３０１である。）質量分析室には荷電粒子ビーム３２５の進行方向へ長い４本の四重極電極３２９（図１９では３２９－１、２が示されている）が配置される。それぞれの四重極電極３２９には１つまたは複数の導電体膜・電極・配線３２４がコンタクト孔３２３内の導電体膜を通じて接続していて、電圧を印加できる。また、上下部基板３０２や３０３には真空引き用開口部３３０が開口され、質量分析室３０８の内部を真空引きでき、所定の圧力（たとえば、10^{-9}～10^{-2} torr）にできる。また、同様に別の開口部を形成し、そこからパージやクリーニング用の気体を流せるようにすることもできる。さらに、質量分析室３０８内の導電体膜の接続のために、選択CVD用のガス（たとえば、ＷＦ６）やメッキ用の溶液（たとえば、Ｃｕメッキでは硫酸銅溶液）を導入または出口用の開口部を設けることもできる。

【０１６１】

図２０は、四重極型質量分析室の作製方法の一例を示す図である。第３基板３５３上に四重極型電極となる導電体膜３５５を積層し、パターニングして四重極型電極３５５を形成する。導電体膜３５５は、たとえば、モリブデン（Ｍｏ）、タングステン（Ｗ）、クロム（Ｃｒ）、チタン（Ｔｉ）、銅（Ｃｕ）、鉄（Ｆｅ）、ニッケル（Ｎｉ）、アルミニウム（Ａｌ）等の金属、またはこれらの合金、またはこれらとＳｉとの化合物であるシリサイド等であり、ＰＶＤ法やＣＶＤ法で積層し、その後フォトリソ＋エッチング法によりパターニングする。あるいは、このサイズの四重極型電極棒を付着法で付着する。第３基板３５３がガラスや石英、セラミック、プラスチック等の絶縁体であるときには、直接積層又は付着できるが、第３基板３５３が導電体や半導体である場合は、絶縁膜を積層してから導電体膜３５５を積層する。あるいは、導電体膜３５５は塗布法で形成することもできる。メタルマスクを用いて第３基板３５３上に導電体ペーストを塗布し、その後熱処理すれば所望の四重極型電極３５５が形成できる。導電体ペーストは上記金属等を含むものである。あるいは、導電体膜３５５は第３基板３５３上に上記金属等の箔を貼りつけて、それをパターニングして形成することもできる。また、主基板３５１は、四重極型電極３５５が配置される部分３５４を繰り抜いた凹部３５４を形成しておく。主基板３５１がＳｉ基板等の半導体基板やガラス基板・石英基板等の絶縁基板、金属基板等の場合は、簡単なプ

ロセスで形成できる。（図２０（ａ））
【０１６２】
次に、図２０（ｂ）に示すように、主基板３５１と第３基板３５３を付着させる。これらの付着は本明細書で記載している方法で行なうことができる。このとき、凹部３５４の深さは四重極型電極３５５の高さより大きくしておき、主基板３５１と四重極型電極３５５は接触しないようにする。次に、主基板３５１の上面をフォトレジスト等でパターニングし、質量分析室３５６となる貫通溝を形成する。このときはパターン同士の合わせであるから、精密な位置合わせを行なう。主基板３５１をエッチングして貫通溝３５６を形成する場合、導電体膜３５５および第３基板３５３とエッチング選択比の高いドライエッチングガスやウエットエッチング液でエッチングし、できるだけ導電体膜３５５や第３基板３５３をエッチングしないようにする。（図２０（ｃ））図２０（ａ）の段階で、導電体膜３５５上に絶縁膜（たとえば、ＳｉＯ２膜、ＳｉＮ膜等）である保護膜を形成しておくこともできる。この場合のエッチング選択比は主基板３５１と保護膜とである。
【０１６３】
第２基板側３５２にも同様なプロセスを行ない、第２基板側３５２に主基板３５１（３５１－１）を付着させ、貫通溝３５６、その内部に四重極型電極３５５である導電体膜３５５を形成する。このようにして形成した、第２基板側３５２に付着した主基板３５１（３５１－１）および第３基板側３５３に付着した主基板３５１（３５１－２）を貫通溝３５６同士が合わさるようにアライメントして重ね合わせて付着させる。付着法として、接着剤、拡散接合、常温接合、高温接合等がある。また、主基板３５１がＳｉ等の半導体基板、金属等の導電体基板であるときは、ガラス基板や石英基板３５７を用いれば、静電結合（陽極接合）で強固に付着できる。この場合、間に挟む基板３５７も質量分析室３５６となる部分を除去しておき、アライメントして第２基板側３５２および／または第３基板側３５３を基板３５７と付着させる。（どちらか、一方だけでも良い。）この結果、密閉された質量分析室３５８（３５６が結合して３５８となる）が形成できる。（図２０（ｄ）、（ｅ））尚、図２０（ａ）に示すプロセスにおいて、凹部ではなく貫通溝を形成した主基板３５１を付着させることもできる。このときは、貫通溝と導電体膜パターンとの正確な位置合わせを行なう。貫通溝の深さが、一枚の溝だけで良い場合には、図２０（ｄ）において、主基板の一方がない方（たとえば、３５１（３５１－１）がない、導電体膜３５５が形成された第２基板３５２）を主基板３５１（３５１－２）へ付着させることもできる。
【０１６４】
次に、第２基板３５２および第３基板３５３にコンタクト孔３７１を形成し、コンタクト孔３７１内に導電体膜を積層して次に電極・配線３７２を形成する。コンタクト孔３７１内への導電体膜の積層はＣＶＤ法、ＰＶＤ法、メッキ法、塗布法等を使用できる。電極・配線３７２もＣＶＤ法、ＰＶＤ法、メッキ法、塗布法等を使用できる。コンタクト孔３７１内の導電体膜と電極・配線３７２は兼用も可能である。第２基板３５２および第３基板３５３上を電極・配線３７２の引きまわしも可能であり、適切な場所にパッド電極（外部との電極接続部）を設けることができる。必要なら、保護膜を形成することもできる。尚、図２０は、図１９におけるイオンビーム３２５の進行方向から見た図、すなわち、図１９において紙面と垂直方向の断面図である。
【０１６５】
この結果、４つの四重極電極３５５（３５５－１、２、３、４）には、外部電極３７２から交流（高周波電圧）および直流電圧を印加できる。上記のように半導体プロセスを使用して、質量分析室を形成できるので、極めて正確なサイズの質量分析室を作製でき、精度の高い質量分析が可能となる。尚、本プロセスから明らかなように、主基板を重ねて付着させる（間にガラス基板等を介在しても良い）ことによって、質量分析室の深さを大きくできる。たとえば、通常のＳｉ基板の厚みは厚くても１ｍｍ程度であるが、１０枚重ねることによって１０ｍｍとなる。もちろん、もっと厚いＳｉ基板も作製できるので、少数の基板の貼り合わせで所定の厚みを実現できる。また、真空引きライン開口部３５９を形成

し、真空ポンプを接続すれば質量分析室３５８を真空引きでき圧力を下げることができる。本発明は、所望のサイズの質量分析室であり（たとえ、質量分析室の高さが1mm以下、または１００μm以下と極めて小さくとも）、しかも接合箇所が少なく、またその接合も強固なので、極めて低い圧力や、所望の圧力を簡単に実現できる。プロセスも簡単で、真空ポンプも小型で済むので、低コストの質量分析装置を実現できる。

【０１６６】

四重極型質量分析の場合、所定のｍ／ｑを有するイオンのみが四重極電極３５５（図１９の３２９）を通過して、検出室（図１９の３０９）へ到達するが、それ以外のｍ／ｑを有するイオンは四重極電極３５５やその外側の主基板３５１、第２基板３５２、第３基板３５３に衝突し、ダメージを与える可能性がある。そこで、質量分析室３５８を大きくすれば、イオンの運動エネルギーも小さくなり、ダメージを小さくできる。図２０（ｆ）は質量分析室を大きくする構造および方法を示している。すなわち、第２基板３５２および第３基板３５３の上下に第２主基板３６１（３６１－１、２）、第４基板３６２、第５基板３６３を付着させて、質量分析室３５８の上部および下部に質量分析上部室３６５および下部室３６８を設け、さらに質量分析室３５８の左右幅（ｗ２１）を大きくし、四重極電極３５５から主基板３５１の左右壁を離す（ｄ２１を大きくする）。また、質量分析上部室３６５および下部室３６８の平面的面積は質量分析室３５８の面積より大きくするとともに（すなわち、質量分析上部室３６５の左右幅ｗ２２、質量分析下部室３６８の左右幅ｗ２３としたとき、ｗ２２、ｗ２３＞ｗ２１）、第２基板３５２および第３基板３５３の領域は四重極電極３５５が強度的に支えられる程度にして、質量分析室３６７と質量分析上部室３６５および下部室３６８との間の仕切り（第２基板３５２および第３基板３５３）を除去して、開口部３６４および３６７をできるだけ広くする（複数の開口部に分けても良い）。また、真空引きライン開口部３６６および３６９を第４基板３６２、第５基板３６３の両方に設ける。さらに、問題ない程度に真空引きライン開口部３６６および３６９を大きくする（複数の開口部に分けても良い）。質量分析上部室３６５および下部室３６８の高さ（ｈ２２、ｈ２３）も大きくする。

【０１６７】

たとえば、質量分析室３５８の大きさは、ｗ２１＝６mm、ｈ２１＝２mm、ｄ２１＝１．８mm、主基板３５１（３５１－１、２）の厚さ各０．８mm、ガラス基板３５７厚さ０．４mm、第２基板３５２の厚さ０．３mm、第３基板３５３の厚み０．３mm、第４基板３６２の厚さ０．５mm、第５基板３６３の厚み０．５mm、四重極電極３５５の幅０．２mm、高さ５０μm、四重極電極の長さ（図１９における横方向長さ、または図２０の紙面に垂直方向長さ）１mm～１００mm、ｗ２２＝８mm、ｈ２２＝２mm、ｗ２３＝８mm、ｈ２３＝２mmとする。あるいは、質量分析室を大きくした場合の例は、質量分析室３５８の大きさが、ｗ２１＝３０mm、ｈ２１＝１０mm、ｄ２１＝９mm、主基板３５１（３５１－１、２）の厚さ各５mm、ガラス基板厚さ０．５mm、第２基板３５２の厚さ１mm、第３基板３５３の厚み１mm、第４基板３６２の厚さ１mm、第５基板３６３の厚み１mm、四重極電極３５５の幅１mm、高さ0.4mm、四重極電極の長さ２０mm～２００mm、ｗ２２＝４０mm、ｈ２２＝１０mm、ｗ２３＝４０mm、ｈ２３＝１０mmとする。

【０１６８】

以上の結果、イオン検出室３０９に到達しないで四重極電極３５５間の隙間を通りぬけたイオンは、主基板３５１の壁（側面）の方に向かっても、イオンの移動速度が小さくなり、主基板３５１の壁（側面）へのダメージは小さい。特に主基板３５１の壁（側面）の周囲にも真空引き開口部３６４や３６７を多数または広い領域に設けることによって四重極電極の内側から外れたイオンはそれらの開口部３６４や３６７から質量分析上部室３６５や質量分析下部室３６８へ出ていく。さらに、質量分析室３５８の内面をイオンに侵されにくい膜で覆うことによってもダメージは小さくなる。たとえば、シリコン酸化膜やシリコン窒化膜やアルミナなどはイオン耐性が大きい。これらの膜はＣＶＤ法やＰＶＤ法で積層できる。また、上方の質量分析上部室３６５や下方の質量分析下部室３６８へ向かうイ

オンもイオンの移動速度が小さくなり、第４基板３６２や第５基板３６３、第２主基板３６１の壁（側面）へのダメージは小さい。また、真空引き開口部３６６や３６９から真空ポンプ側へ排出されるので、質量分析装置への影響は小さい。さらに、パージ用またはクリーニング用の開口部を第４基板３６２や第５基板３６３に設けて、たとえば、窒素、Ａｒ、Ｈｅ、等で時々パージまたはクリーニングすることも質量分析室を清浄な状態の保持や寿命の長持ちに有効である。

【０１６９】

あるいは、イオン検出室３０９の内側面に導電体膜を形成しておき、外側から電圧印加できるようにしておき、イオンと同電荷の弱い電圧をかけておけば、イオンの衝突を軽減できる。四重極電極３５５は第２基板３５２および第３基板３５３に形成されたコンタクト孔３７１内に積層した導電体膜を通して第２基板３５２および第３基板３５３上に形成された導電体膜３７２に接続し、次に第２主基板３５２または第３基板３５３の内側面に形成された導電体膜３７３に繋がり、さらに第４基板３６２または第５基板３６３の上下面に形成された導電体膜３７４に接続する。導電体膜３７４は第４基板３６２または第５基板３６３に形成されたコンタクト孔３７５内に積層した導電体膜を通して第４基板３６２または第５基板３６３の上面に形成された導電体膜電極・配線３７６に接続する。この結果、４個の四重極電極３５５は外部電極・配線３７６から直流電圧および交流（高周波）電圧を印加できる。また、１つの四重極電極に、図１９に示すように複数の外側電極・配線を設けておけば、これら複数の電極からも直流電圧および交流（高周波）を印加でき、イオン３２５の軌道を精密にコントロールできる。

【０１７０】

図２０（ｅ）の状態から図２０（ｆ）を作製する方法の一例を説明する。第５基板３６３に付着した第２主基板３６１（３６１－２）に第５基板３６３に貫通する貫通孔３６８を形成する。また、第２主基板３６１（３６１－２）側に形成する導電体膜３７３と第３基板（下部基板）３５３の下面に形成される導電体膜３７２との重なり領域を広くするために、凹部３７７も形成する。この凹部３７７の深さは、導電体膜３７２の厚みと導電体膜３７３の厚みを合わせた程度（下地に絶縁膜を形成する場合はその厚みを考慮する。また、低融点半田合金を含む導電性接着剤を使用する場合もその厚みを考慮する。）とし、導電体膜３７２と導電体膜３７３の接続が十分行なわれるようにする。貫通孔３６８および凹部３７７を形成した後、導電体膜３７３および３７４を積層し、凹部３７７および貫通孔３６８の側面の必要な部分、第５基板３６３の上面の必要な部分に導電体膜３７３および３７４を形成する。導電体膜３７３、３７４は、Ｃｕ、Ａｌ、導電性Ｓｉ、Ｃｒ、Ｎｉ、Ｗ、Ｍｏ、Ｔｉ、Ａｕ、Ａｇ、これらの合金、導電性多結晶シリコン、各種シリサイド、導電性グラフェン、導電性ナノチューブであり、導電体膜３７３と３７２の電気的接続が不十分な場合は、導電体膜３７２、３７３、３７４上に導電性接着剤や半田合金（たとえば、Ｐｂ－Ｓｎ系、Ａｇ－Ｃｕ－Ｓｎ系、Ｓｎ－Ｚｎ－Ｂｉ系、Ｃｕ－Ｓｎ系、Ｓｎ－Ａｇ－Ｉｎ－Ｂｉ系、Ｓｎ－Ｚｎ－Ａｌ系等）を付着させる。

【０１７１】

第３基板３５３の下面に形成する導電体膜３７２は図２０（ｆ）に示すように配線として引き回し、凹部３７７と接続する側にも形成し、導電体膜３７３と接続できるようにする。また、第２基板（上部基板）や第３基板（下部基板）に真空引き開口部３６４や３６７も形成する。これらの開口部３６４や３６７は導電体膜３７２を形成する前に形成しても良いし、導電体膜３７２をパターニング後に第２基板（上部基板）や第３基板（下部基板）をエッチング除去して形成することができる。あるいは、主基板３５１と第２基板（上部基板）や第３基板を付着する前にも四重極電極３５５と同様に形成できる。次に、質量分析室３５８に質量分析下部室３６８が合うようにアライメントしながら、第５基板３６３が付着した第２主基板３６１を第３基板３５３に付着させる。その後、第５基板３６３にコンタクト孔３７５および真空引き開口部３６９を形成し、コンタクト孔３７５に導電体膜を積層し、さらにそのコンタクト孔３７５に接続する導電体膜電極・配線３７６を形成する。真空引き開口部３６９から質量分析下部室３６８へ導電体膜が入り込む場合は、

真空引き開口部３６９は導電体膜電極・配線３７６を形成後に形成しても良い。

【０１７２】

第４基板３６２、第２主基板３６１（３６１－１）や第２基板（上部基板）側についても同様である。また、明細書の他の部分にも記載しているように、下地が絶縁体でない場合には、導電体膜を積層する前にシリコン酸化膜等の絶縁膜を積層し、導電体膜の保護のために導電体膜の上にシリコン酸化膜等の絶縁膜を積層する。また、主基板３６１を上部基板３６２や下部基板３６３に付着し、開口部３６９や３６６を形成した後、導電体膜３７２と３７３の接続を確実に行なわせるために、開口部３６９や３６６を通して、選択ＣＶＤ用ガスを流したり、またはメッキ溶液を導入して、接続部へ選択的に導電体膜を積層することもできる。

【０１７３】

図２１は、四重極電極を基板に付着させる構造と方法の一例について説明する図である。図２１（ａ）は断面図であり、（ｂ）は平面図である。第２基板３８２および第３基板３８３上に四重極電極３８６を付着させる。四重極電極３８６は断面を円形状に示しているが、通常使用される直角双曲線形状でも良いし、その他の任意の形状でも良く、また四重極電極として最適の形状を選択できる。また、図２１（ｂ）に示すように、長手方向は直線状であり、全体が棒状となっている。また、長手方向に波形にすることも可能であり、四重極電極内の電場が質量分析に最適な形状を選択することもできる。四重極電極３８６の材料は、Ｍｏ系合金、ＳＵＳ、銅系合金等種々の材料を使用できる。四重極電極３８６は金型を用いて作製でき、または線材として作製することもでき、またはパターンを作りメッキ法や電鋳法で作製することもできる。

【０１７４】

第２基板３８２および第３基板３８３上に接着剤パターンを作成し、そのパターンに四重極電極棒３８６を付着させることによって精度良く第２基板３８２および第３基板上に配置できる。第２基板３８２および第３基板３８３上にフォトリソ＋エッチング法によって、溝パターン３８５を形成し、必要な場合は接着剤を溝パターン３８５に形成して、溝パターン３８５に四重極電極棒３８６を入れて付着させることによって、さらに精度良く第２基板３８２および第３基板上に配置できる。四重極電極棒３８６の長さが長い場合はフォトリソ＋エッチング法によって、四重極電極棒３８６の長さを正確にそろえることもできる。接着剤は、通常の接着剤でも良いし、導電性接着剤、半田等の金属でも良い。四重極電極の表面形状が四重極電極内の電場が最適化するように合わせて配置することが望ましい。その後、熱処理や紫外線照射を行ない、四重極電極棒３８６を第２基板３８２および第３基板３８３上に固定する。

【０１７５】

次に質量分析室３８４をくり抜いた主基板３８１を第２基板３８２および第３基板３８３に付着させる。この付着は、別々に行なっても良いし、同時にお行なっても良い。質量分析室３８４の所定位置に四重極電極棒３８６が配置されるように第２基板３８２および第３基板３８３をアライメントしながら主基板３８１に付着させる。主基板３８１が分割している場合には、質量分析室３８４を有する主基板３８１を第２基板３８２に付着したものと質量分析室３８４を有する主基板３８１を第３基板３８３に付着したものとを付着させる。このとき主基板３８１同士の間にガラス基板や石英基板を介在して、静電接合法を用いて付着することもできる。さらに、主基板３８１を多数分割してそれらを重ねながら付着すれば、質量分析室の高さを自由に調節できる。図２１に示す実施形態では、種々の太さ（たとえば、５０μｍ～５ｍｍφ）の四重極電極３８６を使用できる。四重極電極３８６の長さも基板のサイズに合わせて選定できるが、基板サイズが３００ｍｍ直径のウエハであれば、１ｍｍ～２００ｍｍで作成できる。コンタクト孔や引き出し電極は図２０に示した方法で簡単に作製できる。さらに質量分析室を広げたり、第２基板および第３基板の隔壁の一部を除去したり、質量分析上部室および質量分析下部室を設けることも図２０に示した方法で簡単に作製できる。

【０１７６】

図２２は、四重極電極を基板に付着させる構造と方法に関する別の例について説明する図である。図２２に示す実施形態は、四重極電極３９４（３９４－１、２、３、４）を質量分析室３９６（３９６－１）と境界壁（基板側壁または基板隔壁）で隔てた所に配置し、質量分析室３９６（３９６－１）内には電極等を配置しない実施形態である。主基板３９１は質量分析室３９６（３９６－１）を有し、その左右に基板隔壁３９１（３９１－１、２）で仕切られて、貫通室３９６（３９６－２）および貫通室３９６（３９６－３）が配置される。この貫通室３９６（３９６－１、２）にはそれぞれ四重極電極３９４（３９４－２、４）が配置される。高さを調節するために主基板３９１の一部（台座と呼ぶ）３９７を残すか、第３基板３９３に台座３９７を付着させる。あるいは、台座３９７と同じ高さを持つ主基板３９１を第３基板に付着させて、質量分析室３９６（３９６－１）となる部分を除去する。尚、高さ調節が不要な大きさの四重極電極を使用すれば台座は不要である。

【０１７７】

この後、台座３９７に四重極電極３９６（３９６－２、４）を付着させる。台座に溝パターン３９８を形成しておけば四重極電極の固定や配置精度も良くなる。一方、第２基板３９２側にも主基板３９１を付着させ、主基板３９１において質量分析室３９６（３９６－１）となる部分、四重極電極３９６（３９６－２、４）が配置される部分３９６（３９６－２、３）をくり抜いて第２基板３９２に達する貫通孔を形成する。このとき、四重極電極３９６（３９６－２、４）の外側の主基板、および貫通孔３９６－２と質量分析室３９６－１との間の隔壁３９１（３９１－１）、貫通孔３９６－３と質量分析室３９６－１との間の隔壁３９１（３９１－２）は残しておく。

【０１７８】

次に、第３基板３９３に付着した主基板３９１と第２基板に付着した主基板３９１を互いの質量分析室３９６－１が合うようにアライメントして付着させる。台座３９７に配置された四重極電極３９４（３９４－２、４）は、第２基板側の主基板に形成された貫通孔３９６（３９６－２、３）に入り込む。主基板３９１同士の接合は、接着剤、常温接合、拡散接合、高温接合を使って付着できる。また、間にガラス基板等を介在させれば、主基板３９１がＳｉ基板等の半導体基板や導電体基板の場合は、陽極静電接合によって強固に付着できる。

【０１７９】

この後、第２基板３９２および第３基板３９３の所定位置に四重極電極３９４（３９４－１、３）を付着させるか、前もって第２基板３９２および第３基板３９３の所定位置に四重極電極３９４（３９４－１、３）を付着させておくことによって、質量分析室３９６（３９６－１）を囲む状態で、しかも質量分析室３９６（３９６－１）には隔壁および第２基板、第３基板と隔てられた位置に四重極電極３９４（３９４－１、２、３、４）を配置できる。

【０１８０】

図２２（ｂ）は、図２２（ａ）で示す四重極電極を有する質量分析室の斜視透視図である。質量分析室３９６－１の長手方向に四重極電極３９４（３９４－１、２、３、４）が棒状に配置されている。図２２（ｂ）では四重極電極３９４は断面形状が円形の円柱状棒として示しているが、断面形状は直角双曲線形状や楕円状、双曲線形状など他の形状でも良い。一般的には、直角双曲線形状が良いとされている。互いに向かいあった電極同士に電圧±（Ｕ＋Ｖcosωｔ）の直流電圧と高周波電圧を印加する。すなわち、四重極電極３９４－１と３に＋（Ｕ＋Ｖcosωｔ）を、四重極電極３９４－２と４に－（Ｕ＋Ｖcosωｔ）を同時に印加する。この結果、質量分析室３９６－１を通過する荷電粒子（イオン）ビームのうち、特定のｍ／ｅを有するイオンのみが質量分析室３９６－１を通過することができる。図２２（ａ）、（ｂ）に示す四重極電極を有する質量分析室は、四重極電極３９４は隔壁３９１（３９１－１、２）、第２基板３９２、第３基板３９３によって質量分析室３９６－１を通る荷電粒子（イオン）ビームと隔てられているので、四重極電極３９４の損傷は非常に少ない、代わりに隔壁３９１（３９１－１、２）、第２基板３９２、第３基

板３９３に荷電粒子（イオン）が衝突する恐れがあるが、質量分析室３９６－１の真空引き開口部３９９を広く取ることによって、壁に衝突する荷電粒子（イオン）ビームを外へ排出できる。また、質量分析室３９６－１の内面を荷電粒子（イオン）耐性の大きい膜（たとえば、シリコン窒化膜、アルミナ）を積層して保護すると良い。

【０１８１】

図２２（ｃ）は、図２２（ａ）と同じ構造であるが、四重極電極が導電体膜で形成される場合を示す。中央の質量分析室４２５（４２５－１）は、左右側面側が主基板４２１の隔壁（基板側壁）４２１－１および４２１－２により、上下面側が第２基板（上部基板）４２２および第３基板（下部基板）によって囲まれている。質量分析室４２５（４２５－１）の左側には隔壁４２１－１で隔てられて貫通孔４２５－２が配置され、その貫通孔４２５－２内側面および下面（第３基板４２３側）は絶縁膜４２７で囲まれ、その内側に導電体膜４２６（４２６－１）が形成される。導電体膜４２６（４２６－１）の上部は絶縁膜４２８が形成されるが、なくても良い。この導電体膜４２６（４２６－１）が四重極電極の１つとなる。質量分析室４２５（４２５－１）の右側の４２５（４２５－３）も同様の構造であり、導電体膜４２６（４２６－２）も四重極電極の１つとなる。導電体膜４２６は、貫通室４２５（４２５－２、３）を形成した後、貫通室４２５（４２５－２、３）の内面に絶縁膜４２７を形成し、その上に導電体膜をCVD法やPVD法で形成する。この状態では貫通室４２５（４２５－２、３）は導電体膜で充填されておらず空間が存在する。この導電体膜だけで四重極電極とすることも可能であるが、さらに強固な四重極電極にするために、メッキ法で貫通室４２５（４２５－２、３）内の空間を導電体膜で充填する。あるいは、選択CVD法で貫通室４２５（４２５－２、３）内の空間を導電体膜で充填する。あるいは、CVD法やPVD法で貫通室４２５（４２５－２、３）内の空間を導電体膜で充填した後、エッチバック法で貫通室４２５（４２５－２、３）内の空間以外の部分の導電体膜を除去する。貫通室４２５（４２５－２、３）内の空間の上部を少しあけておき、残りは絶縁膜４２８でカバーすることもできる。この絶縁膜４２８もCVD法、PVD法、あるいは塗布法、あるいはスクリーン印刷法、これらの組合せで形成した後、エッチバック法で貫通室４２５（４２５－２、３）の上部表面を平坦化する。その後で、上部基板４２２を付着させる。

【０１８２】

第２基板（上部基板）４２２の上面および第３基板（下部基板）の下面において質量分析室の上部および下部の領域に導電体膜パターン４２９（４２９－１、２）が形成される。この導電体膜パターン４２９（４２９－１、２）もCVD法、PVD法、メッキ法、スクリーン印刷法、またはこれらの組合せ等で形成できる。この導電体膜パターン４２９（４２９－１、２）が残りの四重極電極となる。左右の四重極電極４２５（４２５－１，２）にコンタクト孔４３０が形成され導電体膜が形成される、このコンタクト孔内導電体膜に接続して電極４３１が形成され、この電極４３１から四重極電極４２５（４２５－１，２）に電圧が印加される。また上下の四重極電極４２９（４２９－１，２）にも電圧が印加される。これらの電圧印加によって、質量分析室内に電場が形成され、質量分析室４２５－１内を進む荷電粒子（イオン）ビームがｍ／ｑの値によって荷電粒子（イオン）ビームの軌道が変化する。本実施形態は、四重極電極を導電体膜で形成し、通常の半導体プロセスで作製するので、非常に精度良く質量分析室を作製できる。

【０１８３】

図２２（ｄ）は、四重極電極をすべて質量分析室へ納めてしかも質量分析室を広くした場合の実施形態である。第３基板４０３に付着した主基板４０１は質量分析室となる貫通室４１３が形成され、貫通室４１３内の左右に２個の四重極電極４０７（４０７－２、４）が離間して配置される。前記２個の四重極電極４０７（４０７－２、４）を結ぶ直線の（略）中間（Ｍ１）において前記直線と（略）直角に交わる直線上で、上方側に１個の四重極電極４０７－１が配置され、下方側に１個の四重極電極４０７－３が配置され、四重極電極４０７－１と４０７－３の略中間（Ｍ２）はＭ１とほぼ一致する。また、２個の四重極電極４０７（４０７－２、４）の距離と２個の四重極電極４０７（４０７－１、３）の

距離はほぼ等しい。ただし、多少のずれがあっても四重極電極に印加する電圧や周波数を変化させれば特定のｍ／ｅ値によるイオンを選りわけることは可能である。２個の四重極電極４０７（４０７－２、４）は第３基板４０３上または第３基板４０３上に付着した主基板４０１の一部（台座部４０１（４０１－１、２））に付着している。２個の四重極電極４０７（４０７－２、４）が配置される第３基板４０３または台座部４０１（４０１－１、２）所定位置には接着剤、半田等を付着させ固定させても良い。またはその所定位置に溝４０８等を設けてそこに四重極電極４０７（４０７－２、４）を配置し固定させる。台座部４０１（４０１－１、２）が存在する場合は、コンタクト孔４１０を開けてコンタクト孔４１０内に導電体膜を積層する。導電体膜はたとえば、Ｃｕ、Ａｌ、Ｍｏ、Ｗ、Ｔｉ、Ｎｉ、Ｃｒ、Ａｕ、Ａｇ等の金属、導電性炭素（たとえば、ナノチューブ、グラフェン）、これらの積層体、これらの合金、あるいはこれらのシリサイド、または低抵抗（ポリ）シリコンである。第３基板４０３の上面において、コンタクト孔４１０が形成される部分には予め導電膜４１１をパターニングしておき、その上に台座４０１（４０１－１、２）を配置するようにする。

【０１８４】

第３基板４０３の下部には第２主基板４０４（４０４－２）が付着しており、質量分析下部室となる貫通孔空間４１４が形成されている。質量分析下部室４１４は質量分析室４１３と同程度の大きさ（平面サイズで）か、または大きめに形成すると良い。上下の四重極電極４０７－１と３を結ぶ領域に入る第３基板４０３の部分はできるだけ広く除去して、開口部４１２を広く取る。このメリットの一つは、四重極電極による電場の乱れをできるだけ小さくするためである。開口部４１２を広くした結果、四重極電極４０７（４０７－２、４）が配置される部分における第３基板４０３に荷重がかかり変形する可能性があるので、四重極電極４０７（４０７－２、４）が配置される第３基板４０３の部分に支柱として第２主基板４０４（４０４－３、４）を配置することもできる。この支柱４０４（４０４－３、４）は、荷電粒子の進行方向（紙面に垂直な方向で、質量分析室の長手方向）には、必ずしも連続している必要はなく、四重極電極４０７（４０７－２、４）を支えられれば、不連続に配置しても良い。そうすれば、支柱４０４（４０４－３、４）の外側にある貫通孔空間４１４－２、３と中央の質量分析下部室空間４１４－１と圧力が同じとなる。第２主基板４０４の下面に第５基板４０６が付着している。第５基板４０６の所定位置に四重極電極４０７－３が付着している。第５基板上４０６の所定位置に接着剤パターン、半田合金パターン等を形成し、そのパターンに四重極電極４０７－３を合わせて配置し、熱処理等を行ない第５基板上４０６上に固定する。第５基板上４０６の所定位置に溝パターン４０９を形成して、その溝パターン４０９に四重極電極４０７－３の一部を入れて固定させればさらに精度良く固定できる。四重極電極４０７（４０７－１、２、３、４）は、たとえば、断面が円柱形状、楕円形状、双曲線形状等の曲線形状であるもの、または、三角形、四角形、多角形形状であるもの、あるいはこれらの組合せ形状である、棒状の電極である。この棒状電極をたとえば実装機（たとえば、フリップチップボンダー）で所定部分に付着させる。接着剤等が液状であるときは、セルフアライン的に所定部分に配置される。軽い超音波等の振動を与えてやると容易にセルフアライン的に所定部分に配置される。あるいは、別基板に棒状電極を搭載して、別基板と搭載すべき基板を位置合わせして、搭載すべき基板の所定位置に棒状電極を付着させて、固定した後に別基板を分離する。

【０１８５】

四重極電極４０７－３の位置で第５基板４０６にコンタクト孔４１６を形成し、そこに導電体膜を積層し、さらに外部電極配線（導電体膜）４１７を形成する。（第５基板４０６側では図示しないが、第４基板４０５側で図示している。）四重極電極４０７－２に接続する第３基板４０３上に形成された導電体膜配線パターン４１１に外部電極４１８へ接続する導電体膜配線パターン４４３、４１９、４４０、４４１、４４２を形成する。まず第３基板４０３内にコンタクト孔４４３を形成し、コンタクト孔４４３内に導電体膜を積層し、導電体膜配線パターン４１１へ接続する。第３基板４０３に第２主基板４０４－２を

付着する前にコンタクト孔４４３およびその中に導電体膜を形成するのが良い。この後、第３基板４０３に第２主基板４０４－２を付着して、貫通孔（質量分析下部室）４１４を形成し、導電体膜４１９および４４０を積層し、導電体膜配線パターン４１９および４４０を形成する。第３基板４０３の開口部４１２はこの後で開口する。あるいは、第３基板４０３に第２主基板４０４－２を付着する前にコンタクト孔４４３およびその中に導電体膜を形成し、さらに導電体膜配線４１９を形成し、次に第２主基板４０４－２を第３基板４０３に付着させる。このとき、第３基板４０３に導電体膜配線４１９の凹凸が形成されているので、この凹凸が問題を生じる場合には、予め第２主基板４０４－２の当該部分をエッチングして凹部を形成しておくと良い。この後、貫通孔（質量分析下部室）４１４を形成し、導電体膜配線パターン４１９へつながる導電体膜配線パターン４４０を質量分析下部室４１４の内面に形成する。

【０１８６】

あるいは第３基板４０３に第２主基板４０４－２を付着する前にコンタクト孔４４３およびその中に導電体膜を形成した後に第３基板４０３に第２主基板４０４－２を付着し、次に第２主基板４０４－２内に貫通孔（質量分析下部室）４１４を形成し、コンタクト孔４４３内の導電体膜へ繋がる導電体膜配線パターン４１９を第３基板下面に形成する。さらに質量分析下部室４１４の内面にこの導電体膜配線パターン４１９へ繋がる導電体膜配線パターン４４０を形成する。

【０１８７】

四重極電極４０７を付着した第５基板４０６において、導電体膜配線パターン４４０へつながる導電体膜配線４４１を形成する。あるいは、導電体膜配線４４１を第５基板４０６に形成した後に四重極電極４０７を付着しても良い。この第５基板４０６を貫通孔（質量分析下部室）４１４および導電体膜配線４１９および４４０を形成した第２主基板４０４－２の下面に付着させる。四重極電極４０７－３の位置が所定場所に来るように、さらに導電体膜配線４４１が導電体膜配線４４０へ確実に接続するようにアライメントして付着させる。上記で述べた配線同士の接続は、図５１（ｆ）で示した凹部３７７を形成する方法を採用すると良い。この後、導電体膜配線４４１へ接続するコンタクト孔４４１、その内部へ導電体膜の積層を形成し、さらに外部電極配線４１８を形成する。（同時に四重極電極４０７－３へ接続するコンタクト孔４１６、その内部へ導電体膜の積層、さらに外部電極配線４１８も形成できる。）四重極電極４０７－４への接続配線は図示していないが、四重極電極４０７－２と同様に形成できる。

【０１８８】

四重極電極４０７－１は第４基板４０５に付着している。四重極電極４０７－１の第４基板４０５への付着法は四重極電極４０７－３の第５基板４０６への付着法と同様である。第５基板４０６の方は、四重極電極４０７－２や４０７－４へ接続する導電膜配線や外部電極配線を作製する必要はない。もちろん、第５基板４０６側へ作製することも可能であるが、接続距離は長くなる。四重極電極４０７－２や４０７－４が配置される質量分析室を形成する主基板４０１の上方に第２基板４０２、その上に第２主基板４０４－１が付着され、その上に四重極電極４０７－１を有する第４基板４０５が付着される。四重極電極４０７－２や４０７－４は第３基板４０３に付着し（台座を挟む場合もある）固定され、第３基板４０３は第２主基板の支柱４０４－３、４等によって支持されているので、四重極電極４０７－２や４０７－４の上方は空洞で良い。従って、質量分析室４１３の上方の第２基板４０２は全部開口することもできる。（開口部４４４）同様に第２主基板４０４－１が有する質量分析上部室４４５の空間も質量分析室４１３と同程度か大きくすることもできる。

【０１８９】

主基板４０１上に第２基板４０２を付着させるが、第２基板４０２を付着させる前に第２基板４０２の開口部４４４を形成しても良いし、第２基板４０２を付着させた後に第２基板４０２の開口部４４４を形成しても良い。あるいは、第２主基板４０４－１を第２基板４０２上に付着させた後に質量分析上部室４４５を作製し、その後で第２基板４０２の開

口部４４４を形成することもできる。第２主基板４０４－１に質量分析上部室４４５を形成した後に第２基板４０２に付着させても良い。さらに、四重極電極４０７を有する第４基板４０５に質量分析上部室４４５を有する第２主基板４０４－１を付着させて、さらにそれを第２基板４０２へ付着させることもできる。または、第４基板４０５に第２主基板４０４－１を付着させて質量分析上部室４４５を形成した後、四重極電極４０７を付着させて、それらを第２基板４０２へ付着させても良い。

【０１９０】

主基板４０１の厚みｈ２４が厚くて質量分析室を形成するためのエッチングに時間を要する場合、またはエッチングが困難な場合（たとえば、エッチングマスクが長時間エッチングではもたない場合）は、破線４４６で示すように複数枚に分けて互いに付着させても良い。たとえば、ｈ２４＝１０ｍｍの場合、１ｍｍの厚みの主基板（分割）を用いて、質量分析室４１３となる部分（貫通孔である）をエッチングし（厚さは１ｍｍである）、１０枚を重ね合わせればｈ２４＝１０ｍｍとなり、それらを第３基板４０３に付着して作製できる。付着法として静電接合を使用する場合は、たとえば、０．８ｍｍの主基板（分割）に０．２ｍｍのガラス基板等を静電接合で付着させて、質量分析室４１３となる部分（貫通孔である）をエッチングし（厚さは１ｍｍである）、それらを１０枚を重ね合わせればｈ２４＝１０ｍｍとなり、それらを第３基板４０３に付着して作製できる。（最下層の主基板だけ第３基板４０３に付着しておけば、第３基板４０３とガラス基板の付着はなくなり、すべてを静電接合で付着できる。）

【０１９１】

最下層の厚さ１ｍｍの主基板（分割）を第３基板４０３に付着して質量分析室４１３の一部（高さ方向で）をエッチングし（厚さは１ｍｍである）、この後は質量分析室４１３となる部分をエッチングした厚さ１ｍｍの主基板（分割）を次々に付着させていくか、複数枚の主基板を付着したものをまとめて付着させていくかして、主基板４０１（全体）を付着した第３基板４０３を作製できる。このとき、台座４０１の高さが１ｍｍ（最下層の主基板（分割）の厚みと同じ）である場合は、台座を形成するためのエッチングプロセスは不要となる。また、四重極電極４０７（４０７－２、４）の第３基板４０３または台座４０１－１，２への付着は、主基板（分割）を付着する工程の最初または途中または最後に行なうことができる。

【０１９２】

第２主基板４０４（４０４－１、４０４－２）の場合も同様に第２主基板４０４を分割して（たとえば、破線４４７や４４８で示すように）、それぞれ質量分析上部室、下部室を形成して付着させて所定の厚みの第２主基板４０４（４０４－１、４０４－２）を作製できる。たとえば、ｈ２５＝１０ｍｍの場合、厚さ２ｍｍの第２主基板を５枚重ねていけば良い。ガラス基板を用いる場合も上記の主基板と同様である。ｈ２６＝１０ｍｍの場合も厚さ１ｍｍの第２主基板を１０枚重ねていけば良い。ガラス基板を用いる場合も上記の主基板と同様である。第２主基板４０４－２の場合は、導電体膜配線４４０の作製があるが、全部重ねてから形成することもできるし、その都度作製して接続していくこともできる。この場合、第２主基板４０４－２の側面において、第２主基板と導電体膜との間に電気的絶縁や密着性向上のために絶縁膜を形成しても良い。特に第２主基板が絶縁体でない場合には必要である。さらに、第２主基板４０４－２の側面をテーパー化（斜め）して、導電体膜の段差切れを防止することもできる。第２主基板４０４－２の側面、すなわち、質量分析下部室の側面形状は垂直形状でなくても良いので、テーパーにして導電体膜のステップカバレッジを改善する。テーパー化は、ＣＶＤ法やＰＶＤ法だけでなく、メッキ法や電鋳法にも有効である。当然、第２主基板４０４－１および質量分析上部室も同様であるが、こちらには導電体膜の積層がない場合は、特にその形状を考慮する必要がない。

【０１９３】

以上のようにして、４個の四重極電極を所定位置に配置し、しかも一つの広い空間に４個の四重極電極を配置できるので、理想的な四重極電場を精度良く作製できる。また、四重極電極の外側空間が広くできる（特に四重極電極４０７－２、４の外側空間）ので、四重

極電極間の隙間を通りぬけていったイオンの運動量を小さくできるので、質量分析室４１３、質量分析上部室４４５、質量分析下部室４１４を取り囲んでいる基板へのダメージも軽減できる。４４９は真空引きライン開口部であるが、この真空引きライン開口部４４９を多数設けることによって、四重極電極間の隙間を通りぬけたイオンをポンプ側へ即排出できるので、側面基板へのダメージをさらに軽減できる。また、図５１（ｆ）で示したように、第４基板４０５および第５基板４０６の外側にさらに空間を有する第３主基板を付着した第６基板や第７基板を設ければ、第４基板４０５および第５基板４０６に開口部を広く取ることができるので、イオンによる第４基板４０５および第５基板４０６へのダメージをさらに軽減できる。また、第３基板４０３において、四重極電極４０７（４０７－２、４０７－４）の外側に質量分析下部室４１４（４１４－２、４１４－３）へ通じる開口部を部分的に設けることもできる。全部に開口部を設けることもできるが、その場合は、支柱（４０４－３、４０４－４）の側面に導電体膜・配線を形成する。尚、四重極電極４０７は、棒材を基板に付着する方法以外に、直接形成することもできる。その一例を以下に説明する。

【０１９４】

図２３は、四重極電極の作製方法を示す図である。図２３に示す例は、図２２（ｄ）に示す四重極電極４０７－２および４０７－４の作製方法の一例であるが、他の場合についても同様の方法で作製できる。従って、図２２（ｄ）と同様のものは共通の符号で示す。図２３（ａ）～（ｄ）は、メッキ法で作製する方法である。図２３（ａ）～（ｄ）における第３基板４０３、導電体膜４１１、主基板４０１－２、主基板４０１－２に作製したコンタクト４１０、溝４０８は既に説明した内容と同様である。メッキ法では溝４０８はなくても良い。主基板４０１－２や第３基板４０３が絶縁体でない場合は、導電体膜４１１およびコンタクト内導電体膜４１０との間には絶縁膜を介在させる。

【０１９５】

図２３（ａ）に示すように、コンタクト内導電体膜４１０が露出した状態で密着性向上用およびバリア用導電体膜およびメッキシード層４５０を積層する。たとえば、メッキ膜がＣｕの場合、メッキシード層はＣｕ膜であり、ＣＶＤ法またはＰＶＤ法等で積層する。密着性向上用およびバリア用導電体膜は、たとえば、Ｔｉ／ＴｉＮ、Ｔａ／ＴａＮ膜であり、ＣＶＤ法またはＰＶＤ法等で積層する。密着性向上用およびバリア用導電体膜をたとえば、約50nm～500nm積層した後、メッキシード層をたとえば500nm～5000nm積層する。次に、感光性膜４５１を塗布法やシート付着法により基板４０３上に積層し、フォトリソ法により、四重極電極を形成すべき場所に開口部４５２を形成する。この開口部４５２の深さは、四重極電極の大きさ程度とする。たとえば、四重極電極の高さが0.1㎜なら、約0.1㎜の深さとし、四重極電極の高さが1.0㎜なら、約1.0㎜の深さとし、四重極電極の高さが5.0㎜なら、約5.0㎜の深さとする。その後、基板４０３をメッキ液に浸漬し、またはメッキ液をスプレーした状態で、メッキシード層に通電して、開口部４５２にメッキ膜４５３を形成する。（Ｃｕのメッキ液はたとえば硫酸銅である。）このメッキ膜４５３が四重極電極となる。図２３（ｂ）所定厚みのメッキ膜４５３を形成したら、メッキを停止して、感光性膜４５１をリムーブする。メッキ膜４５３をマスクにして、メッキ膜４５３の形成されていないメッキシード層および密着性向上用およびバリア用導電体膜を除去する。通常、メッキシード層とメッキ金属は同じ材料であるが、メッキシード層の厚みはメッキ金属の厚みよりかなり薄いので、全面エッチング（ウエットエッチングまたはドライエッチング）してもメッキ金属の厚みは殆ど変化しない。すなわち、メッキ金属の厚みは、メッキシード層の厚み＋オーバーエッチング量分だけ薄くなる。

【０１９６】

図２３（ａ）、（ｂ）で示した感光性膜パターンを用いた方法において、感光性膜４５１の側面形状のうち、紙面に垂直方向は感光性用マスクパターンで自由に変えることができるが、深さ方向の形状は自由に変えることはできない。せいぜい、傾斜をつけることができるだけである。従って、メッキ膜４５３の形状も紙面に垂直方向は自由に変えることができるが、深さ方向および上部側の形状を自由に変えることができない。そこで、図２３

（ｃ）および（ｄ）に示すように、最終メッキ形状と類似する空間４５５を有する型４５４を作製し、図２３（ａ）で説明したことと同様に密着性向上用およびバリア用導電体膜およびメッキシード層４５０を積層した後に、この型４５４を四重極電極の搭載位置であるコンタクト４１０の形成部に合わせて、基板４０３に押しつける。型４５４は、空間４５５以外にプラスチックや高分子樹脂、ロウ材等の絶縁体で形成され、メッキ液注入口４５６およびメッキ液排出口４５７（これらも空間である）も形成されている。また、型４５４と基板４０３との接触部側は柔軟材料で形成されているので、型４５４を基板４０３に押しつけても基板４０３に損傷は与えないし、基板４０３に形成されたパターン（４１１、４０１－２等）をしっかりとカバーして、基板４０３と型４５４との接触部にメッキ液の浸入がないようにする。型４５４の空間４５５の上方に形成されたメッキ液注入口４５６からメッキ液を流し、型４５４の空間４５５の下方に形成されたメッキ液排出口４５７からメッキ液を排出する。メッキシード層に通電すると、メッキシード層からメッキ膜が成長し、空間４５５と類似した形状のメッキ膜ができる。所定のサイズと形状のメッキ膜４５８ができたら、メッキシード層への通電およびメッキ液注入をやめて、型４５４を取り外すと、所定の形状の四重極電極４５８ができる。（図２３（ｄ））この後。このメッキ膜４５８をマスクにして、メッキ膜４５３の形成されていないメッキシード層および密着性向上用およびバリア用導電体膜を除去する。尚、図２３（ａ）～（ｄ）において、メッキ工程に入る前に、フォトリソ法およびエッチング法を用いて、メッキ膜を形成しない領域におけるメッキシード層および密着性向上用およびバリア用導電体膜を除去しておいても良い。図２３（ａ）および（ｂ）の場合には、感光性膜パターンがなくともメッキできるが、一部でも導電体膜が残っているとその部分にメッキ膜が成長するので、感光性膜パターンを形成した方が良い。

【０１９７】

図２４は、四重極電極棒４０７を基板に付着する方法を説明する図である。四重極電極棒４０７は予め所望の形状で作製する。この方法の利点は、最適の材料を用いた四重極電極を使用できることであるから、四重極電極の電場特性が非常に良くなることである。図２４（ａ）および（ｂ）は、フリップチップ実装機（ボンダー）を用いて、四重極電極棒４０７を実装する状態を示す図である。図２４（ａ）に示す縦方向断面図はコンタクト部の断面模式図を示すものであり、図２４（ｂ）は、図２４（ａ）における紙面と垂直方向の断面模式図である。すなわち、図２４（ｂ）は四重極電極棒４０７の長手方向でイオンの進行方向であり、図２４（ａ）はそれ垂直な断面である。第３基板４０３に付着した第１主基板４０１－２に四重極電極棒４０７が付着される部分に溝（または凹部）４０８が形成され、その領域内にコンタクト４１０の表面が露出している。四重極電極棒４０７の長手方向で見ると、コンタクト４１０の領域は一部として記載しているが、電場特性を損なわなければ四重極電極棒４０７全体が接触する部分にコンタクト４１０を形成することもでき、このコンタクト部から四重極電極４０７へ電圧が印加される。

【０１９８】

第３基板４０３に付着した第１主基板４０１－２の四重極電極棒４０７が付着される部分に導電性接着剤や半田金属や導電性ペースト等４６０を付ける。この塗布方法として、たとえばディスペンサー、スクリーン印刷で塗布したり、感光性接着剤でパターニングしたり、種々の方法がある。図２４（ｂ）では図を見易くするために接着剤等４６０を記載していないが、四重極電極棒４０７が搭載される溝部４０８（図２４（ｂ）では破線で示す）領域全体に塗布される。溝４０８の形状は、四重極電極棒４０７がちょうど溝部に嵌まるように形成することが望ましく、ウエットエッチング法、ドライエッチング法、レーザー法等で形成することができる。第１主基板４０１がＳｉ基板等の半導体基板や、Ｃｕ基板等の導電体基板であるときは、四重極電極棒４０７との接触部分は絶縁膜でカバーしておく。従って、コンタクト４１０内の導電体膜はこの絶縁膜形成後に積層することが望ましい。あるいは、四重極電極棒４０７が搭載される部分のだい１主基板４０１を孤立パターン（すなわち、他の導電体部分や半導体部分と接触しない）として絶縁体基板である第３基板４０３に付着すれば、第１主基板４０１に絶縁膜を形成しなくても良い。尚、接着

剤等は四重極電極棒４０７の方にも付着することもできる。すなわち、四重極電極棒４０７がコンタクト部４１０および第１主基板４０１－２と付着する領域に接着剤等を付けておくこともできる。

【０１９９】

フリップチップ実装機（ボンダー）の吸着部４５９に四重極電極棒４０７を吸着させて、第３基板４０３や第１主基板４０１の付着部分にアライメントしながら付着させる。接着剤を用いた付着では、接着剤の硬化温度以上の熱処理を行ない固化させて固定する。あるいは紫外線硬化性接着剤を用いた付着では、紫外線照射を行ない固化させて固定する。金属を用いる場合は、融点以上で付着させた後、融点以下の温度に下げて固化させて固定する。接着剤等の表面張力でセルフアラインできる場合は、四重極電極棒４０７と第３基板４０３や第１主基板４０１との固定が確実に行なわれなくても、フリップチップ実装機（ボンダー）の吸着部４５９を四重極電極棒４０７から離すことができる。セルフアラインができない場合には、四重極電極棒４０７と第３基板４０３や第１主基板４０１との固定が確実に行なわれた後で、フリップチップ実装機（ボンダー）の吸着部４５９を四重極電極棒４０７から離すようにすることが望ましい。尚、コンタクト４１０は四重極電極棒４０７を付着させてから第３基板４０３のコンタクトと一緒に形成することもできる。図２２（ｄ）において、四重極電極棒４０７－１や４０７－３は第２基板４０５や４０６に直接付着しているが、図２４（ａ）および（ｂ）で、第１主基板４０１が付着していない場合を考えれば良い。溝４０９は必要な場合に第２基板４０５や４０６に形成する。四重極電極棒４０７の付着部分にコンタクト孔４１６や外側電極・配線４１７を予め形成しておいた後で、四重極電極棒４０７の付着を行なっても良い。

【０２００】

図２４（ｃ）および（ｄ）は、サポート基板４６１に付着させた四重極電極棒４０７を第４基板４０５または第５基板４０６へ付着する方法を示す図である。支持基板４６１に接着剤等４６２を付着し、四重極電極棒４０７を付着すべき部分を反対側（図では下側）にして支持基板４６１に付着させる。四重極電極棒４０７を付着させる方の第４基板４０５において、付着する部分に溝部４０９を形成する。この溝部４０９の形成法は図２４（ａ）、（ｂ）と同様である。溝４０９の形状も四重極電極棒４０７が確実に嵌まるような形状が望ましい。尚、予め第５基板４０５に予めコンタクト４１６や電極・配線４１７を形成することもできる。溝部４０９における四重極電極棒４０７の接触部に導電性接着剤等（記載していないが、４６０とする）を形成しておき、サポート基板４６１に付着させた四重極電極棒４０７を第４基板４０５の接触部へアライメントして付着する。サポート基板４６１と四重極電極棒４０７を付着している接着膜４６２は、たとえば軟化温度Ｔ１の熱可塑性接着剤である。また、四重極電極棒４０７と第５基板４０５との接着剤４６０は、効果温度Ｔ２の熱硬化性接着剤である。Ｔ１＞Ｔ２となるような材料を選定する。サポート基板４６１に付着させた四重極電極棒４０７を第４基板４０５の所定部分に接触させた後、雰囲気温度をＴ１とＴ２の間に保持して、接着剤４６０を硬化させて四重極電極棒４０７と第５基板４０５とを固定する。次にＴ１以上に温度を上げて、接着膜４６２を軟化させてサポート基板４６１を分離する。この結果、四重極電極棒４０７が第５基板４０５の所定部分に固く付着する。この後、コンタクト４１６および電極・配線４１７を形成できる。尚、コンタクト４１６の領域は、広い方が電場特性に良ければ広くすることも可能である。すなわち、図２４（ｄ）において、四重極電極４１０の領域を長手方向に伸ばしていけば良い。また、図２４（ｃ）においても、四重極電極４１０の領域を幅方向に伸ばしていけば良い。尚、第５基板４０６においても同様の方法で可能であり、第２基板４０２および４０３についても第１主基板４０１を付着させた後、同様の方法で四重極電極棒４０７を付着することができる。以上のようにして、所望の形状で所望の材料から構成される四重極電極棒４０７を基板に固定できる。

【０２０１】

図２５は、薄膜形成法を用いて四重極電極を質量分析室内部へ配置する方法について説明する図である。図２２（ｃ）とその製法は類似する。下部基板４７２に電極パターン４６

３を形成し、主基板４７１を下部基板に付着する。このとき、主基板４７１の付着面側に凹部４６４を形成して、下部基板４７２に形成された電極パターン４６３に接触しないようにする。電極パターン４６３（４６３－１）は、四重極電極の一つであり、凹部４６４は将来質量分析室になる。電極パターン４６３（４６３－２）および電極パターン４６３（４６３－３）は将来四重極電極の一部となり、図２５（ａ）には示されていないが、ここにも主基板４７１に凹部が形成され、電極パターン４６３（４６３－２）および電極パターン４６３（４６３－３）は主基板４７１に接触しない。下部基板４７２に付着した主基板４７１に、左右方向の２つの四重極電極を形成するための貫通室４７３（４７３－１、２）を形成する。このとき、電極パターン４６３（４６３－２）および電極パターン４６３（４６３－３）の周りにある凹部４６４がこの貫通室４７３（４７３－１、２）に含まれるようにする。すなわち、貫通室４７３（４７３－１、２）は電極パターン４６３（４６３－２）および電極パターン４６３（４６３－３）の周りにある凹部４６４より大きい。貫通室４７３（４７３－１、２）形成のための異方性エッチングを行なったときに、凹部４６４が先に貫通するので、導電体膜４６３（４６３－２、３）およびこの導電体膜４６３（４６３－２、３）と凹部との間で露出している下部基板４７２は主基板４７１のエッチングにさらされる。従って、下部基板４７２および導電体膜４６３（４６３－２、３）と主基板４７１のエッチング選択比を十分大きくとっておくとともに、下部基板４７２および導電体膜４６３（４６３－２、３）の厚みをそのエッチング量以上に設定しておく。

【０２０２】

次に、主基板４７１が絶縁体でない場合、たとえばＳｉ半導体基板である場合、この後に形成する導電体膜４７５と導通しないように、絶縁膜４７４を積層する。この絶縁膜４７４は、貫通室４７３内にも積層する。絶縁膜の厚みは、貫通室４７３の側面で500nm～5000nm積層する。500nmあれば、200Vの耐圧がある。高電圧の場合は絶縁膜の厚みを大きくすれば良い。貫通室４７３（４７３－１、２）はサイズ変化がないように垂直エッチングが良い。貫通室４７３の底にも絶縁膜４７４が積層され、導電体膜４６３（４６３－２、３）も絶縁膜４７４でカバーされるので、この部分の絶縁膜４７４をエッチングするために、基板面」に対して垂直エッチング（ドライエッチング）を行なう。このとき、主基板４７１の上面に積層された絶縁膜４７４もエッチングされるが、貫通室４７３の底部にある導電体膜４６３（４６３－２、３）上に積層された絶縁膜４７４よりは厚いので、貫通室４７３の底部にある導電体膜４６３（４６３－２、３）上に積層された絶縁膜４７４を全部エッチングしても、主基板４７１の上面に積層された絶縁膜４７４は少し残る。ただし、主基板４７１の上面に積層された絶縁膜４７４も全部エッチングされても、主基板４７１が露出するが、主基板４７１と絶縁膜４７４のエッチング選択比を十分大きく取れば、主基板４７１は余りエッチングされないし、主基板４７１自体は厚いのでエッチングされても余り問題はない。また、貫通室４７３の側面に積層された絶縁膜は深さ方向にはかなり厚いので横方向には殆どエッチングされない。

【０２０３】

貫通室４７３の底部にある導電体膜４６３（４６３－２、３）が露出した状態で、導電体膜４７５を積層する。この導電体膜４７５は導電体膜４６３（４６３－２、３）と接続する。この導電体膜４７５は、絶縁膜４７４および導電体膜４６３（４６３－２、３）およびメッキシード用導電体膜との密着性向上用の導電体膜、たとえばＴｉ、ＴｉＮ、Ｔａ、ＴａＮであり、膜厚は100nm程度あれば良い。この密着性向上用の導電体膜の後にメッキシード用導電体膜を積層する。メッキ膜がCuである場合は、Cu膜が良く、CVD法、PVD法等で500nm～5000nm積層する。（図２５（ａ））次に、フォトレジスト膜等の流動性樹脂膜４６５を塗布して、熱処理して硬化させて主基板４７１の表面を平坦化させる。このとき、貫通室４７３の内部にも樹脂膜４６５を入れて充填することが重要である。貫通室４７３の幅は、比較的大きく取ることができ、たとえば、0.1mm～0.5mm～5mmと貫通室４７３の深さに応じて設定すれば良い。従って、貫通室４７３の深さが1mm～10mmでもアスペクト比を１～５程度にできるので、絶縁膜４７４や導電体膜４７５の被覆性（ステップカバ

レッジ）は問題なく0.5～1.0の範囲内の条件を設定できる。また、樹脂膜４６５による貫通室４７３の空間の充填も問題ない。（図２５（ｂ））

【０２０４】

次に、平坦化した樹脂膜４６５をエッチバック法で上方からエッチング除去し、主基板４７１の上面に積層した導電体膜４７５を露出させる。このとき、貫通室４７３の内部には樹脂膜４６５が充填されており、貫通室４７３の内面に積層した４７５は樹脂膜４６５で被覆されている。（図２５（ｃ））従って、露出した導電体膜４７５をエッチング（ウエットまたはドライ）して、主基板４７１の上面に積層した導電体膜４７５を除去する。しかし、貫通室４７３の内面に積層した４７５はそのまま残すことができる。（図２５（ｄ））あるいは、図２５（ｂ）の状態で、研磨法（ＣＭＰ法、またはＢＧ法）で平坦化した樹脂膜４６５、導電体膜４７５を平坦化した状態で除去し、図２５（ｄ）の状態にすることもできる。次に、貫通室４７３内に残っている樹脂膜４６５をリムーブした後、下部基板４７２に導電体膜４６３（４６３－１、２、３）へのコンタクト４６６（４６６－１、２、３）を形成する。さらにコンタクト４６６（４６６－１、２、３）へ接続する導電体膜４６７を下部基板４７２の下面に積層する。この導電体膜４６７はコンタクト４６６の導電体膜と同時に積層することもできる。この導電体膜４６７は将来四重極電極に電圧を印加する電極・配線となるが、ここではまだパターニングせず下部基板４６７の下面全体に積層した状態にし、ここに通電した状態で、貫通室４７３（４７３－１、２）へメッキ液やメッキスプレーを流して、貫通室４７３（４７３－１、２）内へメッキ膜４６８を成長させて充填する。（図２５（ｅ））

【０２０５】

次に、研磨法（ＣＭＰ法、またはＢＧ法）やエッチバック法で主基板４７１側を研磨またはエッチングして、主基板４７１の表面を平坦化する。次に、感光性膜４６９を塗布法または感光性シートを付着法等で主基板４７１の表面に形成し、フォトリソ法で質量分析室となる部分４７０を開口する。この開口部４７０は、貫通室４７３（４７３－１、２）の方まで開口し、貫通室４７３（４７３－１、２）の間にある主基板４７１を全部開口する。（図２５（ｆ））この後、主基板４７１を下部基板４７２までエッチングし、貫通室４７６を形成する。貫通室４７３（４７３－１、２）の間にある主基板４７１は全部エッチングされるので、この貫通室４７６は貫通室４７３（４７３－１、２）に作製された導電体膜４７５およびメッキ充填膜４６８に直面する。（間に絶縁膜４７４が介在する）主基板４７１がＳｉ基板である場合、貫通室４７３（４７３－１、２）の側面周囲を取り囲んでいる絶縁膜４７４（たとえば、ＳｉＯ２膜、ＳｉＮ膜）とのエッチング選択比を大きく取れるので、貫通室４７３（４７３－１、２）の側面周囲を取り囲んでいる絶縁膜４７４は余りエッチングされない。導電体膜４６３（４６３－１）の周囲は凹部４６４なので、この部分の下部基板４７２や導電体膜４６３（４６３－１）は他の部分よりも主基板４７１のエッチングにさらされるが、これらの下部基板４７２や導電体膜４６３（４６３－１）との選択比も高く取れるので、余りエッチングされない。また、下部基板４７２や導電体膜４６３（４６３－１）を厚くしておけば良い。（図２５（ｇ））

【０２０６】

感光性膜４６９の開口部４７０から主基板４７１をエッチング（垂直エッチング）して貫通室４７６形成した後、感光性膜４６９を除去した後、図２５（ｇ）に示す下部基板４７２に付着した主基板４７１の上面に導電体膜電極４７８を仮面に付着した上部基板４７７を付着する。導電体膜電極４７８は四重極電極の１つの電極となるので、質量分析室である貫通室４７６に配置する。上部基板４７７に形成する導電体膜電極４７８は、たとえば、ＣＶＤ法、ＰＶＤ法、メッキ法、スクリーン印刷法等で形成する。あるいはデスペンサーで導電体膜を付着させても良い。たとえば、上部基板４７７が絶縁体である場合、密着性向上用の導電体膜Ｔｉ／ＴｉＮ膜を100nm～1000nm積層し、次にＣｕメッキシード膜を500nm～10000nm積層し、フォトリソ法で電極形成部を窓開けしてCuメッキ（100μm～5mm）を行なう。この厚いCuメッキをマスクにして薄いCuメッキシード膜および導電体膜Ｔｉ／ＴｉＮ膜をエッチング除去する。メッキ膜４６８の部分には接着剤等を付着させて上部基

板４７７を付着させる。主基板４７１がSi基板であり、上部基板４７７がガラス基板等である場合は、静電陽極結合で付着することができる。その後、メッキ膜４６８および導電体膜電極４７８に接続するコンタクト４７９を上部基板４７７に形成する。さらに、上部基板４７７上面にコンタクト４７９に接続する導電体膜電極配線４８０（４８０－１～３）を形成する。また、下部基板側も導電体膜電極配線４６７（４６７－１～３）を形成する。このようにして、質量分析室４７６内に上下に四重極電極４６３－１、およびこれと対面する四重極電極４７８、また、左右に２つの四重極電極４６８が形成される。上下の四重極電極４７８および４６３－１は貫通室４７６の左右中心線に対して対称形状となるようにすることが望ましい。また、左右の四重極電極４６８は貫通室４７６の上下の中心線に対して対称形状となるようにすることが望ましい。この結果、上下の四重極電極４７８および４６３－１の中心間距離の中点M1と左右の四重極電極４６８の中心間距離の中点M2は一致することが望ましい。これによって、安定した四重極電場が形成されやすい。尚、図２５（ｇ）の構造のものを上下にして重ねて質量分析室を作製することもできる。（感光性膜４６９は当然除去する。）これにより、質量分析室４７６の高さを高くできる。付着するときには、メッキ膜４６８の表面には導電性接着剤または半田金属、その他の部分は絶縁性接着剤を塗布するか、接着剤を使わずに接着させることができる。質量分析室内に四重極電極を配置しているので、質量分析室４７６内により安定した四重極電場を形成することができる。

【０２０７】

本発明は、四重極電極より電極の多い多重極にも適用できる。多重極電極型イオンガイドとして、たとえば六重極電極型イオンガイド、八重極電極型イオンガイドがある。図２６は、八重極電極型の構造を示す図である。図２２（ａ）の四重極型電極にさらに４電極を付加している。図２２（ａ）で用いているものと同様のものは同じ符号で示している。図２２（ａ）と異なるのは、八重極電極３９４－１（の下側）が上部基板３９２ではなく第３下部基板４８２上に付着されている。また、八重極電極３９４－１の上側が第２上部基板４８３に付着されている。（ここで、本明細書では、付着とは、特に区別していない限り、外付けで付着する場合と、薄膜で形成する場合の両方を含むものとする。）しかし、図２２（ａ）と同様に、上部基板３９２に付着することができる（他の電極３９３－２、３９８－８、さらに下側に関しても同様）のは当然であるから、詳細は述べない。第２下部基板４８２上に３つの八重極電極３９４（３９４－５、１、８）を付着させる。八重極電極３９４（３９４－５、１、８）を外付け（別に作製した八重極電極を付着させること）で付着するときは、第２下部基板４８２上に八重極電極３９４（３９４－５、１、８）の形状に合わせた溝や凹部を形成して（フォトリソ法およびエッチング法、またはレーザーによる溝・凹部形成などで形成）、接着剤等を用いて溝や凹部の部分に付着させる。八重極電極３９４（３９４－５、１、８）の上側にも第２上部基板４８３を付着させて、八重極電極３９４（３９４－５、１、８）を確実に固定する。このとき、第２上部基板４８３の下面にも八重極電極３９４（３９４－５、１、８）の形状に合わせた溝や凹部を形成して、接着剤等を用いて溝や凹部の部分に付着させる。

【０２０８】

第２下部基板４８２と第２上部基板４８３（このとき、上部基板３９２は第１上部基板３９２、下部基板３９３は第１下部基板とする）の間に第２主基板４８１を付着させて、第２主基板４８１に貫通室４８５－１、２，３を形成し、その貫通室４８５－１、２，３内に、八重極電極３９４（３９４－５、１、８）をそれぞれ配置することもできる。これらの配置方法は種々の方法がある。たとえば、第２下部基板４８２に第２主基板４８１を付着させて、貫通室４８５－１、２，３を形成し、さらに第２下部基板４８２の所定部分に溝３９５を形成する。（第２下部基板４８２の所定部分に溝３９５を形成してから、第２主基板４８１を付着させて、貫通室４８５－１、２，３を形成することもできる。）ここで、貫通室４８５－１と貫通室４８５－２の間には第２主基板４８１の基板側壁板４８１－１が存在し、貫通室４８５－１と貫通室４８５－３の間には第２主基板４８１の側壁板４８１－２が存在する。貫通室４８５－２において、基板側壁板４８１－１の対面は基板

側壁４８１－３である。貫通室４８５－３において、基板側壁板４８１－２の対面は基板側壁４８１－３である。

【０２０９】

次に、八重極電極３９４（３９４－５、１、８）をそれぞれの貫通室４８５（４８５－１、２、３）にフリップチップ実装機で入れて、第２下部基板４８２に付着し、その後で、第２上部基板４８３を第２主基板４８１に付着する。このとき、八重極電極３９４（３９４－５、１、８）の上部も第２上部基板４８３に付着させる。第２上部基板４８３の所定部分に溝や凹部３９５を形成し、この部分に接着剤等を付けて八重極電極３９４（３９４－５、１、８）の上部をこれらの溝等に嵌合するようにすれば良い。あるいは、第２上部基板４８３の所定箇所に溝や凹部３９５を形成し、この部分に接着剤等を付けて八重極電極３９４（３９４－５、１、８）の上部をこれらの溝等に嵌合するように付着させる。八重極電極３９４（３９４－５、１、８）を付着した第２上部基板４８３を、第２下部基板４８２に付着した第２主基板４８１に形成した貫通室４８５（４８５－１、２、３）に八重極電極３９４（３９４－５、１、８）を挿入して、第２下部基板４８２に付着した第２主基板４８１に付着する。このとき、八重極電極３９４（３９４－５、１、８）の下部が第２下部基板４８２に形成された溝等３９５に嵌合して付着させる。このようにして、第２上部基板および第２下部基板に八重極電極３９４（３９４－５、１、８）を付着させることができる。ここで、第２上部基板は第１上部基板と同じ材料で良い。第１下部基板も第１下部基板と同じ材料で良い。また、第２主基板も第１主基板と同じ材料で良い。

【０２１０】

３つの八重極電極３９４（３９４－５、１、８）と第２上部基板４８３との付着部分において、第２上部基板４８３にコンタクトを設けて、さらに第２上部基板４８３上に外部から電圧を印加できる外側電極・配線を作製することができる。主基板面、上部基板面、および下部基板面に垂直方向をＺ方向、荷電粒子の進行方向をＸ方向（図２６では紙面に垂直方向、ただし、荷電粒子の進行方向が曲線を描く場合は、接線方向）、およびＸ、Ｚの両方向に垂直方向をＹ方向としたとき、八重極電極３９４－５、１、３はＹ方向に配列している。貫通室４８５（４８５－１、２、３）同士の間の基板側壁板４８１－１や４８１－２は必要がない部分は除去しても良い。第２下部基板４８２、第２上部基板４８３は、３つの八重極電極３９４（３９４－５、１、８）によっても支持されているので、全部除去することもできる。この場合は、第２主基板の側壁は、３つの八重極電極３９４（３９４－５、１、８）の外側にある第２主基板４８１－３、４だけである。さらに、第２主基板４８１もなくすこともできる。さらに第２上部基板４８３もなくすことができる。このとき３つの八重極電極３９４（３９４－５、１、８）への電圧供給用の外側電極・配線は直接八重極電極３９４（３９４－５、１、８）へ供給するか、第２下部基板側に外側電極・配線を作製することができる。第２下部基板もなくすことができるが、その場合、３つの八重極電極３９４（３９４－５、１、８）は第１上部基板３９２の上面に付着することになるので、第１上部基板３９２の上面に外側電極・配線を作製することができる。

【０２１１】

以上のようにして、第２下部基板４８２に付着した第２主基板４８１に形成された貫通室内に搭載された３つの八重極電極３９４（３９４－５、１、８）、その上部に付着した第２上部基板４８３から構成される電極モジュール基板を第１上部基板３９２の上面に付着させる。第１上部基板３９２にコンタクト配線がある場合は、第２下部基板４８２にコンタクト配線を作製し、第１上部基板３９２のコンタクト配線と接続するようにすれば良い。このモジュールを第１下部基板３９３に付着すれば、図２６（ａ）に示す下側となる。すなわち、第３下部基板４８６に付着した第３主基板４８４に形成された貫通室内に搭載された３つの八重極電極３９４（３９４－６、３、７）、その上部に付着した第３上部基板４８５から構成される電極モジュール基板を第１下部基板３９３の下面に付着させる。八重極電極３９４－６は第３主基板４８４の基板側壁４８４－３と基板側壁板４８４－１とに囲まれた貫通室内に、八重極電極３９４－３は第３主基板４８４の基板側壁４８４－２と基板側壁板４８４－１とに囲まれた貫通室内に、八重極電極３９４－７は第３主基板

４８４の基板側壁４８４－２と基板側壁板４８４－４とに囲まれた貫通室内に配置される。

【０２１２】

メインの荷電粒子は真中の貫通室３９６－１の中央付近を通るようにする。そのために、８個の八重極電極３９４－１～８による貫通室３９６－１内の電場は対称形になることが望ましい。そこで、８個の八重極電極３９４－１～８を貫通室３９６－１の中央に対してできるだけ対称となるように配置するのが良い。ただし、本発明の場合、各電極には個別に周波数や電圧を変化させて印加できるので、ある程度対称形になっているだけでも良い。たとえば、対面する電極（３９４－１と３、３９４－５と７、３９４－２と４、３９４－６と８）距離の中心が、貫通室３９６－１の中央付近に来るようにする。また、図２６（ａ）の場合は、３つの電極３９４－４、１、８や２つの電極３９４－２、４や３つの電極３９４－６、３、７はＹ方向にそろい、３つの電極３９４－５、２、６や２つの電極３９４－１、３や３つの電極３９４－８、４、７はＺ方向にそろうように配置する。また、各貫通室には真空引き用やパージ・クリーニング用の開口部を第１、２上部基板や第１、２下部基板に形成する。

【０２１３】

八重極電極３９４（３９４－１～８）は、Ｘ方向へ棒状に形成されているが、Ｘ方向に全体的に上部基板や下部基板に支持されている必要はないので、八重極電極３９４（３９４－１～８）の外側を囲んでいる、第２下部基板４８６、第３主基板４８４－３、第１主基板３９１－３、第２主基板４８１－３、第２上部基板、第２主基板４８１－４、第１主基板３９１－４、４８４－４の内側において、八重極電極３９４（３９４－１～８）を一部支持する部分だけ残して、他の上部基板（第１上部基板３９２、第３上部基板４８５）や下部基板（第１下部基板３９３、第２下部基板４８２）、および第１主基板３９１の基板側壁板３９１－１、２、第２主基板の基板側壁板４８１－１、２、第３主基板の基板側壁板４８４－１、２も除去することができる。八重極電極３９４（３９４－１～８）から生じる電場の障害となる主基板や上部基板、下部基板がなくなるので、質量分析室３９６－１の電場の安定化を高めることができる。また、この場合は、質量分析室３９６－１の周囲の貫通室も圧力が同じくなる。さらに、八重極電極３９４（３９４－１～８）の外側の貫通室の空間を広げ、また、第２上部基板４８３上にさらに貫通室を有する主基板を付着した上部基板および下部基板を付着して、貫通室を広げていく。この結果、八重極電極３９４（３９４－１～８）の外側にも一定の空間を存在させることができる。この場合、一番外側にある上部基板や下部基板に真空引き用の開口部を設けて、質量分析室の圧力を下げられるようにする。

【０２１４】

図２６（ｂ）は、図２６（ａ）に示す八重極電極３９４（３９４－１～８）構造の変形である。この実施例では、対面する各電極間の距離がすべて（ほぼ）等しく、その中間がほぼ一致する。その中間点（Ｍ）が質量分析室のほぼ中心部になるようにすることが望ましい。従って、８つの八重極電極３９４（３９４－１～８）はＭを中心とした（半径Ｒの）円周上に配置される。また、隣同士の電極もそれぞれ同じ関係になることが望ましいので、隣同士の中心角はほぼ４５度になることが望ましい。また、各電極の大きさおよび形状は揃っていて、中間点Ｍに面する方向の形状は同じか類似することが望ましい。図２６（ｂ）では、断面が円形で棒状（すなわち、円柱形状）の電極であるから、回転しても同じ形状であるが、形状が双曲線形状の場合は、中間点Ｍに面する方向の形状が双曲線形状であることが望ましい。従って、電極を配置するときにそのような形状になるように所定箇所に付着させる。電極３９４－２、４の高さが質量分析室の高さより小さい場合、質量分析室の高さの中央に電極３９４－２、４の中心が来るようにするために、図２２（ａ）に示した場合と同様に、台座３９７を配置する。また、図２６（ｂ）の斜め側にある電極３９４－５～８とＺ方向にある電極３９４－１、３との距離をほぼ同じにするために、電極３９４－５～８は第１上部基板３９２上および第１下部基板の下面に付着したり、および／または電極３９４－１、３を第２下部基板４８２の上面や第３上部基板４８５の下面に

付着するとともに、これに加えて台座を用いたりすることも有効である。尚、質量分析室３９６－１と同レベルにある電極３９４－２、４は比較的自由に距離を変化できる。

【０２１５】

図２２（ｃ）における電極４２５－２や３の形成方法、あるいは図２５で説明した方法を用いて八重極の電極を作製することもできる。すなわち、図２６（ａ）における電極はすべて図２２（ｃ）における電極４２５－２や３の形成方法、あるいは図２５で説明した方法を用いて八重極の電極を作製することができる。また、図２６（ｂ）に示す八重極の電極の配置も同様に作製できる。たとえば、斜め側にある電極３９４－５～８も図２６（ａ）と同じように第２下部電極４８２と第２上部電極４８３の間、あるいは第３下部電極４８６と第３上部電極４８５の間に形成し、中央にある電極３９４－１や３９４－３については、台座を配置し電極の位置を高くすれば良い。これによりすべての電極からの距離の中点をほぼ一致させることができる。

【０２１６】

六重極電極型質量分析室も本発明の基板を用いて作製できる。たとえば、図２６（ａ）に示す八重極電極型を利用して説明すると、質量分析室３９６－１のＹ方向には、これらと同じように配置し、図２６（ａ）における電極３９４－１と３９４－３をなくし、その他の４つの電極に関して、これらの電極（３９４－２と３９４－４）に対して、中点Ｍから中心角６０度の方向の上側に２個の電極（３９４－５、８）、中点Ｍから中心角６０度の方向の下側に２個の電極（３９４－６、７）を配置する。これらの電極は同一円周状に配置することもできる。すなわち、Ｍ点からの距離の等しい所に配置する。また、図２６（ｂ）に示すような第１上部基板の上面および第１下部基板の下面ね配置することもできる。尚四重極電極についても、隣同士の電極は中点Ｍに対して９０度で、かつ４つの電極を同一円周上になるように配置することが望ましい。尚、質量分析室と四重極電極（または多重極電極、以下まとめて四重極電極と記載）が基板側壁によって分離していると四重極電極による電場が弱くなるので、四重極電極を最低限支持する基板だけを残して他の基板は除去することもできる。その場合は、当然質量分析室の真空度が悪くならないようにするために四重極電極の周囲をさらに基板で覆えば良い。

＜扇型電場＞

【０２１７】

本発明の質量分析装置は、質量分析室として扇型磁場方式を用いることができる。図２７は、本発明の主基板に扇型磁場が作用する質量分析室となる貫通室を持つ扇型磁場方式の質量分析装置を示す模式図である。図２７（ａ）はイオン検出室が1個のタイプであり、図２７（ｂ）はイオン検出室が複数個のタイプである。本発明の質量分析室６８３－２は、主基板６８２に形成された扇型状にくり抜かれた貫通室であり、その上下を上部基板６８８および下部基板６８９が付着している。（図２７（ｃ））質量分析室６８３－２へのイオンビーム６８５の入力側である貫通室（隣室）６８３－１は、たとえば、図１９における引き出し電極・加速室３０７であり、加速電圧Ｖで加速された速度ｖのイオンが隣室６８３－１から基板側壁６８２－１が有する中央孔６９０－１を通って質量分析室６８３－２へ入射する。

質量分析室６８３－２の上部および／または下部には電磁石６８４が配置され、その電磁石６８４による磁場Ｂが貫通室６８３－２の上下方向、すなわち主基板６８２、上部基板６８８および下部基板６８９の基板面に対して垂直方向に印加される。この磁場Ｂによって、速度ｖで入射したイオンは（略）半径Ｒ0の円軌道を描いて、質量分析室６８３－２の出口となる基板側壁６８２－２が有する中央孔６９０－２を通って隣室６８３－３へ進む。このように、質量分析室６８３－２は上下部基板６８８および６８９で貫通室の上下が密閉され、横方向（イオンビームの進行方向）は中央孔を有する（主基板の）基板側壁に挟まれ、また、主基板６８２の側面方向（イオンビームの進行方向と直角方向）は主基板に囲まれている。ただし、質量分析室６８３－２の上下部基板６８８、６８９には真空引き用の開口部があいていて、質量分析室６８３－２内を所定圧力（たとえば、10^{-4}

～１０$^{-8}$torr）にする。さらに質量分析室６８３－２内をクリーニングするための不活性ガス（N2、He、Ar等）等のクリーニングガスを導入するための開口部を設けることもできる。

【０２１８】

質量分析室である貫通室６８３－２は、通常イオンビームの軌道６８５が中心となるようにしてその中心からほぼｒ1の幅（横方向）を有する空洞である。従って、貫通室６８３－２は、平面的には、図２７（ａ）や（ｂ）に示すように、扇型形状の円筒状空洞（半径R0の扇型を中心とする幅ｒ1の空洞）である。しかし、実際には、質量分析室である貫通室６８３－２は必ずしも扇型形状の空洞である必要はなく、少なくとも前記の扇型形状の円筒状空洞を含むそれよりも大きな空洞であれば良い。そして、その空洞の中で、貫通室６８３－２の上下方向、すなわち主基板６８２、上部基板６８８および下部基板６８９の基板面に対して垂直方向に磁場が印加されるので、イオンビーム軌道はほぼ半径Ｒ0の円形軌道（扇型：角度はたとえば３０度～１８０度で選定できる。）となる。たとえば、入射時のイオンの速度をv（m/sec）、イオンの質量をｍ（kg）、イオンの荷電数をｚ、磁場（磁束密度）をＢ｛N/(Am)｝とすれば、質量分析室６８３－２ではイオンは遠心力とローレンツ力が釣り合い半径Ｒ0の円軌道を取るので、$mv^2/R0=Bzev$・・・(1)が成り立つ。質量分析室６８３－２へ入射する前に加速室で電圧V（ボルト）で加速されたとすれば、$zeV=mv^2/2$・・・(2) が成り立つ。(1)および(2)から$m/(ze)=B^2R0^2/2V$・・・(3)が導かれる。(eは電気素量で、約1.6×10^{-19}C（クーロン））

【０２１９】

質量分析室に入射するイオン６８５は種々の質量mや電荷(ze)を持つが、質量分析室で磁場の力を受けると種々の軌道Ｒを有する。（（３）式から分かる。）たとえば、図２７（ｂ）から分かるように、同じ磁場Ｂ、加速電圧Ｖの場合、（m/z）が小さなものはR0より小さな軌道となり（たとえば、６８５－３）、（m/z）が大きなものはR0より大きな軌道となり（たとえば、６８５－２）となる。質量分析室６８３－２の隣室６９０－３はイオン選別室であり、その中に中央孔６９０－３を有する基板側壁６８６が配置されている。基板側壁６８６が有する中央孔６９０－３は半径R0の軌道を持って進んできたイオンビームが通るように作られている。すなわち、磁場Ｂによる力を受けて中心軌道を進んできたイオンビームの軌道がちょうど中央孔６９０－３に相当している。すなわち、（３）式が成立するようなイオン６８５－１が中央孔６９０－３を通る。従って、中央孔６９０－３を有する基板側壁６８６はイオン選別スリットと呼んでも良く、（３）式が成立しない場合、たとえば図２７（ｂ）における軌道６８５－２や６８５－３のイオンは中央孔６９０－３を通過できない。中央孔６９０－３を通過したイオン６８５－１は基板側壁６８２－３が有する中央孔６９０－４を通って隣室６８３－４へ入射する。この隣室６８３－４は、たとえばイオン検出室であり、質量分析室６８３－２およびイオン選別室６８３－３で選別されたイオン量が検出される。このように、イオン選別室６９０－３は基板側壁６８２－２および６８２－３で囲まれている。このイオン選別室６８３－３は通過できないイオンが残るので、上下部基板に真空引き用の開口部やクリーニング用の開口部を設けて、十分な真空引きや適宜クリーニングすることが望ましい。通常、イオン選別スリットの中央孔６９０－３のサイズは基板側壁６８２－２の中央孔６９０－２のサイズより小さい。イオン選別室６８３－３は他の部屋よりも汚れが大きいので基板側壁６８２－２および６８２－３で囲むことが望ましいが、少しサイズが大きくなるので、汚れを余り気にしなければ、省略しても良いが、イオン選別スリット６８６は必要である。このように図２７（ａ）に示す扇型磁場式の質量分析法は、磁場Ｂや加速電圧Ｖを変化させながらイオンを検出する。

【０２２０】

図２７（ｂ）に示す扇型磁場式の質量分析法は、イオン検出室を複数｛６８３－１－１、２、３、・・・｝設けて、半径Ｒ0を有するイオンだけでなく、他の軌道を有するイオンも検出できるものである。たとえば、質量検出室６８３－２の中心（イオンビームの通る位置の近傍）が半径Ｒ0で、その中心から主基板側面までの距離を片側ｒ１、他方側をｒ

２としたとき、図２７（ａ）における質量検出室６８３－２では、ｒ１＝Ｒ１（一定）、ｒ２＝Ｒ２（一定）として、図２７（ｂ）における質量検出室６８３－２では、ｒ１＞Ｒ１、ｒ２＞Ｒ２として、イオンが磁場によって曲がっても主基板６８２の側面に衝突しないで、質量検出室６８３－２の隣室であるイオン選別室６８３－３へ進めるようにする。また、質量検出室６８３－２とイオン選別室６８３－３の隔壁である基板側壁（図２７（ａ）の６８２－２）を小さくする（すなわち、中央孔６９０－２を大きくする）か、取り除く。さらに、イオン選別室６８３－３では、中心軌道６８５－１以外の軌道（たとえば、６８５－２や６８５－３）は広がっていくので、図２７（ｂ）に示すように、イオン選別室６８３－３の主基板６８２の側面をイオンビームの進行方向に広げていき、イオンビームが主基板６８２の側面にできるだけ衝突しないようにする。さらに、イオン選別スリットである基板側壁６８６も取り除き、できるだけ多数のイオンがイオン検出室６８３－４に入るようにする。イオン検出室６８３－４は多数の個別イオン検出室６８３－４－１、２、３、・・・が主基板６８２の側面方向（主基板６８２の基板面と平行な方向で、イオンの進行方向（中心軌道）と垂直方向に並べられる。

【０２２１】

イオン検出室としては種々の方式を採用できるが、特に本明細書で説明したものはすべて使用できる。イオン検出室６８３－４の個別イオン検出室６８３－４－１、２、３、・・・同士の間には基板側壁６８７が存在し、互いに干渉しないようになっている。当然コレクター電極も個別イオン検出室毎に独立して配置される。個別イオン検出室の入口幅をw1、w2r、w2l、w3r、w3l、・・・とする。ここで、w1はイオン中心軌道６８５－１に沿った個別イオン検出室（図２７（ｂ）の６８３－４－１）の入口幅である。w2rは、その個別イオン検出室（図２７（ｂ）の６８３－４－１）の隣のイオン検出室で、そのイオン中心軌道６８５－１より外側軌道に配置された個別イオン検出室（図２７（ｂ）の６８３－４－２）の入口幅である。w3rはさらに外側の個別イオン検出室（図２７（ｂ）では記載せず）の入口幅である。w2lは、個別イオン検出室（図２７（ｂ）の６８３－４－１）の隣のイオン検出室で、そのイオン中心軌道６８５－１より内側軌道に配置された個別イオン検出室（図２７（ｂ）の６８３－４－３）の入口幅である。w3lはさらに外側の個別イオン検出室（図２７（ｂ）では記載せず）の入口幅である。個別イオン検出室同士の基板側壁の幅をｓとする。尚、個別イオン検出室の高さは、主基板６８２の厚さである。イオン検出室６８３－４の全体幅Ｄは、w1+（w2r+W3r+・・・）＋（w2l+W3l+・・・）＋ｎ×ｓ（ｎは基板側壁６８７の数）となる。個別イオン検出室の幅がすべて等しければ、個別イオン検出室の数はｎ＋１個であるから、イオン検出室６８３－４の全体幅Ｄは、Ｄ＝（ｎ＋１）×w1＋ｎ×ｓとなる。イオンは個別イオン検出室のどれかへ入れば必ずカウントされるが、隔壁６８７に衝突したものはカウントされない。イオン検出室の最外側および最内側の主基板６８２の側面（およびイオン選別室の側面等）に衝突したイオンもカウントされないが、そのようなものはないとしたとき、イオンの検出捕捉率は（ｎ＋１）×w1／Ｄとなる。たとえば、w1＝500μm、s＝100μmとし、ｎ＝２０とすれば、D＝10500＋2000(μm)＝1.25cmで、捕捉率は、84%となる。

【０２２２】

扇型磁場室である質量分析室６８３－２の空洞を大きくすることも、また、湾曲した空洞６８３－２をイオンビーム６８５の進行方向に対して次第に大きくしていくことも本発明ではフォトリソ法およびエッチング法を用いて簡単にできるので、所望の質量分析室６８３－２やイオン選別室６８３－２、イオン検出室６８３－４を作製できる。また、各イオン軌道は中心軌道を進むイオン軌道６８５－１に対して傾いているので、個別イオン検出室の入口面積を一定にすると捕捉面積が異なるが、本発明ではイオン軌道の傾きに合わせて個別イオン検出室の入口面積を変化させることも簡単にできる。たとえば、イオン軌道が外側になるに従い個別イオン検出室の入口面積を大きくしていくことができる。また、個別イオン検出室の向きをイオン軌道に合わせることも簡単にできるので、個別イオン検出室の入口面積を同じにしてイオンの侵入面積を各個別イオン検出室で同じにすることができる。図２７（ｂ）に示すような複数のイオン検出室を持つ質量分析装置でも加速電圧

Ｖや磁場Ｂの値を連続的に変動させてさらに精密な測定もできる。
【０２２３】
扇型磁場６８４は、質量分析室６８３－２の上部および／または下部に永久磁石または電磁石を配置し、質量分析室６８３－２に対して垂直方向（上部から下部への方向、またはこの逆）へ磁場（磁界）を印加する。すなわち、質量分析室６８３－２を被う上部基板または下部基板の外側に磁石のＳ極またはＮ極を配置し、および／または対向する下部基板または上部基板の外側に対向する側と逆極を配置する。たとえば、質量分析室６８３－２が図２７（ａ）や（ｂ）に示すように時計回りに湾曲しているときには、イオンビーム６８５を同じ時計回りに曲げる必要があるので、イオンがプラスの場合は、上部側にＳ極下部側にＮ極を配置し、磁場（磁界）が質量分析室６８３－２の下側（下部基板６８９側）から上側（上部基板６８８側）に向かうようにする。（フレミング左手の法則）磁石は磁場をかけてイオンに力を及ぼす領域、たとえば図２７（ａ）や（ｂ）の扇型磁場領域６８４だけに配置する。
【０２２４】
電磁石はコイルでも良く、また、そのコイルを基板内に作製して、その基板を質量分析室６８３－２や他のイオンビーム６８５が通る空洞（貫通室）を有する主基板６８２の上部および／または下部に付着しても良い。図２７（ｃ）は、図２７（ａ）または図２７（ｂ）において質量分析室６８３－２のＡ１－Ａ２の断面を示す図で、質量分析室６８３－２を有する主基板６８２の上面に付着した上部基板６８８の上面にコイルを内蔵した基板モジュール６９９（６９９－１）を付着し、および／または主基板６８２の下面に付着した下部基板６８９の上面にコイルを内蔵した基板モジュール６９９（６９９－２）を付着した図である。
【０２２５】
コイル内蔵の基板モジュールは、上部基板６９３と下部基板６９２の間にコイル６９５が搭載され、上部基板６９３または下部基板６９２の外側の表面に電極・配線６９７（６９７－１、２）が形成され、それらの電極・配線６９７（６９７－１、２）からコイル６９５の導線へ電流を流すことができる。上部基板６９３と下部基板６９２の間にコイル内蔵基板６９１が付着され、その基板６９１内にコイル６９５が搭載されている。コイル６９５の巻き導線は基板６９１の基板面に平行に巻かれ、基板面と垂直方向に導線が積層されてつながっている。従って、電極・配線６９７（６９７－１、２）からコイル６９５へ電流を流すと、コイル内電流Ｉは基板面に平行に流れ、その結果コイルの導線を垂直方向、すなわちコイル（が巻かれる円筒）の軸方向に貫く磁場（磁界）、が発生する。コイルがｎ回巻きでコイル（の円筒）の半径をａとすれば、コイルの中心の磁場（磁界）ＨはＨ＝ｎＩ／（２ａ）である。

コイルが発生する磁場が外部へ伝達するために、上部基板６９３、下部基板６９２、および内蔵基板６９１等のコイル６９５を取り囲む材料は非磁性体である。コイル６９５を搭載する内蔵基板６９１および／または上部基板６９３にはコイル６９５の１端の導線と接続する導電体膜配線６９８－１が形成され、その導電体膜配線６９８－１は上部基板または下部基板に形成されたコンタクト孔６９６（６９６－１）およびその中に形成された導電体膜に接続し、さらにそのコンタクト孔６９６（６９６－１）およびその中に形成された導電体膜は上部基板または下部基板上に形成された電極・配線６９７－１へ接続する。また、コイル６９５を搭載する内蔵基板６９１および／または上部基板６９３にはコイル６９５の他端の導線と接続する導電体膜配線６９８－２が形成され、その導電体膜配線６９８－２は上部基板または下部基板に形成されたコンタクト孔６９６（６９６－２）およびその中に形成された導電体膜に接続し、さらにそのコンタクト孔６９６（６９６－２）およびその中に形成された導電体膜は上部基板または下部基板上に形成された電極・配線６９７－２へ接続する。
【０２２６】
コイル内蔵基板の形成方法は、たとえば、下部基板６９２へ基板６９１が付着した後、コ

イル６９５を搭載すべき場所にコイル搭載用の空洞（貫通室）６９４を形成する。空洞６９４内へ絶縁膜を積層し、空洞内面を絶縁膜で覆い、導電体膜を形成し、空洞６９４内に導電体膜配線６９８（６９８－１、２）を形成する。基板６９１が絶縁体であるときは、空洞６９４内への絶縁膜の積層は必須ではない。次に、コイル６９５を空洞内へ挿入し、コイル６９５の導線端子を導電体膜配線６９８（６９８－１、２）と接続する。この接続は半田等の低融点合金や導電性ペーストを介在して行なうことができる。一方上部基板６９３の片面に導電体膜配線６９８（６９８－１、２）を形成しておく。次に、上部基板６９３を下部基板６９２に付着し空洞６９４を形成したコイル内蔵基板６９１へ付着する。このとき、空洞内へ形成した導電体膜配線６９８（６９８－１、２）と上部基板６９３の片面に形成した導電体膜配線６９８（６９８－１、２）を接続させる。次に、上部基板６９３にコンタクト孔・導電体膜６９６、および電極・配線６９７を形成する。これらは上部基板６９３に予め形成した後に、コイル内蔵基板６９１へ付着しても良い。ここで、上部基板６９２および下部基板６９３は通常絶縁体である。これらが半導体基板や導電体基板の場合は、コンタクト孔６９６内や空洞６９４内、基板表面へ導電体膜６９７、６９８等を形成する前に絶縁膜を形成するなどして電極・配線間が導通しないようにする。こうして、基板６９１、６９２、６９３に囲まれたコイルが完成する。

【０２２７】

このモジュール基板６９９－１内に多数のコイルを搭載できるが、質量分析装置ではコイルを配置する必要がない場所もあるので、モジュール基板６９９－１を、質量分析装置が形成されたモジュール基板（たとえば、図１９では、基板３０１，３０２、３０３で形成される。あるいは、図２７では、基板６８２、６８８、６８９で形成される。）に合わせ込んだときに必要な場所にコイル６９５が配置されるように、モジュール基板６９９－１にコイル６９５を配置する。この場合は、モジュール基板６９９－１に不必要な場所もできるが、モジュール基板６９９－１と質量分析装置が形成されたモジュール基板を一挙に付着できるので、多数の質量分析装置が一連のプロセスで形成できるという利点がある。モジュール基板６９９－１に不必要な場所をできるだけ作らないようにするためには、モジュール基板６９９－１に必要なコイルを配置したブロックを多数作製（たとえば、図２７では、扇型形状の部分６８４を１つのブロックとする。実際にはこの扇型形状の部分６８４を含む最小の矩形部分からなるブロックとして切断しやすくすると良い。）しておき、これらをブロックごとに切断して、個々のブロックを質量分析装置が形成されたモジュール基板に合わせ込んで付着させる。この場合は、コイルブロックを付着した部分は厚みが大きくなる。この方法によれば、コイルを内蔵したモジュール基板６９９－１全体を有効に使用できる。ここで示したコイルは導線をスパイラル状に巻いた導線だけのコイルとして記載しているが、これはコイルであることを簡単に示すために描いているだけであり、種々のコイル（インダクタ）を使用できる。たとえば、チップインダクタのようにコイルを内部に搭載したパッケージタイプのものでも良い。チップインダクタは端子電極が外側に露出しているので、図２７（ｃ）に示す空洞６９４へチップインダクタを挿入したときに上部基板、下部基板、および空洞内の導電体膜配線６９８と接続が簡単となる。あるいは、チップインダクタをそのまま質量分析室６８３－２の上に付着している上部基板６８８に付着させることもできる。

【０２２８】

チップインダクタの場合、巻線タイプや積層タイプやフィルムタイプ、フェライトコアや非磁性体コアや高透磁率磁性体コアを持つタイプ、被磁性素体タイプ等種々のものを、その特性（インダクタンス、Ｑ値など）に合わせて使用できる。導線が露出したタイプの巻線型コイルは大電流を流しても発熱に対して耐久性があるので、大きな磁界を発生させることができる。この場合も直接コイルを上下部基板６８８および／または６８９に付着すれば空冷等も簡単にできるので耐熱性を向上できる。図２７（ｃ）に記載したコイル挿入タイプでも上下部基板に空冷用の開口部Ｏｐをあけて空冷または液冷で空洞内部のコイル

を冷却できる。コイルを上下部基板６８８および／または６８９に付着する場合は、上下部基板６８８および／または６８９に接続配線パターンを形成し、その接続配線にコイルの両端子を接続すれば良い。また、コイルは質量分析室６８３－２にできるだけ近づけることによって質量分析室内の磁場を大きくできるので、上下部基板６８８および／または６８９をできるだけ薄くすると良い。ただし、強度や真空度を確保する程度の厚みが必要である。たとえば、基板がガラス基板の場合は現状では５０μｍ程度であるが、技術向上により将来はさらに薄くできるだろう。上下部基板６８８および／または６８９全体を薄くするには、主基板６８２にこれらの基板を付着した後にバックグラインド装置やＣＭＰ装置を用いてこれらの基板を研磨すれば良い。これらの基板を薄くした後にコンタクト孔、電極・配線、コイル搭載を行なうことができる。あるいは、コイルを搭載する領域およびその周辺のみの上下部基板６８８および／または６８９を薄くすることもできる。たとえば、薄くする領域以外を感光性膜パターン（マスク）で覆い、その領域をエッチングして薄くしたり、あるいは上下部基板６８８および／または６８９のその領域を予め薄くしておき、そのような上下部基板６８８および／または６８９を主基板６８２に付着させたり、あるいは小型研磨装置（たとえば、円板体の平面部をあてて研磨剤を含む研磨液を加えながら円板体を回転させる装置で、支持基板に複数取り付けて、その支持基板を主基板に近づけて回転円板体を同時に主基板に当てれば複数箇所を同時に研磨できる）を薄くすべき領域の主基板にあててその領域だけを薄くするという方法もある。

【０２２９】

コイル内蔵のモジュール基板６９９－１（の下部基板６９２の下面）を、質量分析室６８３－２等を有する質量分析装置の上部基板６８８上に付着する。すなわち、質量分析室６８３－２の直上にコイル６９５が配置される。すなわち、扇型磁場を発生する部分にモジュール基板６９９－１のコイル６９５が配置される。図２７（ｃ）では1個のコイルしか記載していないが、幅方向（図２７（ｃ）の左右方向）および／または奥行き方向（イオンの進行方向）に複数配置しても良い。たとえば、質量分析室６８３－２の幅をｄ１、コイル６９５の幅をｄ２（複数コイルの場合、複数コイルを合わせた幅、すなわち、1個のコイル幅をｂとし、幅方向にｍ個並べた場合、ｄ２＝ｍｂ（ただし、コイル間の隙間は無視した））としたとき、ｄ２の中心はｄ１のほぼ中心に合わせて、ｄ２＞ｄ１になるようにする。質量分析室６８３－２の上部だけの配置では質量分析室６８３－２内の垂直磁場の領域は狭いので、質量分析室６８３－２の下部にも６９９－１と同様のコイル内蔵のモジュール基板６９９－２を配置する。このモジュール基板６９９－２はモジュール基板６９９－１と同じものを裏返して使用することができる。すなわち、コイル内蔵のモジュール基板６９９－２（の下部基板６９２の下面）を、質量分析室６８３－２等を有する質量分析装置の上部基板６８９の下に付着する。すなわち、質量分析室６８３－２の直下にコイル６９５が配置される。これらの付着は、常温接合、高温接合、拡散接合や接着材等を用いて付着できる。接着剤等を用いる場合はコイルが発生する磁束を遮らない非磁性体を使用する。また、基板６８８、６８９、６９２がガラス基板、石英基板等である場合、これらの基板の間にＳｉ基板や導電体基板を介して静電陽極結合で付着することもできる。この付着の時に、付着基板に開口部があいているときは、その開口部を塞がないようにすることは言うまでもない。（塞いでも良い開口部は除く）尚、質量分析室６８３－２の扇型磁場の領域６８４の直下または直上にはコイル６９５が配置されるので、質量分析室６８３－２の上部基板６８８または下部基板６８９の必要な開口部は扇型磁場の領域６８４の外側に設ければ良い。

【０２３０】

質量分析室６８３－２の直上に配置されるコイルの極性と質量分析室６８３－２の直下に配置されるコイルの極性は逆極性とすることによって、これらのコイルの間に垂直磁場が発生する。すなわち、質量分析室６８３－２（の扇型磁場の領域）は、垂直磁場が生じる。質量分析室６８３－２の磁場を概算する。半径ａの円形コイル（ｎ巻き）を電流Ｉが流れているとき、中心軸上（コイル端の中心からｂの距離）の磁場は、Ｈ＝（ｎＩ／２）ａ^{2}／（ａ^{2}＋ｂ^{2}）$^{3/2}$である。ａ＝１ｍｍ、ｂ＝１ｍｍとすれば、Ｈ＝1.8×ｎＩ×

１０^{2}[Ａ/ｍ]。ａ＝５ｍｍ、ｂ＝５ｍｍとすれば、Ｈ＝３５×ｎＩ[Ａ/ｍ]。扇型の半径R0＝１０ｃｍとすると、(ｍ＝１０$^{-27}$kg、ｅ＝1.6×１０$^{-19}$Cとすれば、B2/V＝１０$^{-6}$、Ｂ＝４π×１０$^{-7}$×Ｈ、加速電圧Ｖ＝１０ボルトのとき、Ｈ＝2.5×１０^{3}[Ａ/ｍ]。加速電圧Ｖ＝１００ボルトのとき、Ｈ＝１０^{4}[Ａ/ｍ]。以上から、コイルの巻き数を５０として、ａ＝１ｍｍ、ｂ＝１ｍｍの場合、（１）加速電圧Ｖ＝１０ボルトで、コイルに流れる電流は0.28Ａ、（２）加速電圧Ｖ＝１００ボルトで、コイルに流れる電流は1.2Ａ、ａ＝５ｍｍ、ｂ＝５ｍｍの場合、（３）加速電圧Ｖ＝１０ボルトで、コイルに流れる電流は1.4Ａ、（４）加速電圧Ｖ＝１００ボルトで、コイルに流れる電流は5.8Ａ。従って、微小コイルでも十分に達成可能である。尚、上記の計算は片側コイルの場合の磁場であるから、上下に２個配置したときには、コイルに流れる電流はこれらの半分で良い。尚、上記の計算には、コイルに挿入するコアは考慮されていないので、大きな透磁率を持つ挿入コアを使用すれば、コイルに流れる電流をさらに大きく低下することができるから、コイルにかなり余裕度ができる。

【０２３１】

図２７（ｃ）に示すように、質量分析室６８３－２の高さをｈ１（主基板６８２の厚みに等しい）、上部基板６８８の厚みをｈ２、モジュール基板６９９－１の下部基板６９２の厚みをｈ３、空洞６９４の高さをｈ４（基板６９１の厚みに等しい）、上部基板６９３の厚みをｈ５とすると、質量分析室全体の厚みは、ｈ１＋２（ｈ２＋ｈ３＋ｈ４＋ｈ５）となる。（下側も上側と同じと仮定する。）たとえば、ｈ１＝1㎜、h2=h3＝0.2㎜、h4=1㎜、h5=0.2㎜とすれば、質量分析室全体の厚みは4.2㎜。ｈ１＝10㎜、h2=h3＝1㎜、h4=10㎜、h5=1㎜とすれば、質量分析室全体の厚みは36㎜となり、高さも非常に小さくなる。イオンビームの大きさは高だか10nm~100nmであるから、ｈ１＝1㎜、h2=h3＝0.2㎜、h4=1㎜、h5=0.2㎜としても十分な大きさである。本発明では厚さが十分均一な基板を使用でき、LSIプロセスで基板の付着やパターニングを行なっているので、このくらいの大きさで充分である。尚、ｄ１やｄ２は広く取ることもできる。たとえば、h1＝1㎜に対して、d1＝1～10㎜、d2＝1.1～11㎜とすることができる。円形コイルの場合、直径1㎜、高さ1㎜～5㎜のコイルを磁場領域へ複数並べて配置する。特にイオンビームの進行方向は長くなるので多数のコイルを並べる必要がある。本発明の場合、このような小さなコイルでも電極を外側に配置でき、個々に電流を流すことができるので、精密な電流制御（すなわち、精密な磁場制御）が可能となる。これらの制御は個々のコイルごとに配線をLSIチップに接続し、LSIでコントロールすることが可能である。尚、質量分析室のサイズが大きくなっても、上記のようにイオンビームを制御できるかシミュレーションできるので、小さなコイルを多数並べることもできるし、質量分析室のサイズに対応させながらコイルサイズも大きくすることもできる。本発明の質量分析装置や加速器は非常に小型のものから、基板を積層したり、基板を横に接続したり、あるいは後に示すモールド型を用いたインゴット基板を使用したりすることによって、超小型サイズから大きなサイズ（分析室高さが１ｍｍ以上～１０ｍｍ以上～１０ｃｍ以上～２０ｃｍ以上～それ以上のもの）のものまで作製できる。

【０２３２】

図２８は、質量分析室で磁場により力を受けたイオンを多方向に配置したイオン検出装置でイオン検出する質量分析装置を示す図であり、図２７（ｂ）で示す質量分析装置の変形とも言える。図２８（ａ）は、質量分析室６８３－２の入射イオンビーム６８５の進行方向に対して、直角方向である左右の両側および上方（入射イオンビーム６８５と同じ方向）の３方向に出口を有する質量分析装置である。右側に向かう質量分析室６８４（の一部）、イオン選別室６８３－３およびイオン検出室６８３－４は図２７（ａ）で示すものと同じである。左側に向かう質量分析室６８４（の一部）、イオン選別室６８３－５およびイオン検出室６８３－６は右側にあるものと、質量分析室６８３－２に対してほぼ対称となっている。従って、質量分析室６８３－２は片側だけの場合に比べて広くなっていて、また、磁場発生（印加）部分６８４も広くなっている。図２８（ａ）では矩形状の磁場印加部分となっていて、引き出し電極・加速室６８３－１からイオン６８５が質量分析室へ入射して磁場発生（印加）部分６８４に入ると垂直方向の力を受けて、イオンが曲がって

右側のイオン選別室６８３－３または左側のイオン選別室６８３－５へ進み、右側のイオン選別室６８３－３へ進んだイオン６８５－１はイオン検出室６８３－４で、左側のイオン選別室６８３－５へ進んだイオン６８５－２はイオン検出室６８３－６で、イオン検出される。イオン６８５がプラスイオンとマイナスイオンが入ってきたときには、１つの磁場６８４で、たとえば、プラスイオンは右側の方へ曲り、マイナスイオンは左側の方へ曲り、プラスイオンもマイナスイオンも同時に分析できる。加速電圧や磁場をスキャンすれば広い範囲のプラスイオンやマイナスイオンを同時に分析できる。また、左右２つのイオン検出市つ６８３－４および６８３－６を交互に使うことによって、測定のサイクルタイムを短くすることもできる。たとえば、一度測定したライン（たとえば、左側）は汚れるので、連続して分析するとコンタミ（汚染）する可能性があるので、間にパージ（真空引きやガスパージ）の処理を入れることが望ましいが、左右２つのラインを備えていれば、一方で測定している間に他方はパージ処理を行なうことができる。あるいは、一方が使えなくなった場合でも他方を用いて測定を行なうこともできる。あるいは、中性粒子は直進するので、中性粒子の分析も可能である。

【０２３３】

図２８（ａ）では、さらに入射イオン６８５の進行方向に別室６８３－７を有する。この別室６８３－７は、磁場を使わないで直進して来るイオン６８５を入射させて、別の方式で質量分析を行なうためのものである。たとえば、四重極質量分析室やイオントラップ型質量分析室を備えることができる。適切な速度になるように加速室や加速電極を設けてこれらの四重極質量分析室やイオントラップ型質量分析室へイオンビームを導いても良い。この方式の利点は、同じ試料について、異なる方式を使って測定できることである。従って、より信頼性の高い測定を行なうことができる。さらに、他の開いているスペースを用いて、さらにイオン選別室およびイオン検出室を作ることもできる。本発明の主基板に貫通室（空洞）を形成し、その上下を別基板で付着した質量分析装置は、多数のイオン検出室を同時に同じプロセスで一挙に作製できるので、コストは１つの検出室を備えたものと殆ど変らない。

【０２３４】

図２８（ｂ）は、このことをさらに発展させ、多数のイオン検出室を有する磁場型質量検出装置を示す図である。引き出し電極・加速室６８３－１の隣またはイオンビーム６８５の進行方向に質量分析室６８３－２があり、質量分析室６８３－２は、引き出し電極・加速室６８３－１の出口または質量分析室６８３－２の入口の中心から広がりを持った空洞を有していて、その広がった空洞は引き出し電極・加速室６８３－１の一部または全部を取り囲んでいる。引き出し電極・加速室６８３－１の主基板６８２の側面（側壁）６８２－ａの（質量分析室６８３－２への）延長線（一点鎖線で示す）と右側の質量分析室６８３－２の広がり空間（空洞）のなす最大角度をα１とする。また、引き出し電極・加速室６８３－１の主基板６８２の側面（側壁）６８２－ｂの（質量分析室６８３－２への）延長線（一点鎖線で示す）と左側の質量分析室６８３－２の広がり空間（空洞）のなす最大角度をα２とする。図２８（ｂ）では、α１、α２＝１８０度である。図から分かるようにα１かα２のどちらかは０でも良い。すなわち、左右どちらかの片側空間だけでもイオンの質量分析は可能であるが、両方があれば、より正確で信頼性の良い測定ができること、測定のサイクルタイムを短くできること、測定装置の寿命を長く保持できることなどが利点として挙げられる。この実施形態では質量分析室は一繋ぎの空間であり、仕切り（隔壁など）もないが、たとえば右側でイオン検出した後、左側でイオン検出をし、両方が汚れてきたら、まとめて質量分析室およびイオン検出室をクリーニングすることができるので、サイクルタイムを短くでき、また装置寿命を長くすることもできる。

【０２３５】

α１、α２は少しの角度があれば磁場による質量分析が可能であるが、イオン検出室の数が少ないこと、掃引可能な磁場が狭くなることなどから、α１、α２は３０度以上あることが望ましい。α１、α２は、４５度以上あればもっと良く、さらに、９０度以上あればかなり良く、１２０度以上であればさらに良く、１５０度以上になればもっと良く、１８

０度になれば本発明の能力を最大に利用している。引き出し電極・加速室６８３－１と質量分析室６８３－２の間に中央孔６９０－１を有する基板側壁（隔壁）があり、イオンビーム６８５はその中央孔６９０－１を通って質量分析室６８３－２へ入射する。質量分析室６８３－２の内部には磁場印加領域６８４があり、この領域では質量分析室６８３－２の上下方向（図２８（ｂ）の紙面方向）に磁場が印加されていて、入射したイオンビーム６８５はローレンツ力を受けて軌道を曲げられる。すなわち、m/(ze)=B2R02/2Vを満たすような軌道半径R0を描く。質量分析室６８３－２の周囲には、イオン検出室が多数配置されている。図２８（ｂ）では、周囲が矩形形状であり、右側に683-4-1-1～683-4-1-n、上側に683-4-2-1～683-4-2-m、左側に683-4-3-1～683-4-3-p、下側に683-4-4-1～683-4-4-qのイオン検出室が配置されており、イオン検出室数は全部でｍ＋ｎ＋ｐ＋ｑ個ある。たとえば、質量分析室の大きさが50㎜×50㎜、引き出し電極・加速室６８３－１の幅(６８２－ａ、ｂの幅を含む)が5㎜とすれば、イオン検出室のピッチ（イオン検出室の幅＋隔壁６８７の幅）が0.5㎜として、m=n=p=100、q=90となり、イオン検出室数は全部で390個となる。イオンビームの中に多数のイオン種があっても、１つの磁場および１つの加速電圧でも、それらのイオンはどれかのイオン検出室へ入るので、多数のイオン種の同定を１度に測定できる。さらに磁場や加速電圧をスキャンすることによっても多数のイオン検出室数を用いてその都度検出できるので、より正確で精密な分析ができる。図２８（ｂ）では質量分析室の空間（外側形状）を矩形形状としたが、他の形状、たとえば、多角形状、円形状にすることもできる。さらに曲げられたイオンの軌道に対してイオン検出室の入口が垂直になるような形状にすれば、多数のイオンの入射条件が同じとなるので、より正確で精密な分析を行なうことができる。尚、イオン検出室の入口と入射イオンの傾斜角は分かるので、計算で比較することもできる。また、磁場領域６８４を矩形形状にしているが、円形形状やその他の形状でも良い。このような質量分析室、磁場領域、多数のイオン検出室も同時に一挙に作製できる。しかもLSIプロセス（フォトリソ、エッチング、成膜、基板付着時の合わせ等）を用いているので、極めて正確で精度の高い質量分析装置を作製できる。従って、質量分析の精度は従来の装置に比べて格段に良くなる。さらに装置自体も非常に小さくなるので、真空系も小さくでき、質量分析装置全体のサイズも極めて小さくできる。

【０２３６】

上下部基板６９３、６９２がガラス基板や石英基板、アルミナ（Al2O3）基板、窒化アルミ（AlN）等の絶縁基板で、その間の基板６９１がシリコン基板等の半導体基板であるときは、本明細書の種々の所で説明した種々の方法で、空洞（貫通室）を形成し、空洞内部や上下部基板等へ絶縁膜、導電体膜、保護膜等を形成できる。さらに、空洞を形成しないでもコイルを形成できる。たとえば、シリコン基板または絶縁体基板上に絶縁膜および導電体膜を交互に積層し、都度導電体膜配線を円形または多角形型の配線にして、ビアで接続しながら多数巻コイルを作製すれば、高密度に多数の微小（内側径の小さな）コイルを作製できる。その基板を基板モジュール６９９－１として用いることもできる。また、高透磁率の強磁性体コアをコイルの中心に挿入することにより大きな磁場を発生できる微小コイルを高密度に作製できる。たとえば、その詳細は本発明者が発明した特許出願に記載されていて、それらを本発明のコイルに適用できる。（特願２０１０－２８５２１５）

【０２３７】

図２９は、質量分析室の別の実施形態である。本実施形態の質量分析装置は、二重収束型であり、電場を発生する電場セクターと磁場を発生する磁場セクターを有する。すなわち、本実施形態は、扇型電場室７１０および／または扇型磁場室７１１を有する質量分析室が、主基板７０１内の貫通室として形成され、それらの上下を上部基板７０２、および下部基板７０３が付着し気密空間になっている。図２９（ａ）は、基板面に平行な断面で示す平面図である。扇型電場室７１０は貫通室７０４（７０４－２）が扇型形状となっており、扇型形状となっている左右の主基板７０１の基板側面に導電体膜７０７（７０７－１、２）が形成され、これらの導電体膜電極７０７（７０７－１、２）の間に電圧が印加されることによって、イオンビーム７０９（破線で示す）の軌道が曲げられる。扇型電場室

７１０の貫通室７０４－２の隣室７０４－１は、たとえば、図１９における引き出し電極・加速室３０７やイオン化室３２５であり、その間は、中央孔７１２－１を有する隔壁（基板側壁）７０５－１で仕切られていて、イオンビーム７０９は中央孔７１２－１を通って扇型電場室７１０の貫通室７０４－２へ入射される。対面する２つの導電体膜電極７０７（７０７－１、２）を有する主基板７０１の側面に垂直な断面（A1－A2で示す）を図２９（ｂ）に示す。主基板７０１の上面および下面に上部基板７０２および下部基板７０３が付着していて、貫通室７０４－２があいている。貫通室７０４－２の側面は主基板７０１であり、上部基板７０２および下部基板７０３に対して略垂直となっている。貫通室７０４－２の両側面は絶縁膜７１３が形成され、その上に導電体膜７０７が積層されている。絶縁膜７１３および導電体膜７０７の形成法は本明細書の中で種々説明した方法で形成できる。

【０２３８】

たとえば、分割した主基板７０１を上部基板７０２または下部基板７０３に付着した後、貫通室７０４－２を形成する。このとき貫通室７０４－２の側面は略垂直となるように形成する。貫通室７０４－２の内面に絶縁膜７１３を形成し、さらにその上に導電体膜７０７を積層する。主基板７０１が絶縁基板のときは、絶縁膜７１３は必ずしも形成しなくても良いが、導電体膜７０７の密着性を向上するために形成しても良い。上部基板７０２や下部基板７０３は通常絶縁基板であるから、こちらの方も同様である。導電体膜７０７は、たとえば、Ｃｕ、Ａｌ、Ａｕ、Ｎｉ、Ｃｒ、Ｔｉ、Ｗ、Ｍｏ、Ｆｅ、Ｚｎ、シリサイド、導電性PolySi、導電性Ｃ、これらの積層体、これらの合金、または複合膜であり、ＣＶＤ法、ＰＶＤ法、メッキ法、電鋳法、これらの組合せで積層する。図２９（ａ）および（ｂ）に示すように、主基板７０１の側面側の両側にある導電体膜７０７はエッチング除去するが、全体にわたって形成しておくこともできる。さらに分割して形成することもでき、その場合は、個々の導電体膜電極に電圧を印加できるようにして、それぞれの電圧印加で平行平板電極（湾曲した）間の電界をコントロールして、イオンビームの精密な軌道を制御することもできる。

【０２３９】

主基板７０１を分割して上部基板側および下部基板側と別々に導電体膜７０７を積層した場合でも、電場室７０４－２を隔離する基板側壁７０５－１、２の表面および上部基板７０２の下面や下部基板７０３の上面にも導電体膜７０７は積層するので、フォトリソ法＋エッチング法を用いて、主基板７０１の側面側の必要な電極７０７－１、２や外側電極７１６および７１７と接続するための上部基板７０２の下面の配線７０７－３、４および下部基板７０３の上面の配線７０７－６などの必要な導電体膜を除去する。その後、導電体膜配線を保護する絶縁膜を積層し、基板接着する面の保護膜等をエッチング除去して、上部基板７０２側の主基板７０１と下部基板７０３側の主基板７０１を付着させる。（たとえば、一点鎖線７１８で示す位置で）このとき、上下の導電体膜同士を密着良く接続するために、導電体膜同士の接合部分にさらに導電体膜を積層しておいたり、低融点の金属を付着させて熱処理を加えて接合部分で合金化したりすれば良い。あるいは、導電性材料を分散させた接着剤を用いて、上下の主基板７０１を付着するときに圧力および熱をかけて上下の導電体膜を接続することもできる。さらに、上下の主基板７０１の間にガラス基板等を介して陽極静電結合するときに、導電体膜同士が接続する部分において、ガラス基板等の側面はもちろん上下面にも導電体膜を形成しておき、（このときも低融点金属を積層しても良い）この導電体膜の部分を熱圧着するという方法もある。さらに、上下同士を付着した後に、上部基板７０２または下部基板７０３に開口部を設けて、そこから選択ＣＶＤ用の気体を導入し、導電体膜部分だけにW等の金属を積層する方法や、メッキ液を導入し導電体膜部分だけにメッキ金属を積層する方法もある。開口した部分は、真空引き用の開口部に適用しても良いし、低融点ガラス等で開口部を塞ぎ貫通室７０４－２の真空維持に支障がないようにしておく。本発明では上下部基板に形成した電極（７１６、７１７）からそれぞれの主基板７０１の側面に形成した導電体膜電極７０７（７０７－１、２）に個別に電圧を印加できるので、仮に付着面で十分な接続がなされなくても上下の導電体膜

電極７０７－１または７０７－２の電位を同じにできる。従って、平行平板電極７０７－１と７０７－２の電界を一定にできる。尚、この方法は、本発明の全てに適用できる。

【０２４０】

上部基板７０２には上部基板７０２の下面に形成された導電膜配線７０７－３、４に接続するコンタクト孔７１４、このコンタクト孔７１４に導電膜を形成し、さらにこれと接続する外側電極７１６－１、２を上部基板７０２の上面に形成する。同様に、下部基板７０３には下部基板７０３の上面に形成された導電膜配線７０７－５、６に接続するコンタクト孔７１５、このコンタクト孔７１５に導電膜を形成し、さらにこれと接続する外側電極７１７－１、２を下部基板７０３の下面に形成する。この結果、外側電極７１６－１または７１７－１から平行平板電極７０７－１へ、外側電極７１６－２または７１７－２から平行平板電極７０７－２へ電圧を印加できる。

【０２４１】

別の製造方法として、上部基板７０２または下部基板７０３に導電体膜配線７０７－３、４、５、６を形成しておく。一方、主基板７０１に予め貫通室７０４－２を形成し、さらに絶縁膜７１３および導電体膜７０７－１、２を形成する。導電体膜７０７－１、２のパターニングも行なう。主基板７０１を別基板に付着させてからこれらの膜を形成しても良い。この別基板は後に取り離す。また、主基板７０１を分割して形成しても良い。次に、貫通室７０４－２および導電体膜パターン７０７－１、２を形成した主基板７０１を導電体膜配線７０７－３～６を形成した上部基板７０２または下部基板７０３にパターン合わせをして付着させる。別基板を使用した場合は別基板を分離する。この方法は、たとえば軟化性接着剤（一定温度以上で剥離可能）または低融点金属等で接着しておけば良い。その後、他方の基板（上部基板７０２または下部基板７０３）を付着させる。主基板７０１を複数に分割した場合は、主基板７０１同士を順番に付着させて最後または必要な時に上部基板および下部基板を付着させたり、上部基板または下部基板に主基板７０１を順番に付着させていく。その場合、間にガラス基板等を介しても良く、予めガラス基板等に貫通室および導電体膜パターンの形成も必要である。これらの場合、付着させた基板の貫通室内の導電体膜の接続を確実にするたびにメッキ法や選択ＣＶＤ法を用いて接続部へ導電体膜の積層するプロセスを入れても良い。この場合は、感光性膜等でパターニングしなくても選択的に導電体膜を形成可能である。導電体膜７０７をパターニング後、導電体膜７０７上に保護膜（絶縁膜）を積層することもできる。電極・配線７１６上に保護膜（絶縁膜）を積層し、必要な場所の窓開けを行なうこともできる。

【０２４２】

以上のようにして、平面図で扇型形状であり、垂直方向は基板面にほぼ垂直な形状に形成された主基板７０１の平行な２つの側面に形成された導電体膜７０７－１および７０７－２は間隔ｋを有する平行平板電極となっている。これらの電極７０７－１および７０７－２の間に電圧Ｖを印加すれば、この平行平板電極間にＥ＝Ｖ／ｋの電界が印加される。イオン７０９がこの平行平板電極の中央部に進んで来ると、イオンはこの電界Ｅにより力Ｆ＝ｑＥを受けて、軌道を曲げられる。（ｑはイオンの持つ電荷）電界Ｅは一定なのでこのイオンの軌道は円運動となる。この円軌道の半径をｒとすれば、$r = mv^2 / (qE)$である。ｍはイオンの質量、ｖはイオンの速度である。従って、イオンの速度、イオンの質量、電極間電圧、イオンの電荷によって、軌道半径ｒが異なる。平行平板電極から出るとイオンに対して力はかからないので、直進する。電場室７０４－２の隣にはイオン振り分け室７０４－３があり、ここで電場室７０４－２の中心軌道である半径ｒ0の円軌道を通ってきたイオンが通るように、中央孔７１２－３を有する基板側壁７０６が配置されている。

【０２４３】

電場室７０４－２とイオン振り分け室７０４－３の間は中央孔７１２－２を有する基板側壁７０５－２で仕切られており、電場室７０４－２を出たイオンは中央孔７１２－２を通ってイオン振り分け室７０４－３へ入る。電場室７０４－２の中心軌道である半径ｒ0の円軌道を通ってきたイオンは、基板側壁７０６の中央孔７１２－３を通るようになってい

る。すなわち、電場室７０４－２の中心軌道である半径ｒ0の円軌道を通ってきたイオン（中心軌道イオン１）が平行平板電極を出るときの方向に基板側壁７０６の中央孔７１２－３が配置されている。他の軌道を通るイオンは、基板側壁７０６の中央孔７１２－３を通れず、基板側壁７０６の側壁や主基板７０１の側面や上部基板または下部基板に衝突する。すなわち、基板側壁７０６の中央孔７１２－３の孔のサイズをそのように調整する。イオン振り分け室７０４－３において、基板側壁７０６の左側の貫通室を７０４－３－１、右側の貫通室を７０４－３－２とすると、左側の貫通室７０４－３－１では中心軌道イオン１以外のイオンも存在するが、右側の貫通室を７０４－３－２には中心軌道イオン１のイオンだけが存在する。（もちろん、少しは漏れて別のイオンが入り込む場合もある。）電場室７０４－２とイオン振り分け室７０４－３を仕切る基板側壁７０５－２はなくても良いが、これを設けることにより、ある程度の別イオンもこの基板側壁７０５－２で遮ることができる。また、電場室７０４－２とイオン振り分け室７０４－３を別々に真空引きでき、クリーニングもできる。また、イオン７０９は中心軌道を通るだけではなく、ある程度の広がりを持っているので、それらのイオンも電場により力を受けて半径ｒ0の円軌道を描くものがあるので、それらのイオン（広がり中心軌道イオン１）も中心軌道イオン１と同種のイオンであるから、その広がり中心軌道イオン１もできるだけ右側の貫通室７０４－３－２に入るように、基板側壁７０６の中央孔７１２－３の位置を取る。たとえば、平行平板の中心軌道半径ｒ0の中心とイオン７０９の広がる直前の位置とを結ぶ線上に基板側壁７０６の中央孔７１２－３が配置されるようにする。また、平行平板電極を９０度の扇型形状となるようにして、その扇型形状の電極室７０４－２に接続するように隣室７０４－１および７０４－３を配置する。このような配置により、基板側壁７０６の中央孔７１２－３の位置付近に広がり中心軌道イオン１の収束点（静電場の収束点（面））が来るので、殆どの中心軌道イオン１は扇型磁場室７０４－４へ入れることができる。また、基板側壁７０５－２の中央孔７１２－２のサイズは基板側壁７０６の中央孔７１２－３のサイズよりも大きく取り、広がり中心軌道イオン１もイオン振り分け室７０４－３に入れるようにする。

【０２４４】

ただし、上記の方法では、ある狭い範囲の運動エネルギーを持つイオン（中心軌道イオン１）を通過させることができて、分解能を高めることはできるが、このスリット（中央孔）により他のイオンの大部分を除去することになるので、イオン検出感度が悪くなる。そこで、この静電場の収束点（面）から少しずらした所にスリット（中央孔）をおいて他のイオンも通すようにすることもできる。このことはスリット（中央孔）のサイズを調節して行なうこともできる。

振り分けられたイオン（中心軌道イオン１）は振り分け室７０４－３－２へ入りさらにその隣室の扇型磁場室７０４－４へ入射する。扇型磁場室７０４－４と振り分け室７０４－３－２の間には中央孔７１２－４を有する基板側壁７０５－３があり、中心軌道イオン１は中央孔７１２－４を通る。基板側壁７０５－３はなくても良いが、これを設けることによって、振り分け室７０４－３－２と扇型磁場室７０４－４を別々に真空引きでき、それぞれ所定の圧力に設定できる。尚、圧力を測定するには、上部基板または下部基板に開口部を設けて、圧力センサを接続すれば良い。また、クリーニング、パージも別々にできる。温度センサも設置すれば測定器の温度状態を把握できる。

【０２４５】

扇型磁場室７０４－４の上部および／または下部には磁場装置が配置され、基板面に対して垂直方向に扇形磁場７０８が印加される。磁場室７０４－４は、横方向において２つの扇型側面に挟まれ、上下方向において上部基板７０２と下部基板７０３に挟まれた貫通室である。扇型磁場と言っても扇型形状である必要はなく、扇型磁場室７０４－４の必要な領域７０８に垂直方向磁場が一様に印加されていれば良い。この扇型磁場室７０４－４の構造については既に単独の扇型磁場室である図２７に示すものと同様で良い。たとえば、Ｃ型電磁石やＨ型電磁石や窓枠型電磁石、あるいは円筒型電磁石、角柱型電磁石等で扇型磁場室７０４－４の上部および下部を挟んでも良い。この場合、磁場室７０４－４の上部

または下部に面した側の電磁石表面と対向する側の電磁石表面の極性は逆になっている。本発明の扇型磁場室７０４－４の厚み（高さ、または縦方向深さ）は、非常に薄く、しかもその厚みのバラツキを非常に小さくできるので、電磁石の強さを小さくでき、その結果として電磁石の大きさを小さくできる。また、扇型磁場室７０４－４の幅（横方向幅）も非常に小さくでき、しかもそのバラツキを非常に小さくできるので、電磁石の横方向サイズも小さくできる。もちろん、これまで述べたように大きなサイズのものも作製できる。

【０２４６】

図２９（ｃ）は、磁場室７０４－４の上下部基板７０２、７０３上にコイルを搭載したモジュール基板６９９－１および６９９－２を付着させた図で、図２９（ａ）のＢ１－Ｂ２断面を示す図である。この状態は、図２７（ｃ）と同様である。モジュール基板６９９－１のコイル６９５の上部基板７０２側のコイル面の極性と、モジュール基板６９９－２のコイル６９５の下部基板７０３側のコイル面の極性は逆である。これはコイルの巻き方や電流の流す向きを変更することによって簡単に設定できる。コイル６９５の軸は主基板７０１、上部基板７０２や下部基板７０３の基板面に対して垂直方向になるように配置する。すなわち、コイル６９５の軸はモジュール基板６９９の上下部基板６９２、６９３やコイル内蔵基板６９１の基板面に対して垂直に配置し、この結果コイル面（コイル配線の巻き線面）はモジュール基板６９９の上下部基板６９２、６９３やコイル内蔵基板６９１の基板面と平行となるように配置される。そして、モジュール基板６９９の上下部基板６９２、６９３やコイル内蔵基板６９１の基板面が、磁場室７０４－４のある主基板７０１、上下部基板７０２、７０３の基板面と平行となるように配置する。この結果、上下コイルで発生した磁場は磁場室７０４－４の上下方向に磁場が発生し、この磁場室７０４－４を通るイオン７０９に対して直角方向に磁場が印加される。

【０２４７】

基板側壁７０５－３の中央孔７１２－４を通ったイオン７０９は、磁場室７０４－４において磁場印加領域７０８で一様磁場を受けて曲げられて円軌道となり、磁場印加領域７０８を出ると直進運動をする。磁場室７０４－４の隣にはイオンドリフト室７０４－５があり、その後コレクタースリットである基板側壁の中央孔を通ってイオン検出室に入る。磁場室７０４－４とイオンドリフト室７０４－５との間には中央孔７１２－５を有する基板側壁７０５－４があり、ある程度のイオンを振り分ける。イオンドリフト室７０４－５ではイオン７０９は直進運動し、コレクタースリットでイオンが収束するようにコレクタースリットが配置される。このように、静電場と磁場内で速度分散の方向が反対で、かつ分散の幅が等しくなるように、電場室および磁場室、電場領域（平行平板電極が配置される領域）および磁場領域（磁場が印加される領域）、各種貫通室を配置することによって、イオン検出の感度および分解能を高めることができる。場合によってはイオンドリフト室７０４－５とイオン検出室を兼用することもできる。

【０２４８】

図３０は、単収束扇型磁場アナライザーおよび二重収束扇型磁場アナライザーの１つの設計指針を示した図である。これらは一般的な指針から導き出されるものではあるが、これらの設計指針は本発明の基板を用いたアナライザーにも適用できる。図３０（ａ）は単収束扇型磁場アナライザーの設計指針を示す図である。主基板内にイオン化室７２２－１、イオンドリフト室Ａ７２２－２、磁場アナライザー室７２２－３、イオンドリフト室Ｂ７２２－４、およびイオン検出室７２２－５を含んでいる。イオン化室７２２－１とイオンドリフト室Ａ７２２－２は中央孔７２３－１を有する基板側壁７２１－１で仕切られていて、イオン化室７２２－１で発生したイオンは基板側壁７２１－１の中央孔７２３－１から広がって拡散して進んでいく。基板側壁７２１－１は引き出し電極も兼ねている場合、ここでイオンは加速して進んでいく。この後に中央孔を有する基板側壁で加速することもできる。イオンの広がりの起点である基板側壁７２１－１の中央孔７２３－１の位置をＰ１としたとき、この点から種々のイオンは加速されて広がる。質量電荷比ｍ／ｚが同じイオンでも種々の角度を持って進んでいく。たとえば、中央を進んでいくイオン７２５－１、外側に膨らんで進んでいくイオン７２５－２（点線で示す）、内側に進んでいくイオン

７２５－３等である。イオンドリフト室Ａ７２２－２は加速されたイオンが直進して進んでいく領域である。イオンドリフト室Ａ７２２－２と磁場アナライザー室７２２－３は中央孔７２３－２を有する基板側壁７２１－２で仕切られていて、個別に真空引きやクリーニング、パージができる。基板側壁７２１－１の中央孔７２３－１から出たイオンは広がっているので、基板側壁７２１－２の中央孔７２３－２のサイズは基板側壁７２１－１の中央孔７２３－１のサイズより大きくしてイオンを通り易くする。場合によっては、基板側壁７２１－２はなくても良い。

【０２４９】

磁場アナライザー室７２２－３には磁場領域７２４があり、垂直磁場が印加されているので、この領域にイオンが入ると円軌道で進む。所定のイオン７２５－１の円軌道半径をＲ0としたとき、ｍ／ｚが同で広がりを持って磁場領域７２４に入ったイオン７２５－２、３もR0の円軌道で進む。磁場領域７２４を出るとイオンは直進し、隣室イオンドリフト室Ｂ７２２－４に入る。磁場アナライザー室７２２－３とイオンドリフト室Ｂ７２２－４は中央孔７２３－３を有する基板側壁７２１－３で仕切られている。中央孔７２３－３は広がったイオン７２５－２、３も通るようなサイズにしておく。ｍ／ｚが同じ広がったイオン７２５－１、２、３は収束点Ｐ３に集まる。この収束点Ｐ３に中央孔７２３－４を有する基板側壁７２１－４を配置しておけばｍ／ｚが同じ広がったイオン７２５－１、２、３のみを通すことができる。他のイオンは基板側壁７２１－４の壁、主基板７２１の側面、上部基板や下部基板に衝突する。従って、イオンドリフト室Ｂ７２２－４は汚れるので、真空引きを行なうとともに、クリーニングやパージも適宜行なうことが望ましい。そのためにイオンドリフト室Ｂ７２２－４の上部基板や下部基板に開口部を設けて、その開口部を通じて行なう。

【０２５０】

イオンドリフト室Ｂ７２２－４の汚れを問題にしなければ、基板側壁７２１－３はなくすこともできる。イオンドリフト室Ｂ７２２－４の隣にはイオン検出室７２２－５があり、イオンドリフト室Ｂ７２２－４とイオン検出室７２２－５は中央孔７２３－５を有する基板側壁７２１－５で仕切られているが、収束点Ｐ３を通ったイオンは再び広がっていくのでそれらのイオンを遮らないように中央孔７２３－５のサイズを調整する必要がある。場合によっては、基板側壁７２１－５をなくし、収束点Ｐ３付近に配置される基板側壁７２１－４を出た直後にイオン検出室を配置しても良い。この基板側壁７２１－４はコレクタースリットと呼んでも良い。磁場領域７２４内の磁場アナライザー室７２２－３の中央付近を通る中央軌道イオン７２５－１の円軌道半径R0の中心点をＰ２としたとき、イオンの広がり起点Ｐ１とＰ２、収束点Ｐ３は一直線上（ｍ上）にあるので、そのように各貫通室を配置していけば良い。また、扇型磁場領域７２４は、Ｐ２を中心にして中心角αを持つように配置する。このαは３０度～１８０度で任意に設計できるが、図３０ではα＝９０度として記載している。このときは、イオンドリフト室Ａとイオンドリフト室Ｂは９０度の角度をなすように配置される。扇型磁場領域７２４ではイオンは円軌道を描き、前述した様に、$mv^2/R0=Bzev$、ここで、$1/2mv^2=zeV$（Ｖは加速電圧）を満足するように各室を設計すれば良い。前述した様に、各室の幅は、１００μｍ～１ｍｍ～２０ｍｍ、あるいはそれ以上にすることもできる。また、各室の高さは主基板の厚みで決まり、１００μｍ～１ｍｍ～２０ｍｍ、あるいはそれ以上にすることができる。基板側壁の厚みも１０μｍ～１００μｍ～１ｍｍ、あるいはそれ以上に適宜設定できる。中央孔のサイズも１０μｍ～１００μｍ～１ｍｍ～１０ｍｍ、あるいはそれ以上に設定できる。各室の長さはイオンの速度に応じて設定すれば良い。主基板としてＳｉウエハを用いる場合、現在の最大Ｓｉウエハは単結晶で４５０ｍｍであるが、本発明では多結晶やアモルファスも使用できるので、１０００ｍｍ四方のＳｉウエハ（基板）も使用できるので、このサイズに合わせて全体を構成すれば良い。さらに、本発明は縦方向に貼り合わせて作製できるので、所望の厚みのものを作製できるが、横方向についても貼り合わせ技術を用いることによって大きなサイズの質量分析装置を作ることができる。たとえば、各室を別々に作りそれらを横方向につなげていけば良い。さらに各室を分割してそれらをつなげていく

ことも可能であるから、所望の大きなサイズの質量分析装置を作製できる。これも本発明の他のものにも言えることだが、各室を分割して接続するシステムなら、各室を取り替えることも比較的容易にできる。たとえば、不具合のでた貫通室を交換したり、もっと性能の良い貫通室や異なる性能を持つ貫通室に交換することもできる。その場合、接続部に低融点合金や樹脂やプラスチックを用いて接着しておけば、交換も容易である。あるいは、接続部は付着せずに接続部から少し離れた外側の基板の所で別部材で押さえたり付着して接続部を別部材で囲んでおけば気密性も確保でき交換も容易である。あるいは、その外側の基板の所で別部材とシール材を挟んで気密性を確保することもできる。たとえば、電場室と磁場室を交換したりすることも可能となる。

【０２５１】

図３０（ｂ）は、静電場アナライザーおよび磁場アナライザーを有する二重収束扇型アナライザーの設計指針を示す図である。この二重収束扇型アナライザーも主基板７３１内に形成されイオンビームが通る領域は主基板７３１内に形成された貫通室であり、それらの貫通室において、上部が上部基板で、下部が下部基板が主基板に付着しており、各貫通室は上部基板および／または下部基板に備わる開口部を通して真空引きされ、所定の圧力に設定される。各貫通室は中央孔を有する基板隔壁で仕切られ、イオンビームはその基板隔壁の中央孔を通り各貫通室に入射する。図３０（ｂ）に示す質量分析装置は、イオン源を含むイオン化室７３２－１、イオンドリフト室Ａ７３２－２、静電場アナライザー室７３２－３、イオンドリフト室Ｂ７３２－４、磁場アナライザー室７３２－５、イオンドリフト室Ｃ７３２－６、イオン検出室７３２－７を含み、これらの各貫通室の間に中央孔７３３－１を有する基板隔壁７３１－１、中央孔７３３－２を有する基板隔壁７３１－２、中央孔７３３－３を有する基板隔壁７３１－３、中央孔７３３－４を有する基板隔壁７３１－４、中央孔７３３－５を有する基板隔壁７３１－５、中央孔７３３－６を有する基板隔壁７３１－６、中央孔７３３－７を有する基板隔壁７３１－７が配置され、各貫通室を仕切っている。イオンはイオン化室７３２－１で発生し、加速電極を兼ねた基板側壁７３１－１の中央孔７３３－１から加速されて広がる。この起点Ｐ１ではイオンは収束しているが、イオンドリフト室Ａ７３２－２でイオンは広がり、基板側壁７３１－２の中央孔７３３－２を通って、静電場アナライザー室７３２－３へ入射する。静電場アナライザー室７３２－３では、中心が半径r0の扇型形状をした平行な貫通室側面に形成された平行平板電極７３４－１および７３４－２による電界によりイオンは円運動をする。その運動方程式は$mv^2/r=zeE$である。（中心を通るイオンでは$mv^2/r0=zeE$）である。）起点P1にある中央孔７３３－１から出たイオンは広がりを持って進んでいき、静電場アナライザー室でそれぞれの運動エネルギーに応じて円軌道を取る。同じ運動エネルギーを持つイオンは同じ円軌道半径を有する。静電場アナライザー室７３２－３で軌道を曲げられたイオンは基板側壁７３１－３の中央孔７３３－３を通り隣室のイオンドリフト室Ｂ７３２－４へ入る。

【０２５２】

中心を通るイオン７３６－１と同じ運動エネルギーを持つイオンは、平行平板電極の曲率中心点Ｐ２としたとき、Ｐ１とＰ２を結ぶ線ｍと中心を通るイオン軌道７３６－１と交わる点Ｐ３に収束する。この収束点Ｐ３に収束スリットを設けて収束したイオンだけを通すようにすれば分解能を高くすることはできるが、同じｍ／ｚを有するイオン（７３６－４、５）も除去することになるので、イオン検出感度は低下してしまう。たとえば、基板側壁７３１－４の中央孔７３３－４を狭めて収束点Ｐ３に配置すれば、広がったイオン７３６－４や７３６－５も除去される。そこで、イオンドリフト室Ｂ７３２－４の中にある基板側壁７３１－４の位置をＰ３点よりも後方側に配置し、その中央孔７３３－４も広げておくことによって、広がったイオン７３６－４や７３６－５や収束したイオン７３６－１、２，３を通すことができる。基板側壁を備えておけば独自に真空引きやパージ、クリーニングができるが、イオンを通過させる目的では、省略することもできる。広がったイオン７３６－１～５は基板側壁７３１－５の中央孔７３３－５を通って磁場アナライザー室へ入射し磁場領域７３５で磁場によるローレンツ力を受けて円運動する。中心軌道を円運動するイオンの軌道半径をＲ０とすれば、mv２/R0＝zevBが成り立つ。同じm/zを持ち広が

りを持ったイオン７３６－１～５は同じ半径Ｒ０の円軌道を描き、磁場領域７３５から出ると収束点Ｐ４で収束する。その収束点Ｐ４にコレクタースリットとなる中央孔７３３－７を有する基板側壁７３１－７を配置すれば、その中央孔７３３－７を通るイオンは同じｍ／ｚを持つイオンとなる。磁場アナライザー室７３２－５の隣室７３２－６はイオンドリフト室Ｃで、特定のm/zを有するイオンの収束点までイオンは等速運動する。コレクタースリットである中央孔７３３－７を通れなかったイオンは基板側壁７３１－７の壁や主基板７３１の側面等に衝突する。これらによって生じた気体や粉末等はイオンドリフト室Ｃにある真空引きラインで排出されたり、クリーニング時やパージ時に外部へ排出される。コレクタースリットである中央孔７３３－７を通ったイオンはイオン検出室７３２－７へ入りイオン検出器で測定される。

【０２５３】

扇型形状の平行平板型電極の中心角αは通常９０度にすると設計しやすい。すなわち、イオンドリフト室Ａ７３２－２とイオンドリフト室Ｂ７３２－４を９０度になるように設計すれば良い。しかし、これに特定することなく、αは３０度～１２０度の範囲内で設定すれば良い。また、扇型形状の磁場領域７３５の中心角βも３０度～１８０度の範囲内で設計すれば良い。本発明はマスク投影で種々のサイズや形状で簡単に作製可能であるが、主基板の大きさに依存するので、最適なレイアウトをすれば良い。イオン検出室７３２－７の大きさも自由に設定できるので、イオン検出器を複数並べることもできる。（アレイ検出器等）この二重収束型アナライザーは、磁場の前に電場があるタイプ（Nier－Jhonson型）であるが、これと逆に磁場を電場の前においても良い。あるいは磁場を２つ並べて配置することも簡単にできる。しかも一括して作製できるのでコストアップは殆どない。さらに四重極アナライザーやイオントラップ型や飛行時間型（TOF）やFTICR（フーリエ変換イオンサイクロトロン共鳴型）との組み合わせも自由にできる。

【０２５４】

本発明はＦＴＩＣＲ（Fourier transform－ion cyclotron resonance、フーリエ変換イオンサイクロトロン共鳴）にも適用できる。図３１は、本発明のＦＴＩＣＲを示す図である。図３１（ａ）は基板面に対して垂直な方向のイオンの進行方向（磁場方向）の断面図である。図３１（ｂ）は基板面に対して垂直な方向のイオンの進行方向（磁場方向）と垂直方向の断面図である。主基板７５１内にイオン源室７５４－１、ＩＣＲ室７５４－２が形成される。これらの貫通室の上部および下部は主基板７５１に上部基板７５２および下部基板７５３が付着している。イオン源室７５４－１およびＩＣＲ室７５４－２の間に中央孔７６５を有する基板側壁７５１－１があり、イオン化室で発生したイオン７５０－１は引き出し電極を兼ねる基板側壁７５１－１の中央孔７６５を通ってＩＣＲ（イオンサイクロトロン共鳴）室７５４－２へ導入される。ＩＣＲ室７５４－２は、イオンの進行方向に対して基板側壁７５１－１（中央孔７６５を有する）およびこれと対向する主基板の側面７５１－２で囲まれ、側面側は主基板７５１の基板側壁７５１－４（中央孔等はあいていない閉じた側面）と主基板７５１の基板側壁７５１－５（中央孔等はあいていない閉じた側面）とで囲まれ、上下側は上部基板７５２および下部基板７５３に囲まれている。

【０２５５】

ＩＣＲ室７５４－２内では、対向トラップ電極Ａ７５５－１、３（基板側壁７５１－１上に形成された導電体膜７５５－１、３）｝およびトラップ電極Ｂ７５６－１（基板側壁７５１－２上に形成された導電体膜７５６－１）、対向イオン励起電極Ａ７５８上部基板７５２上に形成された電極７５８）およびイオン励起電極Ｂ７５７（下部基板７５３上に形成された電極７５７）、レシーバー電極Ａ７５６－２（基板側壁７５１－４上に形成された導電体膜７５６－２）、レシーバー電極Ｂ７５６－３（基板側壁７５１－５上に形成された導電体膜７５６－３）が形成されている。主基板の側面７５１－２、４、５、および基板側壁７５１－１は主基板７５１の基板面、上部基板７５２の基板面、下部基板７５３の基板面に対してほぼ垂直な主基板側面である。従って、対向するトラップ電極Ａ、Ｂや対向するレシーバー電極Ａ、Ｂや対向するイオン励起電極Ａ，Ｂはそれぞれ平行平板電極となっている。各導電体膜電極には内部配線７５９（７５９－１、２）や７６４（７６４

－１、２）を通して、あるいは直接にコンタクト孔７６０や７６１を通して外側電極７６２（７６２－１、２、３）や７６３（７６３－１、２、３）に接続し、外部から電圧をかけたり、あるいは内部で発生した電流や電圧を検出することができる。

【０２５６】

イオン源室７５４－１から基板側壁７５１－１の中央孔７６５を通して進入したイオン７５０－１は、対向するトラップ電極ＡおよびＢ間に印加したＤＣ電圧によりイオン７５０－１はトラップ電極Ａ７５５－１、３からトラップ電極Ｂ７５６－１の方へ進む。磁場Ｂがトラップ電極ＡおよびＢに対して垂直方向に印加されており、また対向するイオン励起電極Ａ７５８およびイオン励起電極Ｂ７５７の間に印加される高周波電圧（振動数ω）によって、ＩＣＲ室７５４－２内でイオン７５０－１はサイクロトロン運動をし、コヒーレントなイオン集団を形成する。このとき、ω＝ｋ×（ｚｅＢ／ｍ）が成り立つ。このイオンサイクロトロン（ＩＣＲ）運動によって、イオン量検出用のレシーバー電極Ａ７５６－２およびレシーバー電極Ｂ７５６－３の間に誘起電流を生じる。この誘起電流の各成分の振動数はＩＣＲの振動数ωと同じで、すなわちイオンの質量ｍに関係する。この誘起電流を時間に対応するシグナルとして検出し、ぞの信号を増幅しデジタル化して、フーリエ変換することによって、振動数に対するスペクトルへ変換する。本発明のＦＴＩＣＲは非常に小さなサイズであるから、外部磁場Ｂも小さくて済み、電磁石も小さなもので済む。さらに超伝導磁石を用いる場合でもサイズが小さいので超低温に冷却する体積を小さくできる。また小さなサイズのコイルの内部に配置することも簡単にできる。

【０２５７】

次に、図３１に示すタイプのＦＴ－ＩＣＲ型質量分析装置のプロセスについて説明する。主基板７５１を分割して中央孔７６５についてフォトリソ法およびエッチング法を用いて中央孔７６５を形成する。次に主基板７５１に、除去すべき部分を窓開けして貫通孔７５４（７５４－１、２）を形成する。この貫通孔７５４（７５４－１、２）はボッシュ法等やDRIE法等を用いて垂直エッチングを行なう。主基板７５１がSi等の半導体基板または導電体基板の場合はショートしないように、基板側壁７５１－１の周囲表面、主基板７５１の側面（７５１－２、３、４、５）に絶縁膜（記載せず）を形成後導電体膜７５５、７５６を積層し、所定のパターニングをして導電体膜電極・配線７５５－１、７５６－１、２、３等を形成する。感光性膜の形成は感光性シートの付着や塗布法、あるいは電着法を用い、露光は斜め露光法、斜め回転露光法、あるいは焦点深度の大きい露光法等で行なうことができる。エッチングはウエットエッチやドライエッチングで導電体膜をパターニングできる。上部基板７５２に予め導電体膜電極パターン７５８、７５９（７５９－１、２）等を形成しておき、また下部基板７５３に予め導電体膜電極パターン７５７、７６４（７６４－１、２）等を形成しておき、分割した主基板７５１を上部基板７５２および下部基板７５３に付着させる。このとき、主基板７５１には貫通孔７５４や導電体膜パターンが形成されているので、それらのパターンに合うように、上部基板７５２および下部基板７５３のパターンを合わせる。接着剤を用いて付着させることもできるし、拡散接合、高温接合や常温接合を用いることもできる。主基板７５１がSi等の半導体基板や導電体基板であり、上部基板および下部基板がガラス基板や石英基板、サファイヤ、アルミナ基板等である場合は静電陽極接合を使うこともできる。

【０２５８】

次に、上部基板および下部基板の導電体膜パターンと主基板側の導電体膜パターンとの接続を確実に行なうために、この後導電体膜の積層を行ない、再度パターニングして特に接続部に導電体膜を形成しても良いし、あるいはメッキ法や選択CVD法等の選択導電体膜形成法を用いて導電体膜パターンのみに導電体膜を積層しても良く、この場合は再度のパターニングは不要である。導電体膜パターンの形成後保護膜として絶縁膜を形成することもできる。次に分割した主基板７５１同士を付着させる。特に基板側壁７５１－１と３、７５１－２、４、５同士をアライメントして貫通孔７５４（７５４－１、２）を一致させる。この付着も前述の方法を使用できる。主基板７５１がSi等の半導体基板や導電体基板であるときは、ガラス基板等を間に介在すれば静電陽極接合を使うこともできる。

【０２５９】
このときは、間に挟むガラス基板等も貫通孔等の部分を予め形成しておき、パターニング合わせをしながら付着させる。これらを何回か繰り返せば、所定の深さ（高さ）を有する貫通孔を形成できる。その後、上部基板７５２および下部基板７５３にコンタクト孔７６０、７６１を形成し、コンタクト孔内へ導電体膜を積層し（メッキ法、CVD法、PVD法、選択CVD法、導電体膜ペーストの塗布法等を用いて積層できる）する。次に、上部基板７５２および下部基板７５３のコンタクト孔７６０、７６１部分や所定の場所に電極・配線７６２（７６２－１、２，３等）、７６３（７６３－１、２，３等）を形成する。この後、保護膜等を形成し窓開けしても良い。この結果、電極７６２－１、７６３－２はトラップ電極７５５、７５６－１へ接続し、電極７６２－２、７６３－１はイオン励起電極７５８、７５７へ接続し、電極７６２－３、７６３－３はレシーバー電極７５６－２、７５６－３へ接続する。尚、磁場Ｂはトラップ電極７５５、７５６－１に対して垂直に印加し、イオン励起電極７５８、７５７とレシーバー電極７５６－２、７５６－３は互いに交換することもできる。
【０２６０】
上記のプロセスでは、主基板７５１に中央孔７６５の形成、貫通孔７５４の形成は主基板単独で形成しているかのように記載している。特に貫通孔７５４の形成や導電体膜の形成は下地を考慮することがないのでエッチングが簡単である（オーバーエッチングや下地への積層を考慮する必要がない）。しかし、主基板７５１に下地基板を付着させてから、中央孔や貫通孔や膜積層やパターニングを行なうこともできる。この場合は、下地基板は上部基板や下部基板を付着させてから取り外す。同様に、主基板７５１に上部基板や下部基板を付着させてから中央孔や貫通孔や膜積層やパターニングを行なうこともできる。この場合は、上部基板や下部基板を取り外す必要はない。また、上部基板や下部基板に予め形成している導電体膜電極・配線パターン７５７、７５８、７５９、７６４を形成せずに、上部基板や下部基板を主基板に付着させて、その後貫通孔を形成し、絶縁膜、導電体膜を形成するが、この導電体膜は上部基板や下部基板にも形成できるので、これを導電体膜電極・配線パターン７５７、７５８、７５９、７６４とすることができる。あるいは、主基板単独を用いて、導電体膜電極・配線パターン７５７、７５８、７５９、７６４が配置される部分の主基板の部分に凹部を形成し、その主基板の凹部に導電体膜電極・配線パターン７５７、７５８、７５９、７６４を形成した上部基板、下部基板を合わせて主基板に付着させて、その後で貫通孔形成、絶縁膜、導電体膜形成を行なうこともできる。この場合は、主基板側の導電体膜形成時に上部基板、下部基板の導電体膜電極・配線パターン７５７、７５８、７５９、７６４との接続が行なわれる。このような予め上部基板、下部基板に導電体膜電極・配線パターン７５７、７５８、７５９、７６４を形成する方法は、導電体膜電極・配線パターン７５７、７５８、７５９、７６４を厚く強固な膜を形成できるので、高周波電圧が印加されるイオン励起電極としての信頼性を高めることができる。
【０２６１】
図３２は、ＩＣＲ室のサイズを大きくする場合の構造を示す図である。これは他の質量分析装置の種々の貫通室のサイズを大きくする場合にも適用できる。第１の主基板７５１に貫通室７５４－１、７５４－２、中央孔７６５（７６５－１）を有する基板側壁（隔壁）７５１－１等を形成する。ＩＣＲ室となる貫通室７５４－２の上面にある上部基板７５２、下部にある下部基板７５３は除去する。この除去は主基板７５１に上部基板７５２や下部基板７５３を付着する前にくり抜いても良いし、付着した後にくり抜くこともできる。この上部基板７５２や下部基板７５３のＩＣＲ室に対応する部分のエッチングは垂直エッチングが望ましい。また、上部基板７５２および下部基板７５３をくり抜いた部分の側面には導電体膜７６７（７６７－１、２、３、４）、７６８（７６８－１，２、３，４）を積層する。これらが半導体基板や導電体膜である場合にはショートを防止するために絶縁膜を形成し、その後導電体膜を形成する。上部基板７５２および下部基板７５３の表面にも導電体膜が形成される場合には、フォトリソ法およびエッチング法を用いて表面の導電体膜は除去し繰り抜いた部分の側面にのみ導電体膜を形成することが望ましい。

【０２６２】
上部基板７５２および下部基板７５３を主基板７５１に付着させてから上部基板７５２および下部基板７５３をくり抜く場合、主基板７５１の貫通孔７５４を形成した後、貫通孔７５４をマスク（窓）として上部基板７５２および下部基板７５３をエッチングすることができる。その後、絶縁膜、導電体膜を形成し、必要なパターニングをすることによって、上部基板７５２および下部基板７５３をくり抜いた部分の側面には導電体膜７６７（７６７－１、２、３、４）、７６８（７６８－１，２、３，４）のパターンを形成することができる。このとき、主基板７５１の貫通孔７５４－２の周囲の側面にも導電体膜は形成される。必要ならメッキ法や選択ＣＶＤ法を用いて、特に接続部に導電体膜を厚く形成しても良い。この後、順次第２下部基板７７３を第１の上部基板７５２へ付着し、繰り抜いた部分からその下の第２下部基板７７３をエッチング除去し、さらに第２の主基板７７１を付着させて、繰り抜いた部分からその下の第２主基板７７１をエッチング除去し、貫通室７７９を形成し、さらにその貫通室の側面に導電体膜７７４（７７４－１、２、３，４）を形成する。次に、既に導電体膜７７６（７７６－１、２、３、４、５）のパターンを形成した第２の上部基板７７２を付着させて、導電体膜の接続部分は必要ならメッキ法、選択ＣＶＤ法等を用いて導電体膜で接続を確実にする。その後、貫通室内部の導電体膜上に保護膜を被せても良い。また、第２の上部基板にコンタクト孔７７７、その中に導電体膜を形成し、さらに導電体膜電極・配線パターン７７８（７７８－１、２、３、５）を形成する。第２の主基板７７１の貫通室７７９の内面に導電体膜を積層する前に第２の上部基板７７２を付着させて、その後導電体膜を積層し、導電体膜パターン７７４（７７４－１，２、３、４）および導電体膜７７６（７７６－１、２、３、４、５）のパターンを形成しても良い。

【０２６３】
分割した主基板７５１側も同様のプロセスで順次付着と膜形成およびパターン形成を行ない、第３の上部基板７８２の付着、その後の上部基板７８２のくり抜きエッチング、さらに第３の主基板７８１の付着、貫通室７８９野形成、その後の膜形成およびパターン形成、第３の下部基板７８３の付着、その後の膜形成、パターニング等のプロセスを経て形成した、下側のＩＣＲ室を形成する。このような２つの上側ＩＣＲと下側ＩＣＲを付着させて、図３１に示すＦＴ－ＩＣＲ質量分析装置を作製できる。

【０２６４】
上記は、順次基板を付着させたが、各基板で別々に貫通室を作製し、それらを付着させても作製できる。第２の主基板７７１内に貫通室７７９を形成して第２の下部基板７７３を第２の主基板７７１に付着し、第２の下部基板７７３もくり抜いておく。また第２の上部基板７７２もそれらに付着する。導電体膜７７４（７７４－１、２、３、４）、導電体膜７７５（７７５－１、２、３、４）、導電体膜７７６（７７６－１、２、３、４、５）も形成する。この形成方法は第１主基板７５１、第１上部基板７５２、第１下部基板７５３で行なった方法と同様である。尚、第２上部基板７７２のコンタクト孔７７７やその中の導電体膜形成、電極・配線パターン７７８（７７８－１、２、３、４、５）は予め形成しておき、その第２上部基板７７２を第２主基板７７１に付着させても良い。このような貫通室７５４をくり抜き、その内面に導電体膜パターンを形成した第１主基板（または、その分割した上側）の上側の上部基板（第１上部基板）７５２を、同じく貫通室７７９をくり抜いた第２主基板７７１の第２下部基板７７３に付着させる。付着には接着剤や常温接合法、拡散接合法、高温接合法等を使用することができる。第１上部基板７５２がガラス基板や石英等の絶縁体基板であり、第２下部基板７７３がＳｉ基板等の半導体基板や導電体基板であるときは静電陽極接合で付着することもできる。あるいは、第２主基板７７１がＳｉ基板等の半導体基板や導電体基板であるときは、第２下部基板７７３を用いずに、第１上部基板７５２に第２主基板７７１を付着させて、静電陽極接合で付着することもできる。保護膜を用いているときには接続する部分の導電体膜上の保護膜は除去しておく。導電体膜の接続部、たとえば導電体膜７６７と導電体膜７７５の接続部において、接続領域のサイズを大きくしたり導電体膜を厚く接続したりして接触面積を大きくするほかに、

メッキ法や選択ＣＶＤ法、あるいはさらなる導電体膜の積層とパターニングを行なうこともできる。さらに融点付近の熱処理を行ない融着する方法や、低融点合金（半田等）をメッキ法や選択ＣＶＤ法、あるいはその低融点合金（半田等）を積層して、導電体膜パターンの部分を再度パターニングして低融点合金を付着させて、熱処理を行ない導電体膜同士の接合を低融点合金で補助するという方法もある。

【０２６５】

同様に、第３の主基板７８１内に貫通室７８９を形成して第３の上部基板７８２を第３の主基板７８１に付着し、第３の上部基板７８２もくり抜いておく。また第３の下部基板７８３もそれらに付着する。導電体膜７８４（７８４－１、２、３、４）、導電体膜７８５（７８５－１、２、３、４）、導電体膜７８６（７８６－１）も形成する。この形成方法は第１主基板７５１、第１上部基板７５２、第１下部基板７５３で行なった方法と同様である。尚、第３下部基板７８３のコンタクト孔７８７やその中の導電体膜形成、電極・配線パターン７８８（７８８－１）は予め形成しておき、その第３下部基板７８３を第３主基板７８１に付着させても良い。このような貫通室７５４をくり抜き、その内面に導電体膜パターンを形成した第１主基板（または、その分割した下側）の下側の下部基板（第１下部基板）７５３を、同じく貫通室７８９をくり抜いた第３主基板７８１の第３上部基板７８２に付着させる。その付着法も同様であり導電体膜同士の接続も同様である。さらに付けくわえれば、導電性接着剤と絶縁性接着剤の両方を用いて、導電体膜の接続する部分には導電性接着剤を用い、他の部分には絶縁性の接着剤を用いることもできる。これらは、パターニングして別々に付着できる。あるいは、導電体膜の接続する部分に低融点合金等を付着して、他の部分に絶縁性接着剤を用いて接着することもできる。あるいは、導電体膜の部分に導電性接着剤や低融点半田合金を付着し他の接着部分は常温接合、拡散接合、高温接合、静電陽極接合を等を用いることもできる。

【０２６６】

次に上部側と下部側を付着させる。主基板７５１、７７１、７８１がＳｉ基板等の半導体基板や導電体基板であり、可視光に透過率が低くても、第１～第３上部基板や第１～第３基板がガラス基板等の可視光に透過率が高い材料であれば、貫通室７６９（７５４－２、７７９、７８９をまとめて７６９）が空いているので、正確なマスク合わせが可能であるから、バラツキを最小限にして各貫通室７５４－２、７７９、７８９やその内面に付着した導電体膜同士を付着することができる。付着後に熱処理やメッキ法、選択ＣＶＤ法等を行なって、導電体膜同士の接続も確実に行なうことができる。可視光を使えない場合は、赤外線、紫外線等を使って合わせることもできる。ＩＣＲ室７６９を所定の低圧力にするために、第２上部基板７７２や第３下部基板７８３に真空引き用の開口部を設けて真空ポンプに接続できる。内部をクリーニングしたり、パージしたりするための開口部も設けることができる。イオン源室７５４－１が大気圧であったり、比較的高い圧力である場合は、イオン源室７５４－１とＩＣＲ室７６９の間に中間室を必要な数だけ設けて、それらの各室を段階的に圧力を下げていき、ＩＣＲを所望の低圧にすることもできる。その場合、イオン源から出るイオンを加速する加速電極または引き出し電極（中央孔を有しても良い）を設けることもできるし、圧力差で引き出すこともできる。以上のようにして、イオン源室７５４－１、イオン導入孔７６５、広いＩＣＲ室７６９を有するＦＴ＝ＩＣＲ質量分析装置が完成する。

【０２６７】

ＩＣＲ室７６９において、導電体膜電極７５５（７５５－１、３）、７５６（１、３、４）、７６７（１、２、３，４）、７７５（１、２、３、４）、７７４（１、２、３，４）、７７６（２、３、４、５）、７６８（１、２、３，４）、７８５（１、２、３，４）、７８４（１、２、３，４）、等はそれぞれ接続して、トラップ電極７７８（７７８－２、３）、レシーバー電極７７８（７７８－４、５）となる。また、導電体膜電極７７６（７７６－１）および７８６（７８６－１）はイオン励起電極（電源）７７８（７７８－１）および７８８（７８８－１）となる。本発明の基板を用いたＦＴ－ＩＣＲでは、二次元（平面）方向は基板面と同じサイズまで大きくできるが、高さ方向は、基板厚さで制限され

る。たとえば、主基板がＳｉ基板である場合、Ｓｉ基板の厚みは１ｍｍ程度が普通に使用される最大の厚さであるから、高さは最大１ｍｍとなるが、図３２に示す構造や方式を用いて付着層を重ねていけば所望の高さのＩＣＲ室を持つものを作製できる。（尚、Ｓｉウエハの場合、厚みも任意のものを使用できるので、たとえば、１ｃｍ～１０ｃｍの厚みのウエハも作製することができるので、何層も重ねることもなく、かなり高さのあるものでも作製できる。）たとえば、第１主基板７５１の厚みをｈ４、第１上部基板７５２の厚みをｈ３、第１下部基板７５３の厚みをｈ５、第２主基板７７１の厚みをｈ１、第２上部基板７７２の厚みをｈ８、第２下部基板７７３の厚みをｈ２、第３主基板７８１の厚みをｈ７、第３上部基板７８２の厚みをｈ６、第３下部基板７６３の厚みをｈ９とすると、全体厚みはｈ１～ｈ９までの和となり、ＩＣＲ室７６９の高さはｈ１～ｈ７までの和となる。たとえば、ｈ１＝ｈ４＝ｈ７＝１ｍｍ、ｈ２＝ｈ３＝ｈ５＝ｈ６＝ｈ８＝ｈ９＝０．２ｍｍとすれば、全体厚みは４．２ｍｍ、ＩＣＲ室７６９の高さは３．８ｍｍとなる。ｈ１＝ｈ４＝ｈ７＝３ｍｍ、ｈ２＝ｈ３＝ｈ５＝ｈ６＝ｈ８＝ｈ９＝０．５ｍｍとすれば、全体厚みは１２．０ｍｍ、ＩＣＲ室７６９の高さは１１．０ｍｍとなる。尚、かなり高さのある貫通室は後に示すモールド型を用いた基板インゴット法で一挙に作製することもできる。

【０２６８】

磁場Ｂは、トラップ電極Ａ７５５からトラップ電極７５６の方向へ向いている。このような磁場Ｂを生じるために、本発明では２つの方法がある。１つは、ＩＣＲ室７５４－２のトラップ電極の外側の一方にＮ極、他方にＳ極の電磁石または永久磁石を配置する。これにより、トラップ電極Ａ７５５からトラップ電極７５６の方向、あるいは励起電極７５７および７５８とへ磁場Ｂが生じる。もう一つの方法は、ＩＣＲ室７５４－２をコイルの内側に配置し、コイルの軸方向をトラップ電極Ａ７５５からトラップ電極７５６の方向と一致させて配置する。図３３は本発明のコイルを配置したＦＴＩＣＲである。図３３（ａ）は、ＩＣＲ室を荷電粒子の進行方向と平行に見た図であり、図３３（ｂ）は、ＩＣＲ室の荷電粒子の進行方向から見た断面図である。図３１に示したＦＴＩＣＲ装置のＩＣＲ室の外側の周囲をコイルで巻いている。すなあち、が上部基板７５２上に形成され、そのコイル配線７６６（７６６－１）に接続する上部基板７５２内コンタクト配線（コイル配線）７６６－３が形成され、このコイル配線７６６－３に接続する主基板内コイル配線７６６－４が形成され、このコイル配線７６６－４に接続する下部基板７５３内コンタクト配線（コイル配線）７６６－５が形成され、さらにコイル配線７６６－５に接続するコイル配線７６６（７６６－２）が下部基板７５３の下面に形成される。このようにして、コイル配線７６６がスパイラル状にＩＣＲ室の周囲を取り巻く。

【０２６９】

コイル配線７６６－１、７６６－２は、電極７６２、７６３と一緒に形成できる。たとえば、上部基板７５２や下部基板７５３が絶縁体である場合は、その上に直接に、上部基板７５２や下部基板７５３が絶縁体以外である場合は、その上にＳｉＯ2膜やＳｉＮ膜やＳｉＮＯ膜等の絶縁膜を形成後に、導電体膜を積層しパターニングする。導電体膜は、ＣＶＤ法やＰＶＤ法、メッキ法、スキージ法、スクリーン印刷法、これらの組合せ法で形成する。コンタクト配線（コイル配線）７６６－３、７６６－５は、コンタクト孔配線７６０、７６１と同時に形成できる。たとえば、上部基板７５２や下部基板７５３にコンタクト孔を形成した後、上部基板７５２や下部基板７５３が絶縁体である場合は、その上に直接に、上部基板７５２や下部基板７５３が絶縁体以外である場合は、その上にＳｉＯ2膜やＳｉＮ膜等の絶縁膜を形成後に、導電体膜を積層しパターニングする。導電体膜は、ＣＶＤ法やＰＶＤ法、メッキ法、スキージ法、スクリーン印刷法、これらの組合せ法で形成する。たとえば、ＰＶＤ法で、５０nm~5000nm積層した後、コンタクト孔の内部だけに感光性膜を形成した後、全面エッチング（異方性ドライエッチング）し、さらにコンタクト内の感光性膜をリムーブした後に、メッキ法でコンタクト内だけにメッキ膜を形成する。これによりコンタクト内コイル配線を形成できる。あるいは、コンタクト孔形成後に、導電体膜を積層し、さらに全面メッキすることによってもコンタクト内コイル配線を形成でき

る。このとき、上部基板７５２や下部基板７５３上にも形成されるが、この導電体膜はコイル配線７６６－１、２として使用することもできる。

【０２７０】

あるいは、コンタクト孔を形成後導電体膜を厚く形成する。たとえば、コンタクト孔が２００μmであるとき、１００μm以上の厚みで積層すればコンタクト孔内がほぼ充填される。上部基板７５２や下部基板７５３上にも形成されるが、この導電体膜はコイル配線７６６－１、２として使用することもできる。あるいは、コンタクト孔を形成後、導電体膜を積層し、さらにスキージ法によってコンタクト孔内を導電体膜（ペースト）で充填できる。このとき、上部基板７５２や下部基板７５３との間にギャップを設ければ、上部基板７５２や下部基板７５３上にも同時に配線を形成できる。尚、コイル配線７６６－１、２により、電極７６２、７６３がその場所に形成できない場合は、図３３に示すように、コイル配線７６６－１、２の外側に形成すれば良い。コンタクト配線７６０、７６１もその場所に形成できない場合は、コイル配線７６６－１、２の外側に形成すれば良い。そのために、ＩＣＲ室内の電極配線７５８、７５７、７５９、７６４等は、ある程度引きまわしをすれば良いだけである。主基板内のコイル配線７６６－４も同様の方法で形成できる。

【０２７１】

図３４は、図３３とは異なる本発明のコイルを配置したＦＴＩＣＲである。図３４では、上部基板７５２上に支柱７９１（７９１－１、２）を介在して第２上部基板７９２を付着させ、下部基板７５３上に支柱７９３（７９３－１、２）を介在して第２下部基板７９３を付着させ、その後、ＦＴＩＣＲ装置を基板から切断して、ＩＣＲ室の周囲をコイル配線７９５で取り巻いたものである。電極７６２、７６３は、コイル７９５の配置状態に拘わらず、支柱７９１、７９３および第２上部基板７９２、第２下部基板７９４により囲まれた空間７９６、７９７の中に形成できるので、自由に配置できるとともに、空間７９６、７９７を密閉状態にもできるので、外部環境にさらされない。また、コイル配線７９５は、市販されている配線を使用できるので、配線サイズを任意に設定できるし、流す電流も自由に選択できる。また、コイル配線７９５を絶縁性膜で覆えば、コイル配線７９５と接触する上部基板７５２、下部基板７５３、主基板７５１、支柱７９１、７９３、第２上部基板７９２、第２下部基板７９４が絶縁体でない、導電体や半導体であっても、絶縁体膜で被覆しなくても良い。上部基板７５２への支柱７９１の付着は、種々の方法で可能である。たとえば、上部基板７５２へ支柱７９１となる基板を付着させてから、空間７９６となる貫通孔を形成する方法がある。上部基板７５２へ支柱７９１となる基板を付着するとき、電極７６２の部分は凸となっているので、支柱７９１となる基板に予めこの部分に凹部を形成してから付着すれば良い。空間７９６を形成してから第２上部基板７９２を付着する。

【０２７２】

あるいは、第２上部基板７９２に支柱７９１となる基板を付着してから、空間７９６となる貫通孔を形成し、その後、アライメントしながら第２上部基板７９２に付着した支柱７９１を上部基板７５２に付着する。あるいは、支柱７９１となる基板に空間７９６となる貫通孔を形成し、上部基板７５２および第２上部基板７９２に支柱７９１を付着させる。下部基板７５３側も同様に、支柱７９３および第２下部基板７９４を付着させる。また、ＩＣＲ室等を低圧にするために、パージしたりクリーニングしたりするために、上部基板７５２、下部基板７５３、第２上部基板７９２、第１上部基板７９４に開口部を設ける。さらに、電極７６２、７６３を引き伸ばして外側から電圧を印加できるようにする。その後、ＦＴＩＣＲ装置を単位毎に作製するために基板を切断する。基板切断は、ダイシング法、ワイヤソー法、レーザーカッティング法等で行なうことができる。スクライブラインの部分は、工程ごとに基板を削って薄くしておけば、最後のダイニング時に簡単に切断できる。その後、必要なら、装置の外側に絶縁膜等を形成し、コイル配線７９５をＩＣＲ室に巻いていく。必要な磁場を得るために、コイル配線の直径、コイルの材質、巻き数、多重巻きなどを選択する。本発明のＩＣＲ装置は非常に小さいので、コイルの材質を超伝導体で作製することもできる。装置自体を入れる液体Ｈｅ等の入った容器の大きさも小さく

できるので、ランニングコストおよび製作コストも非常に安価にできる。超伝導体として、Ｎｂ系、Ｍｇ系等の金属超伝導体、銅系酸化物等の高温超電導物質、鉄系超伝導体を使用できる。

【０２７３】

尚、図３３に示す構造の場合にも、図３４と同様に、ＦＴＩＣＲ装置を作製した後に、電極７６２および７６３を外して、ＩＣＲ室を取り囲むようにコイル配線を巻くこともできる。ＩＣＲ室が１０ｍｍ×４０ｍｍで、全体装置の大きさが１５ｍｍ×６０ｍｍであれば、６インチウエハ（１５０ｍｍ直径）から、１２個取れる。材料＋製造コストが２４万円であれば、１個の価格は2万円となり、従来品は２４０万円以上なので、サイズもコストも1/100になる。図３３および図３４では、コイル配線を基板に巻き付けたが、図３１に示すようなＩＣＲ装置が内部に入れるようなコイルを作製し、そのコイルの中にコイル軸とＩＣＲ室の方向が揃うように配置しても良い。ただし、このときはコイル配線とＩＣＲ装置は密着せず、場合によってはコイル配線はＩＣＲ装置から離れているので、コイルも含む全体の大きさは、図３３および図３４に示す場合よりも大きくなる。

【０２７４】

図３５は、図１９において説明したものとは別のイオン化法を示す図である。このイオン化法はマトリックス支援レーザー脱離イオン化法の一種である。主基板４５１内に形成された貫通孔（室）４５４、４５５、４５６、４５７等が形成され、貫通孔（室）４５４は厚い主基板本体４５１－１と中央孔４８１－１を有する隔壁４５１－２で囲まれている。（側面側は主基板４５１で囲まれている。）この貫通孔（室）４５４は試料室であり、第２基板（上部基板）４５２または第３基板（下部基板）４５３には試料挿入用の開口部４７０が空いていて、そこから試料板（サンプルプレート）４７５を挿入し、主基板４５１の試料背板４５１－１に当てる。試料背板４５１－１には真空引きライン４６８が空いており、上部基板４５２または下部基板４５３にその開口部があいていて、真空ポンプへつながり、試料板４７５を吸着できるようになっている。サンプルプレート４７５の中央部には試料４７６が付着しており、この試料４７６へ上部基板４５２または下部基板４５３に開口された開口部４７１からレーザー光４７８が照射される。レーザー光４７１は外部からレーザー光４７８を導きレンズ４７７で集光し、試料４７６へ照射する。試料４７６はレーザー光４７８により、マトリックスの急激な温度上昇が起こり試料物質（マトリックス）が気化及びイオン化する。試料室４５４の隣（横側、図面に垂直方向）にも貫通室を作り、その貫通室からレーザー光を照射することもできる。

【０２７５】

試料板４７５が立てかけられた試料背板の主基板４５１－１と対面する主基板隔壁４５１－２の周りには導電体膜４５９が形成され、この導電体膜４５９は、上部基板４５２または下部基板４５３内に形成されたコンタクト孔４６２、そこに形成された導電体膜、そこに接続する上部基板４５２または下部基板４５３上に形成された外部電極・配線４６４に接続している。外部電極・配線４６４に電圧を印加すると導電体膜４５９に正または負の電圧が印加される。発生するイオンはこの導電体膜の電圧により引き出され（導電体膜４５９は引き出し電極とも呼ぶ）、その一部は中央孔４８１－１を通過し、隣の低圧力室４５５へ入り、さらに主基板隔壁４５１－３が有する中央孔４８１－２を通って、その隣のイオン集束室４５６へ入り、さらに主基板隔壁４５１－４が有する中央孔４８１－３を通って、隣の貫通孔４５７へ導かれる。この貫通孔４５７は、たとえば、図１９における引き出し電極および加速室３０７や質量分析室３０８である。

【０２７６】

試料室４５４は大気圧状態なので、その隣室４５５はたとえば、１torr程度の低圧力室４５５で、上部基板４５２または下部基板４５３に形成された真空引き用の開口部４７２に接続された真空ポンプにより低圧力にされる。その隣室４５６にはその内面に導電体膜４６０が形成され、この導電体膜４６０は、上部基板４５２または下部基板４５３内に形成されたコンタクト孔４６５、そこに形成された導電体膜、そこに接続する上部基板４５２または下部基板４５３上に形成された外部電極・配線４６６に接続している。この導電体

膜４６０には外部電極・配線４６６から電圧を印加されるが、イオンビーム４７９と同じ符号（正または負）の電圧が印加され、イオンビーム４７９が集束される。導電体膜４６０を幾つかの領域に分割して、それぞれの領域に電圧を印加できるようにすれば、それらの電圧を調整することによってイオンビーム４７９を集束しながらかつ軌道を調整することができる。従って、隣室４５７へ入るイオンビームの位置を調整できるので、より正確に中央孔４８１－３へ通すことができ、さらにはイオンビーム４７９を殆ど質量分析室へ導くことができ、イオンの検出感度を高めることができる。イオン集束室４５６も上部基板４５２または下部基板４５３内に真空引きライン用の開口部４７３が形成され、イオン集束室４５６内を低真空にできる。たとえば、このイオン集束室４５６の圧力は10^{-3}～10^{-4}torrである。（尚、質量分析室はたとえば、10^{-5}～10^{-6}torrである。）図３５では導電体膜４５９は試料板４７５を向いているので、イオンがこの導電体膜４５９の電極に引き寄せられる場合もあるので、そのようなときには電極を分割しておき、中央孔付近の電極に印加する電圧の方を大きくしておき、試料板４７５を向いている電極にイオンが引き寄せられないようにしても良い。あるいは、試料板４７５を向いている電極にイオンと同極の電圧を印加して、イオンを跳ね返して、ほとんどのイオンは中央孔の電極側へ向かうようにしても良い。あるいは試料板４７５を向いている部分の導電体膜は除去しても良い。そのときは、試料室４５４の隣の低圧室の方に外部電極４６４等を設けても良い。あるいは、隔壁電極４５１－２の前に中央孔を有する電極のない隔壁を置き、圧力差でイオンを引き出して来ることもできる。そのとき、試料背板４５１－１の側面に形成された導電体膜４５８に印加されたイオンと同電位の電圧を印加してイオンを押出しても良い。

【０２７７】

主基板の試料背板４５１－１の側面には導電体膜４５８を形成しても良い。この導電体膜４５８は、上部基板４５２または下部基板４５３内に形成されたコンタクト孔４６１、そこに形成された導電体膜、そこに接続する上部基板４５２または下部基板４５３上に形成された外部電極・配線４６３に接続している。サンプルプレート４７５は導電体であり、導電体膜４５８から電圧が印加される。レーザー光４７８が試料４７６へ照射されると種々のイオンが発生するが、サンプルプレート４７５へ印加された電圧と同電位のイオンは試料から飛び出していく。導電体膜４５９へサンプルプレート４７５の電圧と逆の電圧をかけると、サンプルプレート４７５の電圧と同じ符号のイオンが殆ど導電体膜４５９へ引き寄せられ、中央孔４８１－１を通りぬけていく。

【０２７８】

イオン照射により熱が発生するので、試料室４５４は熱くなる。そこで、試料板が立てかけられる主基板壁４５１－１の試料背板の近傍に凹部４６９を形成し、この凹部４６９を冷却するようにする。この冷却は、たとえば冷却水、冷却気体を用いることができる。また、試料室４５４の周辺にも同様の凹部を形成して冷却することもでき、さらに上部基板４５２や下部基板４５３側から冷却することもできる。尚、導電体膜４５８は熱の良導体でもあるので、サンプルプレート４７５の熱を効果的に吸収できる。特にサンプルプレート４７５は真空引きライン４６８により導電体膜４５８へ密着しているので、電気的接続や熱の伝達もより良好になる。

【０２７９】

図３６は、別のイオン化法の実施形態を示す図である。主基板（第１基板）５０１の上下面に上部基板（第２基板）５０２、下部基板（第３基板）５０３が付着し、主基板５０１に上部基板（第２基板）５０２から下部基板（第３基板）５０３へ貫通する貫通室５０４（５０４－１、５０４－２、５０４－３）が形成されている。５０４－１はイオン化室であり、イオン化室５０４－１にはスプレーガスを導入するスプレーガス導入ライン５１６が接続する。イオン化室５０４－１の隣には引き出し電極・加速室５０４－２があり、それらは中央孔５０５－１を有する基板隔壁５０１－２によって隔てられている。引き出し電極・加速室５０４－２は、中央孔５０５－１を有する基板側壁５０１－２および隣室５０４－３と隔てている中央孔５０５－２を有する基板隔壁５０１－４によって隔てられた

貫通室である。引き出し電極・加速室５０４－２には、中央孔５０５－３を有する引き出し電極となる基板側壁５０１－３が配置されている。基板側壁５０１－３の表面には導電体膜電極配線５０８が形成され、この導電体膜電極配線５０８は下部基板５０３の上面にも形成され、下部基板５０３のコンタクト５１０を通して下部基板５０３の下面に形成された外側電極５１１に接続する。スプレーガスは分析するものを含むガスである。

＜ここから＞

【０２８０】

スプレーガス導入ライン５１６は、主基板５０１の中央付近に形成される場合は、中央孔５０５と同じプロセスで作製することができる。ただし、中央孔５０５と異なるサイズの場合は、フォトリソおよびエッチングは別々に行なえば良い。スプレーガス導入ライン５１６は別のスプレーガス導入ライン５１７を通して上部基板５０２または下部基板５０３に開口したスプレーガス導入開口部５１８へ接続する。スプレーガス導入開口部５１８をフォトリソ法＋エッチング法等により開口した後に、引き続きその開口部分をマスクにして主基板５０１をエッチング等してスプレーガス導入ライン５１７を形成することができる。前もってスプレーガス導入ライン５１７を主基板５０１に形成し、および／またはスプレーガス導入開口部５１８を上部基板等へ形成してから、上部基板等を主基板に付着しても良い。或いは、上部基板５０２または下部基板５０３に開口部を形成し、その開口部をスプレーガス導入ラインとしても良い。

【０２８１】

スプレーガス導入開口部５１８から試料液体または試料ガスを含むスプレーガス（霧化ガスまたはネブライザーガスとも言う）を入れてイオン化室５０４－１へスプレーガス５２５を導入する。イオン化室５２５の内面には導電体膜５０６が形成され、その導電体膜５０６へはコンタクト孔５１２（上部基板５０２側）、および／またはコンタクト孔５１０（下部基板５０３側）そこに形成された導電体膜、そこに接続する電極・配線５１３（上部基板５０２側）、および／または電極・配線５１１（下部基板５０３側）が接続し、これらの電極・配線５１１や５１３から導電体膜５０６へ電圧を印加でき、イオン化室５２５へ導入されたスプレーガス５２５を印可した電圧と同符号のイオンにイオン化できる。上部基板５０２上または下部基板５０３上の導電体膜５０９は、主基板５０１と付着させる前にも形成でき、すなわち、上部基板５０２上または下部基板５０３上に導電体膜５０９を形成した後、貫通孔または凹部を開けた主基板５０１を合わせて付着させれば良い。同様に主基板側面の導電体膜５０９も貫通孔または凹部を開けた主基板５０１の側面に形成した後に、上部基板５０２または下部基板５０３と主基板５０１に付着させれば良い。主基板５０１を２つ以上に分割して、上部基板５０２側および下部基板５０３側と別々に形成して、それらを合わせ込んで付着することもできる。スプレーガス導入ライン５１６の内面にも導電体膜５２６を形成して、そこに電圧を印加できる。その場合、スプレーガス導入ライン５１６内でもスプレーガスはイオン化するので、より効率的にイオン化が可能である。スプレーガス導入ライン５１６の内面にも導電体膜５２６を形成する方法として、本明細書にも説明しているように、主基板５０１を分割して、そこに凹部５１６の半分を形成し、その後この凹部５１６の表面に導電体膜５２６を形成し、上下で貼り合わせれば良い。スプレーガス導入ライン５１７の内面にも導電体膜を形成できる。

【０２８２】

形成法として、たとえば、スプレーガス導入ライン５１７を形成後、CVD法またはPVD法またはメッキ法で導電体膜を形成できる。尚、これらの導電体膜は、たとえば、Cu、W、Mo、Ni、Cr、Al、Au、Ti、高濃度ポリSi、導電性炭素（導電性ナノチューブ、グラフェンを含む）等の導電体膜、またはこれらの複合膜や積層膜である。イオン化室５０４－１は高電圧（たとえば、１００V～１０KV）がかかり、イオンが発生するので、熱も発生する。主基板５０１はたとえばシリコン等で、上部基板５０２や下部基板５０３はたとえばガラスや石英等であり、導電体膜や絶縁膜も３００度以上の温度までは問題なく持つが、この高温が質量分析室等へ伝達すると特性に影響を及ぼすので、できるだけ温度が上昇しないようにすることが望ましい。本質量分析器は小さいので、冷風を当てたりして全体を冷や

すことも簡単であるが、熱くなる部分については特にその部分だけ冷却することが望ましい。イオン化室５０４－１等は比較的熱くなるので、イオン化室５０４－１等の周囲の主基板５０１に凹部５１９を形成し、この凹部５１９に冷却水や冷却水を導き、イオン化室５０４－１等を冷却することができる。この凹部５１９は上部基板５０２または下部基板５０２に開口部５２１を形成しそこから主基板５０１をエッチングして形成しても良いし、凹部５１９を形成してから、上部基板５０２または下部基板５０２を主基板５０１に付着させ、開口部５２１は前もって形成しても良いし、付着後に形成しても良い。

【０２８３】

電極５１３または５１１へ高周波電圧を印加してイオン化室５０４－１に存在する気体をプラズマ化（イオン化）することもできる。このときは、大気圧以下の低圧（たとえば、１torr～100torr）でもプラズマ化できるので、イオン化室５０４－１の上下基板５０２、５０３へ真空引き用の開口部を設けてイオン化室５０４－１を低圧にすることもできる。あるいは、引き出し電極用隔壁５０１－３の導電体膜５０８とイオン化室５０４－１内の導電体膜５０６、５０９との間に高電圧（たとえば、１００V～１０KV）を印加して、イオン化室５０４－１内のガスや霧をイオン化することもできる。この場合は、隔壁５０１－２はない方が望ましい。図３６の場合も図３７と同様に導電体膜５０６や５０９をヒータとして使用することもできる。その場合、引き出し電極側とヒータ側の導電体膜５０６、５０９との間に高電圧をかけてイオン化室５０４－１内のガスや霧をイオン化することもできる。

【０２８４】

イオン化室５０４－１でイオン化したイオンは中央孔５０５－１を有する隔壁５０１－２を挟んで隣室に形成された中央孔５０７を有する基板側壁５０１－３で引き出されて、中央孔５０７を通って、さらに中央孔５０５－２を有する隔壁５０１－４の中央孔５０５－２を通って隣室の貫通室５０４－３へイオンビーム５２８として進む。引き出し電極・加速室５０４－２にある導電体膜５０８には、コンタクト孔５１０、電極・配線５１１が形成され、外部から電圧を印加できる。たとえば、イオンと逆電位を印加すればイオンは引き出され加速され、中央孔５０７を通過するイオンビーム５２８となる。引き出し電極・加速室５０４－２にはさらに加速電極（中央孔を有する）や、集束電極を設けても良い。また、図３５のイオン集束室４５６を引き出し電極・加速室５０４－２の前後に設けてイオンを集束しても良い。隣室５０４－３は、たとえば質量分析室（図１９では３０８）である。イオン化室５０４－１と引き出し電極・加速室５０４－２との間の隔壁５０１－２は、イオンを引き出し電極５０１－３で引き出すときに問題がなければ設けなくても良い。たとえば、正イオンを発生するときは、導電体膜５０６や５２６に正電圧を印加するが、イオン化室５０４－１の導電体膜５０６に印加した正電圧によって、発生した正イオンは中心付近に集束される。この集束した正イオンが負電圧に印加された引き出し電極５０１－３によって引き出される。このとき、隔壁５０１－２の中央孔５０５－１の大きさを調整して、引き出し電極５０１－３により引き出されやすくする。たとえば、中央孔５０５－１の大きさを中央孔５０７より小さくし、引き出し電極５０１－３の中央孔５０５－１を通り易くすることもできる。また、イオン化室５０４－１は大気圧近傍の圧力であるが、隔壁５０１－２により、引き出し電極・加速室５０４－２の圧力を下げることもできる。たとえば、隔壁５０１－２と引き出し電極の隔壁５０１－３との間に真空引きライン５２２（５２２－１）を設けて真空引きすることができる。

【０２８５】

図３６で述べた方法は、エレクトロスプレー法（ESI）の一種である。エレクトロスプレー法（ESI）は大気圧イオン化法であるから、イオン化室５０４－１は大気圧状態であるが、このイオン化室５０４－１の上部基板５０２または下部基板５０３に開口部を設けて、イオン化に影響を及ぼさない程度に排気しても良い。また、別の開口部も設けて窒素パージしたり、乾燥させたりしてイオン化室５０４－１をクリーニングすることもできる。引き出し電極・加速室５０４－２の右側の部屋（隔壁５０１－３と隔壁５０１－４との間）は真空引きライン５２２（５２２－２）を設けて真空引きする。

【０２８６】
図３６において、上部電極５０９と下部電極５０６を分離し、側面にも導電体膜電極を形成しないで、いわゆる平行平板型電極とし、これらの上部電極５０９と下部電極５０６との間に高周波電圧を印加することによって、プラズマが発生し、中央孔５１６から噴射されたスプレーガス５２５はイオン化する。特に上部電極５０９と下部電極５０６をの距離は５００μｍ～1mm～2mmと小さいときは、上部電極５０９と下部電極５０６間が高電界になるので、容易にプラズマ化する。これらの電極間距離が2mm以上の場合は、それに応じて高周波電圧の大きさを大きくすることによってプラズマが発生する。中央孔５１６の内面に形成した上側電極５２６および下側電極５２６を分離して、平行平板電極とすればこれらの電極間距離は上部基板５０２に形成した電極５０９と下部基板５０３に形成した電極５０６との間の距離より小さくなる。中央孔５１６の内面に形成し分離した上側電極５２６および下側電極５２６と上部基板５０２に形成した電極５０９と下部基板５０３に形成した電極５０６とを側面で接続すれば、中央孔５１６の内面に形成し分離した上側電極５２６および下側電極５２６との間に高周波電圧を印加することによって、もっと小さな電圧で中央孔内でプラズマ化することもできる。貫通室５０４－１内を低圧にすることもできるので、プラズマ化できる条件を設定しやすい。

【０２８７】
図３７は、大気圧化学イオン化法について説明する図である。図３６と同じ材料等は同じ符号を付している。スプレーガス５２５が入る所は、加熱室５０４－６であり、加熱室５０４－６の隣には、中央孔５０５－１を有する隔壁５０１－６を介してイオン化室５０４－７がある。加熱室５０４－６の内面には導電体膜５０６や５０９が積層されている。これらの導電体膜５０６や５０９は、薄膜抵抗体であり、抵抗体を挟んで電極５１１－１、５１１－２（コンタクト孔は５１０－１、５１０－２）や電極５１３－１、５１３－２（コンタクト孔は５１２－１、５１２－２）が接続している。電極５１１－１と５１１－２との間、および／または電極５１３－１、５１３－２との間に電流を流せば、薄膜抵抗体５０９が発熱する。加熱室５０４－６はたとえば、約３００度～５００度Ｃに加熱され、スプレーガス５２５は溶媒と試料分子に気化され、中央孔５０５－１を通ってイオン化室５０４へ入る。（基板側壁５０１－６はない場合もある）スプレーガス導入ライン５１６や５１７にも薄膜抵抗５２６を形成し、電流を流して発熱させれば、さらにスプレーガス５２５の溶媒と試料分子への気化効率が良くなる。

【０２８８】
イオン化室５０４－７において、先端が尖った（細くなった）電極（尖塔電極）５２９および５３０が対面して配置される。電極５２９は下部基板５０３側に配置され、コンタクト孔５１０－３を通して外部電極・配線５１１－３へ接続する。電極５３０は上部基板５０２側に配置され、コンタクト孔５１２－３を通して外部電極・配線５１３－３へ接続する。これらの間に電圧を印加すると、放電が起こり、気化された溶媒分子はイオン化され反応イオンとなり、反応イオンと試料分子の間でプロトン授受が起こり（イオン化反応）、試料分子はプロトン付加またはプロトン脱離を起こしイオンとなる。これらのイオンが隔壁５０１－４の中央孔５０５－２を通って隣室５０４－８に配置される引き出し電極に引き出される。すなわち、隣室５０４－８は引き出し電極・加速室であり、図３６における引き出し電極・加速室５０４－２と同様である。これによって、イオンビーム５２８が質量分析室等へ導入される。加熱室５０４－６やイオン化室５０４－７は温度が上がるので、これらの周囲の主基板５０１に凹部５１９を形成し、冷却水や冷却ガスを通してこれらの部屋からの熱を外側へ出さないようにすることが望ましい。図３７では、スプレーガス導入ライン５１６の出口は隔壁５０１－６の中央孔５０５－１や尖塔電極５２９、５３０と対面しているように記載しているが、気化しない霧がイオン化室５０４－７へ入り込んだり、尖塔電極５２９、５３０へ付着したりして、イオン化室の電場電圧が低下することを避けるために、対面しないように加熱室５０４－６の側面側（たとえば、図３７における紙面の手前または奥側）に設けることが望ましい。また、加熱室５０４－６の上下基板５０２または５０３へ霧やガスの排出口を設けても良いし、そこからポンプで少し排気

しても良い。また、メンテナンスのときに、その排出口を用いてＮ２等で乾燥等を含むパージを行なっても良い。さらにイオン化室５０４－７にも同様に排出口やパージや真空引き用の開口部を設けても良い。

【０２８９】

尖塔電極５２９、５３０の形成方法を以下に説明する。図３８は、尖塔電極を有するイオン化室の作製方法を示す図である。図３８（ａ）に示すように下部基板５４２に付着した厚みｈ２５の主基板５４１の一部を厚さｈ２６に薄くするために感光性膜５４３をパターニングする。主基板５４１と感光性膜５４３との間に感光性膜５４３の密着を高めたり、エッチングストッパーとなる膜（たとえば、ＳｉＯ２等の絶縁膜）を積層しても良い。このパターン５４３をマスクにして主基板５４１の厚みがｈ２６である凹部５４４を形成する。（図３８（ｂ））次にｈ２５の厚みを有する主基板５４１の基板側壁５４１－１を形成するための感光性膜５４５（５４５－１）のパターニングを行なう。同時に凹部５４４内において尖塔５４１－３を形成する部分の主基板を残すための感光性膜５４５（５４５－２）のパターニングを行なう。（図３８（ｃ））この感光性膜５４５（５４５－１、２）をマスクにして、主基板５４１をエッチングし、下部基板５４２に貫通する貫通孔５４６を形成する。主基板５４１がＳｉ基板であり、下部基板がガラス基板や石英基板である場合は、静電陽極結合で強固に付着でき、Ｓｉ基板を高速に垂直に近いエッチングをして、オーバーエッチングしてもガラス基板５４２を余りエッチングしないドライエッチングの条件を選定できる。このエッチングで、厚みｈ２５の基板隔壁５４１－１およびエッチングしていない主基板５４１、尖塔電極５４１－３を形成すべき部分の主基板５４１－２が形成される。（図３８（ｄ））

【０２９０】

次に感光性膜５４７をパターニングし、基板側壁５４１－１等の主基板５４１をエッチングすべきではない部分に感光性膜５４７－１のパターニングを行なう。このとき、基板側壁５４１－１の側面がエッチングされないようにするために、基板側壁５４１－１の側面も感光性膜５４７－１で覆う。同時に尖塔電極５４１－３を形成すべき部分の主基板５４１－２に尖塔電極５４１－３を形成するための感光性膜５４７－２のパターニングを行なう。（図３８（ｅ））この感光性膜５４７－２をマスクにして、主基板５４１－２をエッチングする。このエッチングはサイドエッチングも行なうエッチングである。サイドエッチング量と縦方向のエッチング量がコントロールされた条件で行ない、このサイドエッチング法は、縦方向エッチング量ｈ２６を行なうとサイドエッチング量がｈ２７になるようなエッチングである。従って、感光性膜５４７－２の幅（直径）を２×ｈ２７とし、ｈ２７＝ｈ２６とすると、主基板５４１－３が縦方向にｈ２６エッチングされて下部基板５４２が露出するとエッチングされたパターン５４１－３は先端が尖塔となる円錐形状となる。｛図３８(ｆ)、（ｇ）｝

【０２９１】

次に、導電体膜を積層し、パターニングして図３８（ｈ）に示すように、円錐形状の主基板５４１－３の全体を覆う導電体膜パターン５４８および、それに接続し下部基板上に延びる配線パターン５４９を形成する。配線パターン５４９は下部基板５４２内に形成するコンタクト孔５５０、そこに形成される導電体膜を通して、下部基板５４２の下面に形成される導電体膜電極・配線５５１に接続する。同様のパターンを上部基板５４０側にも形成し、図３８（ｉ）に示すように、上部基板５４０側の基板側壁５５２（５５２－１）と下部基板５４２側の基板側壁５４１（５４１－１）と重ね合わせると、円錐状の尖塔電極が対面したイオン化室を形成できる。尚、重ね合わされるのは基板側壁５５２（５５２－１）と基板側壁５４１（５４１－１）だけでなく、同じ高さに形成された主基板同士５５２および５４１も重ね合わされることは言うまでもない。本明細書で説明したように、主基板５５２および５４１同士の付着は、接着剤を用いる方法、常温接合、拡散接合、高温接合、静電結合等種々の方法を用いることができる。特に主基板がＳｉ基板や導電体基板の場合は、ガラス基板や石英基板５５３を間に挟むことによって、静電陽極接合を用いて強固に付着することができる。

【０２９２】
図３８では、一対の尖塔電極を示したが、複数対の尖塔電極を設けることによって、放電領域を増やせるので、イオン化効率が高くなる。尖塔電極作製時に主基板５４１－２をある程度オーバーエッチングする必要があるので、完全に尖った尖塔電極を作るとｈ２６より小さくなり、尖塔電極の高さｈ２７はある程度ばらつく。従って、上下基板を付着させた後の尖塔電極の先端同士の距離も少しばらつき、放電電圧もばらつくが、各電極には個別に電圧を印加できるので、多数の尖塔電極を形成した場合でも、電圧値を変化させることによって、安定した放電を行なわせることができる。
【０２９３】
図３８では上部基板または下部基板を主基板に付着させてから主基板を用いて尖塔電極を形成したが、前持って尖塔電極を上部基板または下部基板に付着させて、その後に凹部を形成した主基板を付着させて図３８（ｇ）の状態を作製することもできる。この場合、尖塔電極全体を導電体電極とすることができ、高電圧に強い電極を作製できる。また、上部基板または下部基板を主基板に付着させて、尖塔電極を形成すべき領域にある主基板を全部エッチング除去して（すなわち、図３８（ｂ）において、完全な貫通室とする）、尖塔電極をマウント装置で所定の位置に付着させることもできる。尖塔電極全体が導電体であるときは、尖塔電極の真下の上下部基板内にコンタクト孔を形成することができるので、導電体膜５４８や５４９を形成しなくても良い。また、図３８（ｂ）の図に示すような凹部５４４を形成しなくても、直接尖塔電極を形成して、サイドエッチング時に尖塔電極の高さｈ２７を調整しても良い。特に対面する側が尖塔電極でなく平行平板電極の場合は、尖塔電極と平行平板電極との距離を比較的大きく取れるので、有効である。さらに、ｈ２６の主基板を最初に用いて尖塔電極および基板側壁（この時の高さはｈ２５より小さい）、後に基板側壁等付着させる部分に必要な高さの別の主基板またはガラス等の基板を付着させて図３８（ｇ）に示すような構造を実現することもできる。
【０２９４】
図３８では、上下基板に尖塔電極を形成したが、一方を平行平板電極にしても放電（コロナ放電など）を行なわせて、気化されたガスをイオン化することができる。この場合平行平板電極を図３８（ｈ）に示す導電体膜５４９のように上部基板または下部基板上に形成することができるが、前もって上部基板または下部基板上に導電体膜パターンを形成したり、平板電極を付着させて、その後貫通孔をあけた主基板と付着させて、その後図３８（ｆ）に示すように下部基板側と上部基板側を付着させることができる。この場合、尖塔電極を形成する方は複数の尖塔電極を形成することもできる。
【０２９５】
図３７において、イオン化室５０４－７で発生したイオンは隣室５０４－８に入るが、隣室５０４－８はたとえば引き出し電極室であり、引き出し電極により発生したイオン５２８が引張られていく。しかし、イオン化室５０４－７は中央孔５０５－２を有する基板側壁板５０１－４で隣室５０４－８と仕切られているので、イオンの引き出し力は余り強くない。そこで、基板側壁板５０１－４と対面する側の主基板側壁に導電体膜電極を形成し、隣室５０４－８へ入れたいイオンと同じ符号（正または負）の電圧をかけておき、発生するイオンを押出して隣室５０４－８へ所望の符号を持つイオンを出射することができる。図３７では、基板側壁板５０１－４と対面するのは、基板側壁板５０１－６であるが、中央孔５０５－１があるために、基板側壁板５０１－６の側面に形成する導電体膜の面積は小さいので、イオンを押し出す力が弱い場合がある。あるいは、基板側壁板５０１－６を設けない場合は、対面する所は、基板側壁５０１－１であるが、距離が離れ過ぎているため、イオンを押し出す力が弱くなる。そこで、隣室５０４－８の位置を基板側壁板５０１－６の対面には配置しないで、たとえば、隣室５０４－８と基板側壁板５０１－６の関係を９０度の位置関係とする。そうすれば、隣室５０４－８の対面は基板側壁（イオン化室５０４－７において、図３７では紙面と垂直方向の位置にある）であり、この基板側壁には側面全体に導電体膜電極を形成できるので、イオンを押出す力は十分であり、発生したイオンは大部分隣室５０４－８へ入る。

【０２９６】
図１９では、イオンを固体試料に照射してイオンおよび中性粒子を発生させている。（この場合、イオン化が十分であれば、レーザー照射等は必ずしも必要はない。図３９は高速原子衝撃法（FAB）の一種である連続フロー（CF）－FABイオン化を本発明に適用した実施形態を示す図である。上部基板５６２および下部基板５６３に主基板５６１が付着し、貫通室５６４－１、５６４－２、５６４－３等が形成されている。貫通室５６４－１と５６４－２は中央孔５６５－１を有する基板側壁５６１－３により隔てられ、貫通室５６４－２と５６４－３は中央孔５６５－４を有する基板側壁５６１－１０により隔てられている。貫通室５６４－１はイオン化室であり、その側面側の基板側壁５６１－１の中央部には試料導入孔５６６が形成され、そこにつながる縦方向試料導入孔５６７が形成されている。試料導入孔５６６は中央孔５６５－１等と同じ方法で形成できる。縦方向試料導入孔５６７は上部基板に開口部５６８－１が形成され、そこに繋がっている。
【０２９７】
被検出成分は移動相と共に試料導入用開口部５６８－１から縦方向試料導入孔５６７さらに試料導入孔５６６を通じてイオン化室５６４－１へ入る。移動相として、たとえばグリセリン等の粘性の高い液体（マトリックス）を０．１～数％の濃度になるように加えた有機溶媒または有機溶媒／水が用いられる。試料導入孔５６６の出口部５７３において、有機溶媒や水は揮発し、被検出成分を溶かした状態でマトリックスは試料導入孔５６６の出口部５７３の基板側面に染み出す。このとき、溶媒等の気化によって被検出成分はマトリックス中に濃縮される。イオン化室の上部基板等には開口部５６８－２が空いていて、その上に配置されたFAB銃５７０で数ｋVに加速されたＸｅやＡｒ等の中性高速原子ビーム５７１がマトリックス５７４へ照射される。この高速原子の持つ運動エネルギーによりマトリックスや揮発せずに残った溶媒分子等がイオン化され、イオンと被検出成分の間でプロトンや電子の移行が起こる。その結果、被検出成分の正及び負イオンを生成する。生成したイオンはイオン化室５６４－１の隣にある引き出し電極・加速室５６４－２へ入り、加速・集束されてイオンビーム５７５として隣室５６４－３へ導かれる。この隣室５６４－３はたとえば、質量分析室である。引き出し電極・加速室５６４－２には複数の加速電極や集束（収束）電極５６１－４、５等が配置され、所々に真空引き開口部５６８－３が開口され、引き出し電極・加速室５６４－２が低圧にされる。加速電極や集束（収束）電極５６１－４、５は、中央孔５６５－２、３等を有する基板側壁でその周りを導電体膜が形成され、電圧を印加できる。イオン化室５６４－１も上部基板等へ真空引き用の開口部を設けて低圧にすることもできる。さらにはイオン銃そのものを含めてイオン化室を真空箱へ納めることによってイオン化室を低圧にすることができる。また、原子ビーム５７１が照射する主基板側面が熱を発生する場合には、その背面側に冷却室を設けることもできる。原子ビーム５７１が照射する主基板側面には各種絶縁膜の他に導電体膜を形成することもでき、発生する熱等を速やかに外部へ伝達することができる。図３９に示したイオン化法は、ＣＦ－ＦＡＢ法と呼ばれていて、本発明を用いると非常に小さく構成でき、しかも簡単に作製でき、正確な測定も可能となる。
【０２９８】
＜コリジョンセル＞
質量分析装置では、分析精度や分析感度を高めるために、イオンビーム軸に沿って複数の四重極等の多重極電極室を複数並べて、前段の四（多）重極室から出射したイオンを次段の四（多）重極室に取り込む効率を高めたものも実用されている。その中で、本発明を用いて作製したコリジョンセルについて説明する。コリジャンセルは、本明細書で示す四重極質量分析室において、上部基板または下部基板に設けた開口部からＡｒ、Ｎ２、Ｏ２、ＮＨ３等の衝突ガスや反応ガスを外部から導入し、前段から進入したイオンビームとこれらの導入ガスと衝突させて、イオンを解離したり、反応させたりして、プロダクトイオンを生成する。このプロダクトイオンを四重極電極に印加される高周波電圧（直流バイアス電圧を印加する場合もある）を印加して、イオンを次段の四（多）重極室等に送る。従って、本発明では非常に簡単に四重極電極室をコリジョンセルに変更できる。すなわち、衝

突ガスや反応ガスを外部から導入口と排出口（排出口は真空ポンプに接続する）を形成する。

【０２９９】

コリジョンセルには気体が導入されるので、前段または後段の貫通室（たとえば、質量分析室）よりも圧力が高くなるので、前段または後段の貫通室へ影響をできるだけ与えないように、前段または後段の貫通室との間にさらに貫通室を設け、その貫通室に真空びきラインを接続して真空びきすることもできる。また、それらの貫通室同士の隔壁に備わる中央孔（イオンビームが通る）を小さくしたり、または大きくしたり、あるいは長さを調節してガスの出入りを調節することもできる。貫通室同士の隔壁に備わる中央孔（イオンビームが通る）を小さくする場合、イオンビームが隔壁に衝突しないようにするために、その隔壁自体に電極を設けてイオンビームを集束することもできる。または、貫通室の前にイオンビーム集束用の中央孔を有する隔壁（基板側壁）を別に配置しても良い。本発明は、複数の貫通室や隔壁や導電体膜を設けても工程は殆ど同じであるから、作製上および製造コスト上の増大は余りない。（少し面積が増えるが、小さいので問題にならない。）従って、念のための貫通室や隔壁、導電体膜隔壁（これはイオン（加速または集束）レンズと呼んでも良い）を設けておき、必要な場合に外部から電圧を印加し、不要な場合は何もしないだけで良い。

【０３００】

＜イオントラップ型質量分析装置＞

次に、本発明はイオントラップ型質量分析装置にも適用することができる。図４０はイオントラップ型質量分析装置の作製方法を示す図である。サポート基板６０２に主基板６０１が付着している。サポート基板６０２はガラス、セラミック、プラスティック等の絶縁体基板、Ｓｉ等の半導体基板、ＣｕやＡｌやＦｅ等の導電体基板等種々の基板を使用することができる。サポート基板６０２と主基板６０１との付着方法は接着剤や低融点半田（金属）で付着させて、後で示すように、主基板６０１と分離できるようにする。接着剤の場合は、紫外線照射で剥離できるものや熱をかけることにより脱着できるようなものを使用できる。サポート基板６０２に付着した主基板６０１の表面に感光性膜６０３を形成し、イオントラップ型質量分析装置を形成すべき領域を窓開けする。（図４０（ａ））次に、窓開けした部分の主基板６０１を所定厚みまでエッチングし、主基板６０１の凹部６０４を形成する。この所定厚みとはイオントラップ型質量分析装置のリング電極の半径にほぼ等しい。（図４０（ｂ））（主基板の厚みｈ３１、所定厚みｈ３２）

【０３０１】

次に、感光性膜６０３を除去し、再度感光性膜６０５を塗布（または付着）し、フォトリソ法により、基板側壁や主基板として残すべき部分６０５－３、４およびイオントラップ型質量分析装置のリング電極形成用パターン６０５－１、２を形成する。イオントラップ型質量分析装置のリング電極形成用パターン６０５－１、２は主基板６０１の凹部６０４に形成される。このときの平面パターンは図４０（ｋ）に示すように感光性膜パターン６０５－１および６０５－２は繋がっていて、円形状パターンとなっている。（尚、正方形または矩形状パターンでも、イオントラップ型質量分析装置電極の電圧条件を調整することによって、四重極電場を形成することができる。）（図４０（ｃ））次に、これらの感光性膜パターン６０５をマスクにして主基板６０１をエッチングする。このとき、一部の主基板６０１－１、２、３を残す。（厚みｈ３３）主基板６０１のエッチングはサイドエッチングが行なわれるように、ウエットエッチングまたはドライエッチング法を用い等方性エッチングで行なう。またはアルカリウエットエッチングでシリコンの結晶軸に沿ったエッチングを行ない、横方向もエッチングする。一定厚みｈ３３を制御性良く残してエッチングする方法は種々知られている。たとえば、前もってシリコン基板中に高濃度のＰ型拡散層を形成しておけば（基板貼り合わせ法でも可能）、その部分がエッチングストッパーとなる。（図４０（ｄ））感光性膜６０５をリムーブした状態が図４０（ｅ）である。次に、リング電極となる部分における中央部の空洞となる部分６０６－２の主基板６０１－２をエッチング除去する。このエッチングは、感光性膜を形成してこの部分だけ窓開け

した後に垂直（異方性）エッチングで行なう。このとき、主基板６０１－４、６０１－７、６０１－１、６０１－３等はエッチングしない。リング電極となる部分６０１－５、６の部分は高さがコントロールできればある程度エッチングしても良い。（特性は、電圧を変化させて調整可能）（図４０（ｆ））

【０３０２】

次に、主基板６０１上に導電体膜を積層し、導電体膜パターン６０７を形成する。リング電極となる部分（６０１－５、６）およびその部分に接続する配線部分を残して、不要な導電体膜はエッチング除去する。主基板がＳｉ等の半導体基板である場合は絶縁膜を形成してから導電体膜を形成する。導電体膜はＣｕ、Ｗ、Ｍｏ、Ｃｒ、Ｔｉ、Ａｌ、Ａｕ等の金属膜、これらの合金膜または積層膜であり、ＣＶＤ法、ＰＶＤ法、メッキ法、電鋳法等で積層する。（図４０（ｇ））次に、エンドキャップ電極６０９を付着した上部基板または下部基板６０８をアライメントしながら主基板６０１に付着させる。（図４０（ｈ））この付着は、接着剤を用いても良いし、上部基板または下部基板６０８がガラスまたは石英で、主基板がＳｉ等の場合は静電陽極径都合を行なうこともできる。この後、サポート基板６０２を取り外す。このサポート基板の取り外す方法も種々ある。たとえば、サポート基板６０２と主基板６０１を熱軟化性接着剤または低融点合金（軟化温度または融点Ｔ１）で付着した場合、主基板６０１と上下基板を硬化性接着剤または静電陽極接合（硬化温度または静電陽極接合温度Ｔ２）で付着させる場合、Ｔ１＞Ｔ２の接着剤等を選択し、まず、Ｔ２の温度で主基板６０１と上下基板を付着させ、その後温度を上げてＴ１以上にしてサポート基板６０２と主基板６０１を離す。（図４０（ｉ））

【０３０３】

次に、主基板６０１にイオンビーム通路となる溝（中央孔）６１０を形成する。主基板６０１－４および６０１－７は高さがｈ３１であるから、上下基板６０８に付着しているがリング電極となる部分の主基板６０１－５、６は上下基板６０８に付着していない。しかしリング電極配線６０７は主基板６０１－４および６０１－７の部分まで伸びているので、この部分にコンタクト孔６１１を上下基板６０８に開口して、導電体膜をコンタクト孔内に形成し、さらに上下基板６０８上に電極配線６１２を形成する。また、同時にエンドキャップ電極６０９に導通するコンタクト孔６１１、電極配線６１２を形成する。この後。上部基板側と下部基板側を付着させてイオントラップ部が完成する。この付着時に主基板同士の間にガラス基板等を介しても良い。リング電極６０１－５および６０１－６は一体となっており、また上下の導電体膜６０７も付着により繋がっている。また、リング電極６０１－５および６０１－６は、６０１－３および６０１－４で支持されていて不安定のように見えるが、６０１－３および６０１－４の厚みｈ３３は調整でき、またイオントラップ特性に影響を与えない部分で適宜支持部分を作製できるし、また、上下基板６０８とも一部であれば接続して形成できるので、強度的には全く問題ない。さらに、図４０では、リング電極部分６０１－５、６を薄くしたが、薄くしなくてもイオントラップ特性に問題ない場合は、薄くしなくても良く、その場合、上下基板６０８とリング電極部分６０１－５、６を直接付着できるので、さらに強度を増すことができる。さらに、この場合、コンタクト孔や電極配線も直接リング電極から取り出せるので、６０１－３、４を設ける必要がなくなり、独立したリング電極とすることもできる。（図４０（ｊ））

【０３０４】

このように、本発明を用いて簡単なプロセスでイオントラップ型質量分析装置を作製できる。このイオントラップ型質量分析装置は１つのリング電極６０１－５、６と２つの対向するエンドキャップ電極６０９－１、２により構成されている。リング電極６０１－５、６には高周波高電圧が印加され、リング電極６０１－５、６と一対のエンドキャップ電極６０９－１、２とで囲まれる空間（イオントラップ空間６１３）内に形成される四重極電場によってイオン捕捉空間６１５を形成し、そこにイオンを捕捉する。一方、エンドキャップ電極６０９－１、２にはそのときの分析モードに応じて適宜の補助交流電圧が印加される。荷電粒子（イオン、電子）は、リング電極６０１－５およびそれに繋がった主基板６０１－４に形成された中央孔６１０の左側の通路から進入する（荷電粒子G1）。荷電粒

子G1は中央孔６１０を有する基板６０１－４の左側のたとえば、イオン化室から引き出し電極で加速されて入って来る。荷電粒子G1はリング電極６０１－５の中央孔６１０からイオントラップ空間６１３へ出て（荷電粒子G２）、イオントラップ電場によりイオン捕捉空間６１５内に捕捉される。イオン捕捉空間６１５内に捕捉されたイオンは、適宜掃き出され（荷電粒子G3）対向するリング電極６０１－６が有する中央孔６１０に進入し、さらにそれにつながる基板６０１－７の中央孔６１０を通って出射し（荷電粒子G4）、たとえば隣室のイオン検出室へ出ていき、イオン量をカウントされる。

【０３０５】

また、上部基板６０８等に開口部６１７を設けて、そこからイオントラップ室６１３に標的ガス（Ａｒ、Ｘｅ、Ｎ２、ＮＨ３、Ｏ２等）を導入し、イオントラップ室内部に形成された電場によりその中心に集められた特定の質量数範囲にあるイオンと前記標的ガスとを衝突させることにより、イオンの分解または反応を行う。すなわち、コリジョンセルも形成できる。十分に解離分解が行われた後に電極６０１－５、６、６０９－１、２へ印加する電圧が変更され、イオントラップ６１５内部にイオンを排出するような電場が形成されてイオンが放出される。イオントラップから出たイオンは質量分析器やイオン検出器に導かれる。また、真空引き用の開口部６１６を上下基板６０８に作製すればイオントラップ室を所望の真空度にできる。

【０３０６】

図４０に示したイオントラップ質量分析装置ではリング電極６０１－５の中央孔６１０を通って荷電粒子Ｇがイオントラップ室６１３に入り、さらにリング電極６０１－６の中央孔６１０を通って荷電粒子Ｇがイオントラップ室６１３から出ていくが、エンドキャップ電極６０９を通すこともできる。図４１は荷電粒子がエンドキャップ電極６０９を通るイオントラップ質量分析装置を示す図である。図４０（ｉ）まで同じプロセスを用いることができるので、図４０（ｈ）以降を示す。図４０と異なる部分を特に詳細に説明する。図４１（ｈ）において、上部基板６０８に開口部６１４が形成され、エンドキャップ電極６０９に通路６１８があいている。エンドキャップ電極６０９を上部基板６０８に付着するとき、開口部６１４と通路６１８が合うように付着する。これによって、開口部６１４と通路６１８は上部基板６０８の基板面に垂直方向に通る通路となる。その他は図４０（ｈ）および図４０（ｉ）、図４０（ｊ）で説明した内容と同じである。図４０（ｊ）において、上部基板６０８－１側と下部基板６０８－２を付着するとき、上側の通路６１４－１および６１８－１と下側の通路６１４－２および６１８－２は一直線上に揃うようにし、その中心線がイオン捕捉空間６１５の中心を通るようにすることが望ましい。

【０３０７】

次に、図４１（ｋ）に示すように、第２主基板６１９が付着した第２上部基板６２０を作製し、貫通室６２１を形成する。この貫通室６２１にはイオン化室および引き出し電極を配置する。発生するイオンが通路６１４－１および６１８－１を通るように各部品を配置する。それらの機能を有した第２上部基板６２０に付着した貫通室６２１を持つ第２主基板６１９の支柱６１９－１、２を（第１）上部基板６０８－１に付着する。貫通室６２１で発生したイオンが通路６１４－１および６１８－１を通ってイオントラップ室６１３に入るようにアライメントして付着させる。

【０３０８】

次に第３主基板６２２が付着した第２下部基板６２３を作製し、貫通室６２４を形成する。この貫通室６２４にはイオン検出室を配置する。イオントラップ室６１３から通路６１４－２および６１８－２を通って貫通室６２４へ出射したイオンが検出室に入るように各部品を配置する。それらの機能を有した第２下部基板６２３に付着した貫通室６２４を持つ第３主基板６２２の支柱６２２－１、２を（第１）下部基板６０８－２に付着する。通路６１４－２および６１８－２を通って出射したイオンが検出室に入るようにアライメントして付着させる。

【０３０９】

図４０に示したイオントラップ型質量分析装置は基板面に対して平行に荷電粒子（イオン

）が進むが、図４１の場合は基板面に対して垂直に荷電粒子（イオン）が進む。各室のサイズ（高さ）が１枚の主基板では不足する場合は、必要な厚さの主基板を重ねて付着すれば良い。このようにして、エンドキャップ電極に開けた通路を通してイオンを移動させることができるイオントラップ型質量分析装置も作製できる。
図４０や図４１に示したイオントラップ型質量分析装置では、リング電極６０１－５、６を上部基板および下部基板６０８から離しているが、離間させずに付着した状態で形成することもできる。その場合イオントラップ空間はリング電極６０１－５、６で囲まれた状態になる。従って、リング電極の占有面積（体積）も小さくて済む。リング電極作製プロセスも簡単化できる。

【０３１０】

図４９は、図４１と同じく縦方向に形成したイオントラップ型質量分析装置を示す図である。図４９に示すイオントラップにおいて、リング電極は浮いた状態になく固定されている。本質量分析装置は、イオントラップ室を有する基板領域Ａ、イオン化室および引き出し電極室を有する基板領域Ｂ、イオン検出室を有する基板領域Ｃから構成される。基板領域Ｂは中央部に引き出し電極室となる貫通室９１４－２、その引き出し電極室９１４－２にイオンを供給するイオン化室となる貫通室９１４－１、３が配置される。引き出し電極室９１４－２とイオン化室９１４－１との間は、中央孔９１５－１を有する基板側壁板９１１－３で仕切られている。引き出し電極室９１４－２とイオン化室９１４－３との間は、中央孔９１５－２を有する基板側壁板９１１－４で仕切られている。イオン化室は本明細書で記載した種々のイオン化法を用いたイオン化室を採用できる。このイオン化室へ試料供給室を接続することもできる。ここでは、イオン化室を２つ記載しているが、１つでも良いし、３つ以上引き出し電極室９１４－２に接続することもできる。あるいは、外部で発生したイオンを引き出し電極室９１４－２に接続しても良い。

【０３１１】

引き出し電極室９１４－２では、イオンをイオントラップ室へ加速してある速度でイオントラップ室へ送る機能を有する。主基板９１１の上面は上部基板９１２に、主基板９１１の下面は下部基板９１３に付着している。下部基板９１３には中央が繰り抜いた円板状電極９１７－１，２が形成されており、円板状電極９１７－１と２の間に絶縁膜９１８が形成されている。必要に応じて円板状電極９１７－１と２の上も絶縁膜９１８が形成される。円板状電極９１７－１、２にはイオンと逆符号の電圧を印加すると、円板状電極９１７－１と２の中央部に開いた開口部９１９からイオンが引き出され、加速してイオントラップ室９０４へ入る。円板状電極９１７－１と２の直上の上部基板９１２に押し出し電極９１６を形成しておけば、押し出し電極９１６にイオンと同符号の電圧を印加すると、イオンは押し出されて開口部９１９へ入っていく。この押し出し電極９１６があればイオンの開口部９１９への進行の効率を増大させることができる。

【０３１２】

基板領域Ａは、図４１と異なるのは、リング電極が上下基板に付着していることである。すなわち、主基板９０１に中央が細くなった貫通室９０４が形成され、テーパー形状になった基板側壁９０１－１、２が形成される。この形成方法は種々の方法があるが、たとえば、Ｓｉ基板をサポート基板に付着させ、フォトレジスト等でマスクし上部側からＳｉエッチングすれば、テーパー形状の傾斜面を持つ貫通室の半分を作製できる。このテーパー角度はエッチング条件を変えれば制御できる。次にサポート基板を取り外し、同じものを重ねて付着すれば（たとえば、一点鎖線Ｍで）、図４９に示す形状の貫通室９０４を有する基板領域Ａが作製できる。リング電極となる導電体膜９０５（９０５－１、２）は主基板９０１の基板側壁９０１－１、２の側面に積層されている。主基板９０１が導電体膜や、Ｓｉ等の半導体基板であるときは、主基板９０１の上に絶縁膜を積層した後に導電体膜を積層させる。ここで、リング電極９０５（９０５－１、２）は基板面に平行な断面は略円形となっていて、ひと繋ぎの電極である。

【０３１３】

上部基板９０２にエンドキャップ電極９０６が形成され、イオントラップ室である貫通室

９０４に配置される。また、下部基板９０３にエンドキャップ電極９０８が形成され、イオントラップ室である貫通室９０４に配置される。エンドキャップ電極９０６の中央には開口部９０７が空いていて、基板領域Ａと基板領域Ｂに関して、基板領域Ａの上部基板９０２と基板領域Ｂの下部基板９１３が、開口部９０７と開口部９１９の軸がそろうようにして付着される。従って、開口部９１９および９０７を通って進んできたイオンはイオントラップ室９０４の中央部のイオン捕捉空間９１０でトラップされる。

【０３１４】

基板領域Ｃは、イオン検出室である貫通室９２４お有し、主基板９２１の上面に上部基板９２２が、主基板９２１の下面に下部基板９２３が付着している。上部基板９２２に主基板９２１の一部が９２１－３、４が残され、中央部に開口部９２８が開けられ、主基板の一部９２１－３、４の周辺、特に開口部９２８の側面側に導電体膜９２５－１、２が形成される。上部基板９２２側の開口部９２８は孔形状であるが、主基板の一部９２１－３、４の開口部は、平行な溝型であり、主基板の一部９２１－３、４の側面に形成された導電体膜は平行平板電極となる。貫通室９２４には、主基板の一部９２１－５、６が残されており、これらの表面は平行になっていて、平行な空間９２４－２を形成している。主基板の一部９２１－５、６の表面に（主基板が半導体や導電体であるときは、絶縁膜を介して）二次電子放出物質膜９２６（９２６－１，２）が形成され、その両端に導電体膜（上下において）が形成される。基板領域Ａと基板領域Ｃに関して、基板領域Ａの下部基板９０３と基板領域Ｃの上部基板９２２が、開口部９０９と開口部９２８の軸がそろうようにして付着される。

【０３１５】

イオン捕捉空間９１０でトラップされたイオンは、エンドキャップ電極９０８の電位に引かれて開口部９０９を通って基板領域Ｃの開口部９２８へ入る。基板領域Ｃの開口部９２８の主基板９２１－３と４の側面に形成された導電体膜電極９２５－１，２は平行平板電極となっているので、電圧を調整することによってイオン軌道を曲げることができる。従って、曲げられたイオンは下側電極の二次電子放出物質膜９２６－２に衝突し、電子ｅを放出する。この放出された電子ｅは、上側の電極の電界に引かれてその二次電子放出物質膜９２６－１に衝突し、電子ｅを放出する。放出された電子ｅは下側の電界に引かれてその二次電子放出物質膜９２６－２に衝突し、電子ｅを放出する。衝突により放出される電子は衝突する前の電子数よりかなり多いので、衝突を繰り返すたびに電子数が増大していく。二次電子放出物質膜の端に衝突して放出された最後の電子は、貫通室９２４（９２４－３）の右端の基板側壁９２１－２の側面（内面）に形成された導電体膜に衝突し、電流を発生させる。この電流を測定すれば、イオン量を求めることができる。

【０３１６】

空間９２４－２は、中央孔とすることもでき、このときは中央孔の内面に二次電子放出物質膜を形成する。その両端に導電体膜を形成して、その導電体膜に（高）電圧を印加し、この中央孔９２４－２内へイオンを衝突させれば、同様に二次電子が放出され、導電体膜電極９２７で電流変化を計測できる。尚、基板領域Ｃでは下側の主基板９２１－６の領域が上側の主基板９２１－５の領域より大きいが、中央孔を形成する場合でも、上下を重ねて付着させるので、特に問題はない。以上のようにして、複数のイオン化室を有する縦型のイオントラップ方式の質量分析装置を作製することができる。尚、図では、導電体膜と接続する配線やコンタクト配線や外側電極は記載していないが、配線は引きまわして設計できるので、外側電極を所望の場所に形成できる。また、ガス導入孔や真空引きライン用の開口部も記載していないが、これらも所望の位置に形成できる。

【０３１７】

＜電子増倍管＞

図１９において、質量分析室３０８で振り分けられたイオンビーム３３１はイオン検出室３０９へ入る。イオン検出室に配置されるイオン検出系は種々の方式を使用できる。ここでは、平行平板タイプまたはパイプ状のチャネル型二次電子増倍管であるとして説明する。イオン検出室３０９は、主基板内に形成された貫通室であり、中央孔３１０－５を有す

る基板側壁（隔壁）３０１－５で隔てられている。貫通室３０９の上部は上部基板３０２が、貫通室３０９の下部は下部基板３０３が付着し、側面側は主基板３０１で囲まれている。上部基板３０２の下面には電極３３３が形成され、下部基板３０３の上面には電極３３２が形成されている。これらの電極３３２、３３３は二次電子放出物質から構成されている。二次電子放出物質とは、イオンや電子等の荷電粒子が当たると、そのエネルギーを得て電子を放出しやすい物質である。二次電子放出物質として、たとえば、酸化マグネシウム（MgO）、Mg、Au、Pt、BeO、Cr、PolySi、Al、Al2O3、TiN、これらの複合膜、が挙げられる。

【０３１８】

平行平板タイプの場合は、主基板３０１の側面にも二次電子放出物質膜を形成し（この場合、絶縁膜を介することが望ましい。）主基板３０１の２つの側面同士を平行平板電極とすることもできる。パイプ状のチャネル型二次電子増倍管である場合は、上部基板３０２の下面の電極３３３、下部基板３０３の上面の電極３３２、主基板３０１の２つの側面に形成した電極としても二次電子放出物質を連続して接続すれば良い。また、中央孔を有する基板側壁のように、中央孔を有した基板側壁を形成し、そこに平行平板型に二次電子放出物質から成る電極、または中央孔の内面に連続した二次電子放出物質から成る電極を形成して、二次電子増倍管を形成できる。

【０３１９】

電極３３２、３３３の両端にはコンタクト孔３２３（その中に導電体膜が形成されている）が形成され、外部電極３２４（３２４－１、２、３、４）が上部基板３０２、下部基板３０３の外側に形成されている。イオンビーム３３１の導入側における電極３３２、３３３の外部電極３２４－１、３とイオン検出室の出口側における電極３３２の外部電極３２４－２、４との間に高圧直流電圧を印加すると、イオンビーム３３１は矢印で示すように、二次電子放出物質から成る電極３３２または３３３に衝突し、二次電子３３４－１が放出され、その二次電子３３４－１が対面する電極３３２または３３３に衝突し、二次電子３３４－２が放出され、これを繰り返してなだれ式に増倍されて最終的な二次電子３３４－ｎが、コレクター３３５に集められる。コレクター３３５は、イオン検出室３０９の二次電子放出物質から成る電極３３２、３３３の出力端部から出ていく二次電子３３４－ｎが衝突する部分、たとえば、イオン検出室３０９の長手方向の終端となる主基板３０１－６の側面に形成された導電体膜である。このコレクター３３５は、コンタクト孔３２３を通して外部電極３２４－５に接続する。イオン検出室３０９の二次電子放出物質から成る電極３３２、３３３の出力端部電極３２４－２、４とコレクター３３５に接続するコレクター電極３２４－５の間に二次電子３３４－ｎを導く直流電圧が印加されているので、二次電子３３４－ｎが殆どコレクター３３５へ集まりコレクター電極３２４－５を通してコレクター電流として検出される。

【０３２０】

尚、平行平板型の場合、電極３３２、３３３の両端を互いにずらすことによって、傾斜電界を形成できるので、二次電子のサイクロイド運動に近い運動も起こすことができるので、コレクター電流を増大させることもできる。（特公平０８－００３９８４）

【０３２１】

図４２は、本発明を用いたダイノードを多数配置したイオン検出室を示す図である。図４２（ａ）は基板面と平行方向の断面模式図、図４２（ｂ）は基板面と垂直方向の断面模式図を示す。イオン検出室６３７の隣室は質量分析室であり、これらの両室は基板側壁（隔壁）６３１－２－１および６３１－３－１（これらはつながった側壁であり、中央孔６３０（６３０－１）を有する）で隔てられていて、イオン検出室６３７は上下部基板６４１または６４２に開口した真空引き用開口部６４７を通して低圧になっている。質量分析室を出てイオン検出室に入ったイオンビーム６３０は、中央孔６３０（６３０－２）を有する基板側壁６３１－２－２および６３１－３－２（これらはつながった側壁である）の中央孔６３０（６３０－２）を通る。この中央孔６３０（６３０－２）の左右の側壁に平行平板電極を構成している導電膜６３３－１および６３３－２を形成する。一方の電極６３

３－１は上部基板６４１に開口されたコンタクト孔（導電体膜が積層されている）６４５を通じて外側電極６４６－０へ接続し、他方の電極６３３－２は下部基板６４２に開口されたコンタクト孔（導電体膜が積層されている）６４３を通じて外側電極６４４－０へ接続する。これらの外側電極６４４－０および６４６－０へ電圧を印加することによって、平行平板電極６３３－１および６３３－２の間に電界が生じ、イオンビーム６３９の軌道が曲げられる。中央孔に平行平板電極を形成すれば、電極間距離が小さいので、小さな電圧印加でも電界は大きくなり、イオンビームを簡単に曲げることができる。従って、小さな電圧でなくても良ければ、基板側壁に設けた中央孔を用いなくても、通常の主基板６３１の側面６３１－２および６３１－３の一部に平行平板電極用の導電体膜６３３－１および６３３－２を形成すれば良い。導電体膜はたとえばＣｕ、Ａｌ、Ｗ等である。

【０３２２】

イオン検出室６３７には左右の主基板側面６３１－２および６３１－３よりイオン検出室６３７内側へ突出した複数の主基板６３１－２－３－１～６３１－２－３－ｎ（主基板側面６３１－２側）および６３１－３－３－１～６３１－３－３－ｍ（主基板側面６３１－３側）が形成され、その突出物６３１－２－３－１～６３１－２－３－ｎおよび６３１－３－３－１～６３１－３－３－ｍの表面には絶縁膜（たとえば、SiO2膜やSiNxOy膜やSiNx膜）を介して二次電子放出物質膜６３２(６３２－１、・・・、６３２－ｎ)および６３５（６３５－１、・・・、６３２－ｍ）が形成される。この二次電子放出物質膜はたとえば、CVD法、PVD法で積層した後、フォトリソ法＋エッチング法で形成され、主基板の側面６３１－２および６３１－３からの突出部６３１－２－３－１～６３１－２－３－ｎおよび６３１－３－３－１～６３１－３－３－ｍの表面を少なくとも覆っている。二次電子放出物質膜は半導体または導電体であるから、隣同士および相互間に導通しないようにする。従って、主基板６３１と二次電子放出物質膜６３２との間には通常絶縁膜（SiO2等）を積層し、さらに突出部６３１－２－３－１～６３１－２－３－ｎおよび６３１－３－３－１～６３１－３－３－ｍに形成した二次電子放出物質膜６３２は互いに導通しないように、フォトリソ等およびエッチング等を用いて、不要な部分をエッチング除去する。次に導電体膜を積層し、突出部６３１－２－３－１～６３１－２－３－ｎおよび６３１－３－３－１～６３１－３－３－ｍに形成した二次電子放出物質膜６３２の一部と接触するように導電体膜配線６３４（６３４－１、・・・、ｎ）および６３６（６３６－１、・・・、ｍ）を形成する。平行平板電極用の導電体膜６３３－１および６３３－２の形成と同時に行なうことができる。

【０３２３】

突出部６３１－２－３－１～６３１－２－３－ｎおよび６３１－３－３－１～６３１－３－３－ｍは、貫通室（イオン検出室）６３７を形成するときに形成できる。二次電子放出物質膜６３２や導電体膜６３３のパターン形成は、主基板６３１の表面（または上部基板６４１および下部基板６４２の表面）に対して略垂直な側面に感光性膜パターンを形成し、それをマスクにして二次電子放出物質膜６３２や導電体膜６３３をエッチング除去する必要があるが、感光性シートを用いて露光する方法や、電着レジスト法で感光性膜パターンを形成した後、等方性エッチング（ドライまたはウエット）で形成できる。露光法は斜め照射露光法や斜め回転露光法を用いて行なうことができ、焦点深度が深ければ垂直照射でも可能である。電子線照射露光も用いることができる。また、焦点深度の深い露光法であれば、厚いレジスト膜も露光できるので、感光性膜の形成を塗布法で行なうこともできる。これらの導電体膜パターン６３３、６３４、６３６は、図４２（ｂ）にも示すように上部基板６４１の下面および下部基板６４２の上面にも形成されているので、その部分に対して上部基板６４１および下部基板６４２にコンタクト孔６４５および６４３を形成し、その中に形成した導電体膜を通し、さらにその上に導電体膜電極配線６４６（６４６－０、１、・・・、ｎ、ｎ＋１）および導電体膜電極配線６４４（６４４－０、１、・・・、ｍ）を形成する。これによって、導電体膜パターン６３３、６３４、６３６へ電圧を印加できる。

【０３２４】

イオンビーム６３９はイオン検出室６３７に入ると、上述した平行平板電極６３３（６３３－１、２）で発生する電界によって軌道を曲げて、一番近い突出物６３１－２－３－１の二次電子放出物質膜へ照射することができる。特に、導電体膜６３４－１を通してこれと接続する二次電子放出物質膜６３２－１へイオンビームの電荷と逆の電位をかければ、さらにエネルギーを得て照射することができる。二次電子放出物質膜６３２－１への電圧をかけるようにしておけば、その条件によって平行平板電極６３３（６３３－１、２）の存在はなくても良い。ただし、平行平板電極６３３（６３３－１、２）を設ければ所定の場所にコントロールして照射できる。イオンビーム６３９が二次電子放出物質膜６３２－１へ衝突すると、二次電子６４０が放出される。

【０３２５】

その対側面６３１－３に形成された突出部６３５－３－３－１に形成された二次電子放出物質膜６３５－１に導電体膜６３６－１からプラスの電位（発生した二次電子６４０が元に戻らないように、二次電子放出物質膜６３２－１の電位よりプラス側にしておく必要がある。その電圧条件は測定しながら最適値を設定すれば良い。）をかけておけば、矢印６４１－１のように二次電子放出物質膜６３２－１より放出された二次電子の殆どが二次電子放出物質膜６３５－１に入射し、さらに二次電子を放出する。これが繰り返されて最終段の突出部６３１－２－３－ｎに形成された二次電子放出物質膜６３２－ｎから増倍された多量の二次電子６４０－ｐが出射されて、コレクター導電体膜６３８へ集められる。コレクター導電体膜６３８もコンタクト６４５を通して外側電極配線６４６－（ｎ＋１）から電圧を印加することができ、二次電子放出物質膜６３２－ｎの電位よりプラス側にしておけば、殆どの二次電子がコレクター導電体膜６３８に照射され、二次電子により発生した電流を検知できる。

【０３２６】

たとえば、入射するイオン６３９がプラスの場合は、平行平板電極６３３－１に負電圧を印加し主基板６３１－２側へイオン６３９を曲げ、また二次電子放出物質膜６３２－１に負電圧（たとえば、－ａＶ）を印加しておけば良い。さらに二次電子６４０－１が次に当たる二次電子放出物質膜６３５－１に－ａＶよりも少しプラス側の電圧（たとえば、－ａ＋ｂＶ）をかけておけば、二次電子６４０－１が二次電子放出物質膜６３５－１に当たる。このように次段のダイノードに前段のダイオードより少し（たとえばｂＶ）だけプラスの電圧）をかけていき、最終段の二次電子放出物質膜６３２－ｎにｃＶをかける。（たとえば、ｃ＝－ａ＋ｎ×２ｂ）さらに、コレクター６３８へＣｃ＋ｄＶの電圧を印加すれば、最終段の二次電子放出物質膜６３２－ｎから出た二次電子６４０－ｐは殆どコレクター６３８へ集まる。上記のａ、ｂ、ｃ、ｄの値は、実測から決めていけば良いが、本発明のイオン検出室６３７は極めて小さく、しかもＬＳＩプロセスを用いているので極めて正確に作製できるので、ａ、ｂ、ｃ、ｄの値は小さくても比較的高電界を得ることができる。たとえば、基板側面６３１－２および６３１－３に形成された二次電子放出物質膜同士の距離を１ｍｍとすれば、ａ＝１０Ｖ～５００Ｖ、ｎ＝１０、ｍ＝９として、ｂ＝０．５Ｖ～２５Ｖ、ｃ＝０Ｖ、ｄ＝１～５０Ｖの間で選択できる。また、基板側面６３１－２および６３１－３に形成された二次電子放出物質膜同士の距離を長くなれば、たとえば、上記の値をその倍数だけ大きくしていけば良い。

【０３２７】

図４２（ｂ）はイオン検出室６３７の縦方向（基板面に対して垂直方向）断面模式図であるが、断面方向（紙面に対して垂直方向）の構造も一部重ねて示している。たとえば、平行平板電極６３３（６３３－１、２）およびコンタクト孔６４３、６４５ｍおよび電極・配線６４４－０、６４６－０は必ずしもすべてが同一の断面にはならないが、それらの関係が分かるようにすべての構造を記載している。ただし、同一断面にならないものについては透明模様を採用している。このような関係は直ぐに分かるので、他の部分にも適用している。コレクター６３８の領域はイオン検出室６３７と大きさを同じとして描いているが、横方向（図４２（ａ）の縦方向）は大きく取ることもできるので、コレクター６３８のある領域６３７－Ａを横方向に広くしてコレクター６３８の面積を大きくし、より多く

の二次電子６４０－ｐを捕捉することもできる。

【０３２８】

図４２（ｃ）は、図４２（ａ）および（ｂ）におけるＡ－Ａ‘部分の断面模式図であり、図４２（ａ）および（ｂ）の左右方向から見た図である。破線６４７で示す線は主基板６３１の側面６３１－２とダイノード部分となる突出部６３１－２－３との境目を示すが、実際には同じ主基板であるから境目は分からないので、他の所でイオン検出室となる空洞で突出部分がない部分における主基板側面を延長して破線として記載している。同様に破線６４８で示す線は主基板６３１の側面６３１－３とダイノード部分となる突出部６３１－３－ｍとの境目を示す。突出部６３１－２－３および突出部６３１－３－ｍの表面にはそれぞれ二次電子放出物質膜６３２および６３５が上基板６４１の下面から下基板６４２の上面まで積層されている。また、突出部６３１－３－ｍの上の二次電子放出物質膜６３２の表面にはさらに導電体膜６３６が上基板６４１の下面から下基板６４２の上面まで積層されている。このように広い領域で導電体膜６３６と二次電子放出物質膜６３２は接触しているので、二次電子放出物質膜６３２、６３５が導電体膜の場合はもちろん、半導体膜の場合にも、導電体膜６３６から二次電子放出物質膜６３２に十分に電位が印加される。当然ではあるが、突出部がある部分はない部分に比べてイオン検出室が狭くなっている。尚、これまでもそうであるが、二次電子放出物質膜６３２、６３５と主基板６３１との間には絶縁膜を形成して導通しないようにすることもでき、さらに導電体膜６３６や二次電子放出物質膜６３２、６３５の上に保護膜としての絶縁膜を形成することもできる。本発明の優れている点は、貫通室の中でコンタクト孔やビア等の小さなパターンを形成する必要がないので、貫通室のような凹部となった部分におけるパターニングの正確さが不要であり製造がしやすい。

【０３２９】

図４２（ｄ）は、図４２（ａ）および（ｂ）におけるＢ－Ｂ‘部分の断面模式図であり、図４２（ａ）および（ｂ）の左右方向から見た図である。中央孔６３０－２の内面の左右両側に平行平板電極用の導電体膜６３３（６３３－１、２）が形成されている。これらの導電体膜６３３（６３３－１、２）は図４２（ａ）および（ｂ）に記載しているように上基板６４１または下基板６４２の方にまで伸びていて、外側電極・配線６４６－０や６４４－０から電圧を印加できる。中央孔６３０や導電体膜６３３の形成方法は、これまでも説明した様に主基板６３１を上下に分離して、それぞれ上基板６４１や下基板６４２に付着させて形成することができ、さらにそれらを貼り合わせれば良い。その貼り合わせ（付着）部分を破線６４９で示す。

【０３３０】

突出部分６３１－２－３－１～ｎや６３１－３－３－１～ｍの形状を図４２（ａ）に示すように、イオンビーム６３９の入射方向に傾いた傾斜面を持つように主基板６３１の厚み方向に略垂直に形成すると、イオンビーム６３９を一定角度で二次電子放出物質膜６３２のパターンへ照射しやすい。さらに二次電子の入射角度もほぼ一定角度で対面する傾斜面に入射しやすいので、設計や条件設定が簡単である。イオンビーム６３９の入射側に最も近くイオンビームが照射されるダイノード部である突出部６３１－２－３－１の傾斜角をα１、そこから出た二次電子が照射される対向するダイノード部である突出部６３１－３－３－１の傾斜角をβ１、主基板６３１の側面６３１－２側のｎ番目のダイノード部である突出部６３１－２－３－ｎの傾斜角をαn、主基板６３１の側面６３１－３側のｍ番目のダイノード部である突出部６３１－３－３－ｍの傾斜角をβｍとする。このとき、１０度＜α１、・・・、αn＜４５度、１０度＜β１、・・・、βｍ＜４５度とするのが良い。これによってイオンビームの照射角度や二次電子の放出率および照射角度を制御しやすい。尚、傾斜角を小さくすれば、イオン検出室を長くする必要があり、傾斜角を大きくすれば、イオン検出室を短くできる。（同じダイノード数の場合）

【０３３１】

尚、突出部分６３１－２－３－１～ｎや６３１－３－３－１～ｍの表面形状は湾曲形状にすることもできる。たとえば、主基板を上下２つに分割して、それぞれ突出部分６３１－

２－３－１～ｎや６３１－３－３－１～ｍ形成するときに横方向エッチング（サイドエッチング）と縦方向（主基板の厚さ方向）のエッチング速度を制御するウエットエッチングまたはドライエッチングを用いて、突出部分６３１－２－３－１～ｎや６３１－３－３－１～ｍの表面形状を湾曲（片側）または傾斜面エッチングして、それらを中央部分で付着させれば良い。突出部分６３１－２－３－１～ｎや６３１－３－３－１～ｍの表面形状をこのような傾斜面または湾曲面にすれば、二次電子線等を突出部分６３１－２－３－１～ｎや６３１－３－３－１～ｍの表面に集中できるので、より多くの二次電子線を発生させることができる。

【０３３２】

図４３は、図４２で示す平行平板型電極を作製する方法の一実施形態を示す図である。この平行平板型電極６３３－１、２の作製方法の難しさは、中央孔６３０－２の側面に電極を形成することである。図４３では図４２で示す平行平板型電極付近の状態だけを示す。図４３では主基板は上下に半分分割される。図４３（ａ）～（ｅ）は平面図（主基板の表面に平行）であり、図４３（ｆ）～（ｋ）は平面図に垂直な断面図である。下部基板６５２に付着した主基板６５１の表面に感光性膜パターン６５３を形成し、中央孔を形成する部分を開口し（図４３（ａ）、その開口部から主基板６５１に中央孔となる凹部６５４を形成する。この中央孔６５４の深さは、実際の中央孔（図４２においては中央孔６３０－２）の深さの約半分である。この中央孔６５４の側面には平行平板電極を作製するので、この中央孔６５４のエッチングではできるだけ垂直にエッチングする。図４３（ｇ）は感光性膜パターン６５３を除去した状態である。

【０３３３】

次に、イオン検出室となる部分の感光性膜６５５の窓開けを行なう。感光性膜６５５－２は中央孔６５４を有する基板側壁を形成するパターンであり、感光性膜６５５－２、３はイオン検出室となる部分の基板６５１の側面を形成するパターンであり、開口部はイオン検出室となる部分である。（図４３（ｂ））これらの感光性膜パターンをマスクにしてイオン検出室となる部分の主基板６５１をエッチングする。これらのエッチングは垂直エッチングでも、あるいはテーパーエッチングでも良い。将来重ねて貼り合わせるときに上面がコントロールされたサイズでできていれば良い。図４３（ｃ）は、イオン検出室となる部分の主基板６５１のエッイングを行ない、感光性膜６５５を除去した後の状態を示していて、イオン検出室の側面となる主基板６５１－２、３や中央孔６５４－１を有する基板側壁６５１－１、さらにはイオン検出室の下面となる下部基板６５２が示されている。図４３（ｂ）で示す凹部６５４の長手方向（中央孔のイオンビーム進行方向）は、マスクずれやエッチングばらつき等も考慮して実際の中央孔６５４－１より大きく形成した方が良い。

【０３３４】

次に主基板６５１上に絶縁膜を形成し、（絶縁膜は記載せず、主基板が絶縁体であるときはなくても良い）導電体膜６５６を積層し、平行平板用の電極形成用の感光性膜パターン６５７－１や配線形成用の感光性パターン６５７－２、３を形成する。これらの感光性膜パターンは段差部に形成されるので、感光性シート膜や電着レジスト膜、焦点深度の大きい露光法、斜め露光法、回転露光法等を用いて行なう。（図４３（ｄ））その感光性膜パターンをマスクにして導電体膜６５６をエッチングして、導電体膜パターン６５６（６５６－１、２、３）を形成する。図４３（ｅ）は感光性膜６５７を除去後の平面図であり、導電体膜パターン６５６－１は中央孔６５４－１の左右側面に形成された電極となり、導電体膜パターン６５６－２、３は下部基板６５２に形成された配線パターンである。図４３（ｅ）におけるＡ－Ａ‘断面が図４３（ｈ）であり、主基板６５１の側壁６５１－１の中央部に形成された中央孔６５４の左右の側面に導電体膜電極６５６－１が形成されている。図４３（ｅ）におけるＢ－Ｂ‘断面が図４３（ｉ）であり、中央孔６５４の側面に導電体膜電極６５６－１が形成され、その導電体膜電極６５６－１は下部基板６５２に形成された配線パターン６５６－２、３と基板側壁６５１－１の段差部で接続している。この導電体膜６５６の形成は、まずＣＶＤ法やＰＶＤ法で形成したときは段差部で薄くなるが

、その後メッキ法や選択ＣＶＤ法等で導電体膜を厚く積層するので、段差部でも十分接続する。さらに主基板６５１のエッチングのときにテーパーエッチングをすれば段差部がテーパー化するので、導電体膜の接続もより十分となる。尚、図４３（ｉ）では導電体膜６５６と主基板との間の絶縁膜は記載していない。

【０３３５】

同様のものを上部基板６５８側にも形成して、下部基板６５２側と上部基板６５８側とを付着させることによって、中央孔に形成された側面が平行平板電極となるイオン検出室が形成される。図４３（ｋ）は下部基板６５２側と上部基板６５８側とを付着させた後、コンタクト孔６５９（６５９－１、２）、６６０（６６０－１、２）、それらのコンタクト孔への導電体膜の形成、さらにそれらに接続する電極・配線６６１（６６１－１、２）、６６２（６６２－１、２）を形成する。（これらのコンタクト孔や電極・配線は付着させる前に形成することもできる。）上下の導電体膜配線６５６－２と４、および６５６－３と５との接続、さらには中央孔６５４の側面に形成された導電体膜６５６－１同士（６５６－１－１、２）の接続は、付着時にたとえば圧着されて接続する。あるいは、適度な熱処理を行なって接着したり、融着させることもできる。接着剤を用いて接着するときには、分散型導電体粒子を含む接着剤で圧着すれば、導電体膜の有る部分だけ接続できる。以上のような簡単なプロセスで中央孔側面に平行平板電極を形成し、イオン検出室外側から電圧印加も自由にできるので、所望の条件でイオンビームの軌道を変化させることができる。上記説明や図面から簡単に分かるように、中央孔の途中で電極を分離することもでき、それぞれの電極への電圧印加をすることができ、前段の平行平板電虚と後段の平行平板電極のそれぞれでイオンの軌道を変化させることができるので、より精密なイオンビーム制御を行なうこともできる。さらには、中央孔の上下にも平行平板電極を簡単に形成できる（上下だけに感光性膜パターンを形成し、側面の導電体膜をエッチング除去すれば良い）ので、イオンビームの上下方向の制御もできる。従って、上下方向の制御と左右方向の制御を行ないながらイオンビームを左右上下に制御することもでき、所望のダイノードやチャネル電極の所望部分へイオンビームを照射することもできる。

【０３３６】

図４４は、本発明の中央孔をチャネル形二次電子増倍管に適用した実施例を示す図である。イオン検出室６７７内に長さＬの中央孔６７４－３を有する基板側壁６７１－３が形成されている。イオン検出室６７７は、上部基板６７２と主基板６７１と下部基板６７３が付着した状態で上部基板６７２と下部基板６７３の間の主基板の一部または全部がくり抜かれた空洞室である。イオン検出室６７７は、隣室のたとえば質量分析室から入射するイオンビーム６７８がイオン検出室６７７と隣室とを隔てる基板側壁（隔壁）６７１－１が有する中央孔６７４－１を有する基板側壁（隔壁）６７１－１、イオンビーム６７８を曲げてチャネル形二次電子増倍管６８０の中央孔６７４－３の所定の内面壁へ当てる平行平板型電極６７６－１－１およびイオンビームが通る中央孔６７４－２を有する基板側壁６７１－２、チャネル形二次電子増倍管６８０、チャネル形二次電子増倍管６８０から出射する二次電子線６７９－ｎが照射するコレクタ電極６７６－４、およびコレクタ電極６７６－４を付着（積層）させて支持する基板側壁６７１－４を有する。本発明では、コレクタ電極も他の導電体膜と同じプロセスで積層できる。たとえば、上部基板６７２または下部基板６７３に付着させた主基板６７１に貫通室６７７を形成し、その後、主基板が導電体基板（たとえば、Ｆｅ系やＣｕ系、Ａｌ系、導電Ｃ系）や半導体基板（たとえば、Ｓｉ系、Ｃ系、化合物系）の場合は、絶縁膜（たとえば、ＳｉＯｘ、ＳｉＯｘＮｙ、ＳｉＮｙ）を積層させた後、導電体膜（たとえば、Ｃｕ系、Ａｌ系、導電Ｃ系、Ｔｉ系、Ｗ系、シリサイド系、導電性ＰｏｌｙＳｉ系、Ｍｏ系、Ｎｉ系、Ａｕ系、Ａｇ系）を積層し、所望のパターニングをすれ良い。その後、上部基板側と下部基板側を貼り合わせれば良い。コレクター電極６７６－４はイオンビーム６７８の進行方向に対して直角方向の基板側壁６７１の側面６７１－４に形成されているように描いているが、二次電子６７９－ｎを最も捕捉しやすいように形成しても良い。たとえば、基板側面６７１－４の中央部を窪ませても良く、この形成方法は基板側面６７１－４（の分割した半分）を形成時に等方性エッチ

ングやコントロールしたサイドエッチングを行なうことによって作製できる。また、イオンビーム６７８の進行方向に対して基板側壁６７１の側面６７１－４を傾斜させることも簡単にできる。さらにコレクター電極のあるイオン検出室（二次電子増倍管となる領域６８０を出た所からのイオン検出室）を主基板側面方向（主基板の厚み方向と直角な、図４４の紙面に対して直角方向）に拡張して広げて作製しても良い。

【０３３７】

図４４の平行平板電極６７６－１（６７６－１－１、２）も図４３に示したものと同じく中央孔に形成した電極であるが、上部基板６７２および下部基板６７３、および主基板表面に平行な電極である点で図４３に示したものとは異なる。（図４３に示したものは上部基板６７２および下部基板６７３、および主基板表面に垂直方向に形成されている。）この形成方法は、既に記載した通りであるが、導電体膜６７６－１－１を形成した後に、中央孔６７４－２の底面側を感光性膜でカバーし、側面側の感光性膜を除去し、それらのパターンをマスクにして側面側の導電性膜をエッチング除去すれば良い。あるいは、基板側壁を用いないで、上部基板６７２の下面に上部電極を形成し、下部基板６７３に下部電極を形成して、平行平板電極を作製することもできる。この場合、主基板６７１を上部基板６７２または下部基板６７３に付着させた後に貫通室を形成し、その後絶縁膜および導電体膜を形成して、感光性膜をパターニングし上部電極を上部基板６７２の下面に、下部電極を下部基板６７３の上面に形成して平行平板電極構造を構成することもできるし、または、上部基板６７２および下部基板６７３にそれぞれ上部電極および下部電極を形成した後に、既に貫通室または凹部を形成した主基板６７１を付着させて（貫通室または凹部の部分に上部電極および下部電極のパターンを合わせる）、平行平板電極構造を構成することができる。（凹部の場合は、付着させた後に完全に貫通室となるように主基板の除去（エッチング）を行なう必要がある。）中央孔の上下電極の距離をｄとすれば、電界Ｅ＝Ｖ／ｄであるからｄおよびＶを変化させることによってイオンの軌道を変化させることができる。すなわち、同じイオン軌道の変化量を得るときに、ｄが小さければ印加電圧Ｖは小さくて済む。ｄが最も大きくなるときは、主基板６７１の側壁がない場合であり、そのときｄは主基板の厚みにほぼ等しい。（実際には、絶縁膜や導電体膜の厚みも考慮する必要がある。）

【０３３８】

次に、二次電子増倍管６８０について詳細に説明する。本発明を用いれば簡単なプロセスでチャネル形二次電子増倍管を作製できる。すなわち、長さＬの中央孔６７４－３を有する基板側壁６７１－３を作製する。この作製方法はこれまでと同じく、主基板６７１を２つに分割し、深さｄ／２、幅ｅの凹部を作製する。垂直エッチング法を用いれば断面が矩形形状の凹部になり、サイドエッチング法を用いれば傾斜した凹部（略台形形状と呼んでも良い）が形成できる。（少し湾曲した形状となる場合もある。）次に、主基板６７１の基板側壁６７１－３（この長さが二次電子増倍管のチャネル長さとなる）を作製する。すなわち、基板側壁６７１－３等（他の基板側壁パターンも含む）以外の主基板６７１のエッチングを行ない、貫通室であるイオン検出室６７７を形成する。この後、凹部６７４－３および基板側壁、貫通室等へ絶縁膜および二次電子放出物質６７５を積層し、次に二次電子放出物質６７５を図４４に示すように凹部６７４－３および基板側壁６７１－３の両端の側面部分（および上部基板６７２、下部基板６７３、基板６７１の貫通室６７７の側面で必要な部分）に二次電子放出物質６７５を残して、それ以外はエッチングする。次に導電体膜６７６を積層し、二次電子放出物質６７５の両端部部分と接触するように配線６７６－２（６７６－２－１、２）および６７６－３（６７６－３－１、２）、それ以外の配線６７６－１（６７６－１－１、２）やコレクター電極６７６－４等を形成する。この後導電体膜６７６を保護する保護膜（たとえば、ＳｉＯｘ、ＳｉＯｘＮｙ、ＳｉＮｙ）を形成しても良い。この後、上部基板側と下部基板側を貼り合わせる（付着させる）。

【０３３９】

付着した後の図４４（ａ）におけるＡ－Ａ‘の断面図を図４４（ｂ）に示す。中央孔６７４－３は主基板６７１（６７１－３）に積層された絶縁膜６７４－３、その上に積層され

た二次電子放出物質６７５に囲まれている。この空洞部分６７４－３を二次電子が増倍されながら進んでいく。すなわち、イオンビーム６７８が空洞（チャネルと呼ぶ）の入り口付近に当たり、そこで二次電子６７９－１が発生する。二次電子増倍管６８０の入り口側の電極６７６－２（６７６－２－１、２）と二次電子増倍管６８０の出口側の電極６７６－３（６７６－３－１、２）との間に電圧Ｖが印加され（入口側の電圧を出口側より負側にする。たとえば、出口側を０Ｖとした時、入口側に$-P_0V$（$P_0>0$）とすると出口側へいくに従い二次電子増倍管は正側になっていくので、電子が次々に二次電子放出物質６７５に当たりながら放出電子数を増大していく。出口では、コレクター６７６－４の電圧を出口側電極６７６－３（６７６－３－１、２）より正側にしておけば、（たとえば、出口側を０Ｖとして、コレクター電圧をQ_0V（$Q_0>0$）とする）最後の二次電子６７９－ｎがコレクター６７６－４へ集められて、コレクター電流を検出できる。中央孔６７４－３の形状は、凹部のエッチングの時に種々変えることができるので、最適の形状を選択できる。また、凹部の側面または上下の二次電子放出物質を除去すれば、平行平板形の二次放出電子物質による電極も形成できる。主基板６７１の側壁６７１－３をなくして、上部基板６７２、下部基板６７３、主基板６７１の側面（図４４の紙面に垂直方向）に二次電子放出物質を積層すれば、深さｄが主基板６７１のほぼ厚み分、幅ｅが主基板の側面のほぼ幅分のチャネル型（平行平板型もパイプ型（内部で二次電子放出物質がつながっている）もできる）の二次電子増倍管も作製できる。

【０３４０】

さらに、チャネル深さ（主基板の厚み方向）ｄを進行方向に徐々に大きくすることは難しいが、チャネル幅（主基板の側面方向、すなわち図４４の紙面に垂直方向）ｅを進行方向に徐々に連続的に大きくすることは簡単にできる（マスクで簡単に作製できる）ので、傾斜電界も容易に作製できる。従って、チャネル長さＬを余り長くしなくても傾斜電界を実現できる。尚、平行平板電極で電界をかけてイオンビームを上下（図４４の方式）または左右（図４２、図４３の方式）に軌道を制御できるが、二次電子増倍管６８０内の最初にあたる二次電子放出物質の場所と対応させておけば、発生する二次電子は電界に引き寄せられていくので、二次電子増倍管６８０の構造が平行平板型の場合において、その電極構造が上下型でもまたは左右型でもそれほど問題なく二次電子を増倍することができる。あるいは、イオンビームの軌道を変化させる平行平板電極がなくても、直接二次電子増倍管６８０内へ入射させれば電界に引き寄せられて二次電子放出物質へ当たり二次電子を発生し、その後も電界に引き寄せられて二次電子の増倍化を実現できる。ただし、平行平板電極があれば、二次電子増倍管の所望の場所へイオンビームを照射できるので、二次電子増倍管の長さや大きさ（ｄやｅ）を小さくすることができる。

【０３４１】

本発明の質量分析装置において、Si基板（４インチウエハ以上）の上下面にガラス基板を付着して、Siウエハに複数の貫通室を作製する。隣接する貫通室は中央孔（中央に基板面と平行な水平方向溝が中央に形成される）を有する基板側壁板で仕切られる。この中央孔を有する貫通室の形成方法は種々あるが、たとえば、中央孔の真中付近で上下別々に分けて、中央孔の半分および貫通室の半分を形成して、上側と下側を中央孔の所で付着させて作製できる。すなわち、一括基板型装置である。

図４５は、ガラス基板を上下面に付着したSi基板（４インチウエハ以上）を用いた本質量分析装置の断面図(基板面に垂直方向)を示す。図４６(ａ)は、電場部および磁場部を含む質量分析部の平面図（基板面に平行な断面図）示す。図４６（ｂ）は、磁場部およびイオン検出部の別の実施形態を示す平面図である。本質量分析装置は、図４５に示すように、試料供給部、イオン化部、引き出し電極部、質量分析部、イオン検出部から構成される。試料供給部から供給された試料ガスまたは試料液体は、イオン化部出口で霧（ガス）化し、高電界が印加されるイオン化部でイオン化する。その発生したイオンは引き出し電極・加速電極部の引き出し電極により引き寄せられ、加速または減速・収束して、電場室および磁場室を有する質量分析部へ入り、質量分析部で質量電荷比ｍ／ｚ（ｍ：質量、ｚ：電荷）に応じて選別され、イオン検出部へ出射される。イオン検出部でイオン電荷が電子増

倍され電流としてイオン量が検出される。本発明は、ガスクロマトグラフィや液体クロマトグラフィーなどと結合した質量分析装置（GC－MS、LC－MS）の一括基板型装置とも言える。（尚、固体試料へも応用できる。）図４５に基づいて、各部の概要を述べる。

【０３４２】

＜Ａ。試料供給部＞

図４５に示す試料供給部およびイオン化部は、エレクトロスプレーイオン化法（ＥＳＩ）を本発明に適用したものである。試料は、目標物質（試料）を含む液体（試料液）を使用するので、液体クロマトグラフィー（LC）－ESI法の一種である。試料液の入る試料導入ライン１７を上部基板２の開口部１４に接続する。Ｓｉ基板の中央（厚さ方向における）に形成された中央孔（試料導入管）１１－１が形成されており、その中央孔（試料導入管）１１－１の入り口側は厚み方向に形成された縦孔（試料導入管）１３に接続し、その縦孔（試料導入管）１３は上部基板２の開口部１４に接続する。中央孔（試料導入管）１１－１の出口側は、イオン化部のイオン化室４－１に接続する。試料液は矢印Ａから入り、中央孔（試料導入管）１１－１はキャピラリ（毛細管）になっているので、イオン化室に入った所で広がり、霧化（ガス化）（記号A-1で示し、スプレーガスとも言う）する。

上部基板２の開口部１４、縦孔（試料導入管）１３のサイズは比較的自由に選択できる。中央孔（試料導入管）１１－１のサイズはＳｉ基板１１の厚みに依存するが、Ｓｉ基板１１も積層すれば自由に厚みを増大することもできる。従って、たとえば、Si基板１１の厚みは、0.5㎜～10㎜で調節でき（もちろん、これより広い範囲で調節も可能）、中央孔（試料導入管）１１－１の直径は50μｍ～1㎜を正確に作製でき、毛細管としての機能を発揮できる。中央孔（試料導入管）１１－１には加熱用導電体膜９－７、１０－７も形成できるので、試料を加熱することもできる。あるいは、中央孔１１－１の外側において凹部れ、この導電体膜電極９－１に上部基板２に形成されたコンタクト配線５を通して、上部基板２の上面に形１５を上下に設けて、この部分に熱い液体や気体を流したり、または薄膜抵抗体を形成し電気加熱して、中央孔１１－１内の温度を高めることもできる。

【０３４３】

＜Ｂ。イオン化部＞

イオン化室４－１は、Ｓｉ基板１内に形成された貫通室であり、上部が上部基板(たとえば、ガラス基板や石英基板)２、下部が下部基板３、左側面（図４５における）が中央孔１１－１を有する基板側壁１－１、右側面が中央孔１１－２を有する基板側壁板１－２、奥側側面および手前側側面もSi基板側壁（図４５では示すことができない）によって囲まれている。

上部基板２の下面の一部には導電体膜電極９－１が形成さ成された外側電極７－１が接続する。また、導電体膜電極９－１は中央孔内面の導電体膜電極９－７と接続する。

下部基板３の上面の一部には導電体膜電極１０－１が形成され、この導電体膜電極１０－１に下部基板３に形成されたコンタクト配線６を通して、下部基板３の下面に形成された外側電極８－１が接続する。また、導電体膜電極１０－１は中央孔内面の導電体膜電極１０－７と接続する。

導電体膜電極９－１は、上部基板２に形成してからＳｉ基板１に付着して、形成できる。あるいは、上部基板２を付着したＳｉ基板１に貫通室４－１を形成してから、導電体膜電極９－１を形成することもできる。このとき、中央孔１１－１も形成できるので、中央孔内面に導電体膜電極９－７も形成することができる。導電体膜電極１０－１および１０－７も同様である。また、貫通室内において、記載していないが、導電体膜とＳｉ基板１との間には絶縁膜（ＣＶＤ法等で積層、たとえば、SiO2膜やSiN膜）が形成されている。（尚、絶縁膜は、他の部分についても記載していない。）また、導電体膜の上には保護膜として絶縁膜を形成することもできる。

上部基板２側に付着したSi基板１uと下部基板３側に付着したSi基板１bとは、貫通室、中央孔、絶縁膜、導電体膜、保護膜等を形成した後にSi側の面で付着する（付着面を一点鎖線Mで示す）。この付着法として、常温接合、接着剤を使用した接着、間にガラス基板を挟んで静電陽極接合等を使うことができる。

従って、毛細管としての中央孔１１－１の内面の導電体膜電極９－７および１０－７には、外側電極７－１および８－１から2000V～4000Vの高電圧を印加できる。（対電極は、基板側壁板１－２上の導電体膜電極１０－２－１である。）この結果、試料液が毛細管である中央孔１１－１を通り、イオン化室４－１の出口１８において帯電した液滴（スプレーガス）A-1となって、貫通室４－１に放出される。
貫通室４－１内は、導電体膜電極９－１、１０－１の一部を使って加熱することもでき、また開口部１６を上下基板２、３に設けてポンプに接続し、気化した溶媒を速やかに排出することもできる。また、前述したように中央孔１１－１を加熱することもできるので試料液Aのガス化を助けることもできる。この結果、帯電液滴（スプレーガス）は微細粒子化・乾燥し、試料がイオン化する。
イオン化室４－１の温度が他の部分へ伝達しないようにするために、イオン化室４－１の周囲や中央孔１１－１の周囲に凹部１５と同様の凹部を設けて、その凹部に冷却ガス（ドライアイスガス等）や冷却水を導入することもできる。また、イオン化室等の汚れは、開口部からパージガスやクリーニングガス、あるいは洗浄液等を導入し、常にクリーンな状態を保持することもできる。本発明の貫通室の容積は非常に小さいので、クリーニング後も短時間で元の状態へ復帰しやすい。
尚、イオン化法は、以下の他のイオン化法も本発明の一括基板型で作製可能なので、ＴＥＧ（テストパターン）で他のイオン化法も検討する。また、イオン化室４－１に設けた開口部から外部で発生したイオンを導入することもできる。

【０３４４】

＜（１）大気圧化学イオン化（APCI）、（２）大気圧光イオン化(APPI)、（３）電子イオン化（EI）（４）平行平板電極による高周波プラズマによるイオン化＞
たとえば、（３）電子イオン化(EI)について、図４７に基づいて簡単に説明する。イオン化室３４－１は、上部基板３２、下部基板３１が上下面に付着したSi基板３１内に形成された貫通室であり、開口部４２から試料ガスＧが導入され、開口部４３から真空引きされ、低圧にされる。下部基板面にタングステン(W)膜のフィラメント４１が形成され、外側電極３８－１－１および３８－１－２で電流が流れ、フィラメント４１が加熱され熱電子(ｅ)が発生する。熱電子ｅは対面する上部基板面に形成された電子トラップ電極３９－１－２に向かって飛んでいく。（イオン化電圧５０Ｖ～１００Ｖ）イオン化室３４－１へ導入された試料ガスＧは熱電子によりイオン化する。（$M+e^{-}\rightarrow M^{+}+2e-$）生成したイオンは、基板側壁３１－１の側面に形成された導電体膜電極（リペラー電極）４０－１－１により押し出され、イオン化室３４－１から隣の引き出し電極・加速電極室３４－２へ送られる。引き出し電極・加速電極室３４－２ではイオンは引き出し電極・加速電極４０－２－１、２により加速し、図４５等に示した隣の質量分析室へ入射する。必要なら、さらに電極を並べて加速または収束させる。
上部基板の外側に電磁石コイルＢ－３が配置される。（下側Ｎ極）下部基板の外側に電磁石コイルＢ－４が配置される。（上側Ｎ極）このようにイオン化室を磁石で挟むことにより、フィラメント４１から出た熱電子ｅは磁場により螺旋を描きながら電子トラップ電極３９－２－２へ向かい、試料ガス分子との衝突時間（機会）が増えて、イオン化効率を増大させることができる。
他の方式についても本発明で作製でき、イオン種により最適の方式を選定できる。

【０３４５】

＜Ｃ。引き出し電極部＞
引き出し電極室４－２は、中央孔１１－２を有するＳｉ基板側壁板１－２によりイオン化室４－１と仕切られている。Ｓｉ基板側壁板１－２に接近して中央孔１１－３を有するＳｉ基板側壁板１－３が配置され、Ｓｉ基板側壁板１－２の側面および中央孔１１－３に導電体膜電極１０－２－２が形成され、外側電極８－２－２に接続する。Ｓｉ基板側壁板１－２の側面の導電体膜電極１０－２－２と対面するＳｉ基板側壁板１－２の側面にも導電体膜電極１０－２－１が形成され、コンタクト配線６を通して外側電極８－２－１に接続する。Ｓｉ基板側壁板１－２の導電体膜電極１０－２－１は接地され、Ｓｉ基板側壁板１

－３の導電体膜電極１０－２－２にはイオンと逆電荷の電圧が印加されている。イオン化室で発生したイオンは、Ｓｉ基板側壁板１－２の中央孔１１－２を通って引き出し電極室４－２に入り、引き出し電極である導電体膜電極１０－２－２に引かれて加速され、Ｓｉ基板側壁板１－３の中央孔１１－３を通って隣室へ出射される。この引き出し電極１０－２－２に印加される電圧をV_1とすれば、$1/2mv^2=zeV_1$　(i)が成り立つ。（ｍイオンの質量、ｖイオンの速度、ｚ電荷数、ｅ電荷素量、Ｖ印加電圧）
$m=10^{-25}$ kg、V_1=10Vとすると、イオンの速度$v=4.5\times10^3$ m/secとなる。
引き出し電極室４－２には、真空引き用の開口部１４が形成され、所定の圧力に保持される。また、真空引き用以外にも開口部１４が設けられ、Ar等の不活性ガスを入れて引き出し電極室４－２をクリーニングできる。
さらに、引き出し電極室４－２には、必要なら、引き出し電極と同じ構造の中央孔を有する基板側壁板（導電体膜も形成）を設けて、イオンと逆電圧を印加して加速させたり、またはイオンと同電圧を印加して減速および集束させることもできる。
＜Ｄ。質量分析部＞
質量分析部は、電場部および磁場部を持つ二重収束型である。（単収束型の場合電場部をなくす。）
＜Ｄ－１．電場部＞
引き出し電極部で加速したイオンは、Ｓｉ基板側壁板１－４が有する中央孔１１－４を通って電場室４－３へ入射する（速度ｖ）。電場室４－３は扇型形状の貫通室であり、扇型形状のＳｉ基板１の２つの対向する側面（図４６（ａ）参照、図４５では奥側Ｓｉ基板側面および手前側Ｓｉ基板側面）に導電体膜電極１０－８（１０－８－１、１０－８－２）が形成されている。この導電体膜電極１０－８には外側電極７－３および８－３から電圧V_2を印加できる。扇型電場室４－３の中心軌道半径をｒ、導電体膜電極１０－８（１０－８－１、１０－８－２）間距離をｄとすると、$zeV_2/d=mv^2/r$　(ii)。(i)と(ii)より、$r=2dV_1/V_2$となる。たとえば、d=10mm、V_1=10V、V_2=5Vとすれば、r=40mmである。従って、４インチウエハに作製可能である。
電場室４－３と磁場室４－４の間にエネルギーフィルター室４－６を配置し、電場で収束された収束面付近にエネルギーフィルターとなるスリット（基板側壁板１－５－２が有する中央孔１１－５－２）を配置して、一定範囲の運動エネルギーを持つイオンだけを通過させる。
【０３４６】
＜Ｄ－２．磁場部＞
電場によって選別されたイオンは、Ｓｉ基板側壁板１－５－３の中央孔１１－５－３を通って、速度ｖで磁場室に入り扇型磁場Ｂにより軌道を曲げられ、半径Ｒの中心軌道を描く。{$zevB=mv^2/R$　(iii)}
磁場室４－４では、基板面に対して垂直方向に磁場Ｂが印加されている。すなわち、上部基板２の上面にＢ－１の電磁石(コイル)が、また下部基板３の下面にコイル軸が基板面に垂直になるように配置される。(i)式から見積もったイオン速度を$10^3\sim10^5$ m/sec、R=４cm、Si基板の厚さ(磁場室の高さ)1mmとすると、磁界H(=B/μ_0、μ_0透磁率)は10^4 H(v=10^3 m/sec)、10^5 H(v=10^4 m/sec)、10^6 H(v=10^5 m/sec)となる。このような磁界は、コイル配線直径90μm、コイル直径1mm、巻き数100のコイルに約0.1A(v=10^3m/sec)、1A(v=10^4 m/sec)、10 A(v=10^5 m/sec)の電流を流して得られる。
このようなコイルは、基板上にコイル配線（Cu等をPVD法およびメッキ法により形成）を積層することによっても実現できる。（特許出願済）基板上に形成されたコイルはそのサイズを小さくできる(直径0.1mm～1mm以下のコイルも簡単に作製可能)ので、磁場室が小さくても十分な磁場強度を磁場室に印加できる。また、基板上に形成されたコイルを用いると、非常に正確に（合わせ誤差５μｍ以下）磁場室の所定位置にコイルを配置できる。特に、コイルを基板面に隙間なく（10μｍ以下の間隔で）並べることが可能であり、個々のコイルの電流制御が可能であるため、複数のコイルを配置した領域における磁場室の磁場強度を均一に保持することもできる。

コイル配線の層間絶縁膜の厚みを10μmとし、二重巻き配線にすれば（基板形成コイルの場合、多重巻きはプロセス増加なく簡単に作製できる）、上記サイズのコイル高さは約5mmとなる。コイル配線を超伝導体(たとえば、Nb系や高温超電導物質材料)にすれば大電流を流すこともできるので、磁場強度の調節範囲が大きくなり、質量の大きな分子にも適用できる。コイル領域を液体Heに浸漬しても少ない体積で済むため、ランニングコストも少なくて済む。

【０３４７】

＜多種イオンの同時検出法の調査・研究＞

本発明は、多数のイオン検出部を同時に（コストアップなく）一括して作製できる。これらの検出部は同じサイズで同じ性能を有するため、各イオン種の検出能力にバラツキが少なく、絶対的比較が可能である。その一例を図４６（ｂ）に示す。

図４６（ｂ）は、磁場部の周囲に多数のイオン検出部を設けた質量分析装置を示す平面図である。引き出し電極・加速電極室、または図４６（ａ）に示すエネルギーフィルター室である貫通室２２－１を進行してきたイオン２４がＳｉ基板側壁板２１－１の中央孔２７から貫通室２２－２へ出射される。貫通室２２－１に直接接続する貫通室２２－２の一部は磁場室Ｂとなっており、貫通室２２－１から出射したイオンは必ず磁場室Ｂを通る。磁場Ｂはイオンの入射軸に対して１８０度に印加されている。磁場室Ｂは矩形（正方形、長方形等）状または半円形状の磁場であり、基板面に垂直に磁場Ｂが印加される。貫通室２２－１の外周は、矩形状または円形状になっており、その外周に沿って多数のイオン検出部２２－４（２２－４－１－ｎ、２２－４－２－ｍ、２２－４－３－ｐ、２２－４－４－ｑ、ｍ、ｎ、ｐ、ｑ＝１、２、・・・）が配置される。(iii)式から分かるように、一様な磁場Ｂのもとで、イオン軌道半径Ｒは質量電荷比質量電荷比ｍ／ｚに依存するので、m/zが異なるイオン種は異なるイオン検出部へ入る。従って、磁場Ｂを掃引することなく多数のイオン種を同時に同定できる。さらに磁場Ｂの掃引も行なえば、さらに多くのイオン種の情報を入手でき、これらの多数の情報から従来よりも高精度な分析が可能となる。

従来の装置では、装置サイズが極めて大きくなること、装置作製がむずかしいこと、製造に時間がかかること、個々のイオン検出部の性能をそろえることも困難であること、製造コストが莫大になることなどのために、図４６（ｂ）で示す構造を作製することは不可能であったが、本発明では簡単に作製できることが大きなメリットである。

【０３４８】

＜Ｅ．イオン検出部＞

質量分析室４－４で選別されたイオンは、基板側壁板１－６の中央孔１１－６を通りイオン検出室４－５へ入射する。中央孔１１－６の上面に形成された導電体膜電極９－３および下面に形成された導電体膜電極１０－３は平行平板型電極となっており、これらに接続する外側電極７－４および８－４にかかる電圧を調整することによって、イオンの軌道を上下方向に変化させることができる。イオン検出室４－５には、電子増倍管となる中央孔１１－７を有する基板側壁板１－７（長さＬ）が形成される。電子増倍管が平行平板型である場合は、中央孔１１－７の底部および両端の側面、および上部基板/下部基板の一部に二次電子放出物質膜１２（１２－１、１２－２）を形成し、電子増倍管がチャネル型の場合は中央孔１１－７の内面全体および両端の側面、および上部基板/下部基板の一部に二次電子放出物質膜を形成する。二次電子放出物質は、たとえばMg0、Mg、Be0である。基板側壁板１－７の両端に導電体膜９－４、９－５、１０－４、１０－５を形成し、コンタクト配線５、６を通して外側電極７－５、７－７、８－５、８－６と接続する。基板側壁板１－７の両端に電圧(前方に対して後方を正とする)を印加すれば、二次電子放出物質膜１２－１および１２－２の長さＬ方向に傾斜電界が形成される。イオン検出室４－５へ入射したイオンが曲げられて二次電子放出物質膜１２－１の前方に当たると、二次電子ｅが放出される。その二次電子ｅは対面する二次電子放出物質膜１２－２に当たると、次の二次電子ｅが放出される。この二次電子ｅは対面する二次電子放出物質膜１２－１に当たると、次の二次電子ｅが放出される。これらが繰り返されて放出される二次電子量は次々に増倍し、電子増倍管である中央孔１１－７から増倍した電子が出ていき、その後方にある

Ｓｉ基板側壁に形成された導電体膜電極９－６および１０－６へあたり、コンタクト５を通して外側電極７－７に電流が流れる。すなわち、選別されたイオン量を検出することができる。

【０３４９】

＜最終製品概念図＞

図４８は、本発明の最終製品（本体のみ）のイメージ完成図である。すなわち、上下にガラス基板を付着したSiウエハ(４インチ～８インチ、もっと大きくても良い)内に、試料供給部、イオン化部、引き出し電極・加速電極部、質量分析部｛電場部（1/4扇型形状）、磁場部（1/4扇型形状）｝、イオン検出部を有する質量分析装置を作製する。真空系は外付けする。試料供給部は図に示すように、複数配置でき、外側から液体試料等を装置の試料供給部へ接続する。それぞれの機能部には導電体膜配線で電極に接続し、制御用および解析用ＬＳＩでコントロールできる。磁場部で超電導磁石を使用するときは、その部分に基板枠容器を設けて、極低温まで冷却することもできる。このように、本発明の質量分析装置は、４インチ～８インチのウエハ（基板）内に収納できる大きさとなり、超小型の質量分析器を極めて安価に作製できる。分解能は、電場部と磁場部の大きさで決まる要素が大きいが、極めて精度良く加工でき、また組立て誤差がなく、精密な装置を作製できるので、従来と同程度（二重収束型従来品では分解能が10,000以上）以上の精度は得られると思われる。

【０３５０】

＜本発明の新規性・優位性＞

本発明のような４インチ～８インチ｛直径100㎜～200㎜、厚み3㎜以下(Si基板2㎜、ガラス基板0.3㎜×２)、８インチ以上も可能｝の基板を使用して、微小な試料供給部、イオン化室、引き出し電極・加速室、電場室、磁場室、イオン検出室（これらを機能部と呼ぶ）を作製したことは報告されていない。また、特許等のアイデアも発見されていない。増して、これらを一括して同じ基板で実現したことも報告はなく、新規性および進歩性・優位性を有する。

本質量分析装置は超小型｛本体：サイズ６インチウエハ(50cm^3)以下、重量130g以下｝であり、一括製造であるから、製造コストは１０万円以下｛本体：サイズ６インチウエハ｝を実現できる。従来品は、同性能であれば、50cm×50cm×50cm以上、20kg以上であるから、大きさ（体積）で1/2500以下、重量で1/100以下、価格で1/20以下であり、優位性は十分ある。

各機能部を一括してしかも精度良く（１μm以下）作製できるので、他方式の部品組み立て方式に比較すると、はるかに正確に作製できるので、検出精度も従来と同程度以上は期待できる。

本発明は超小型で軽いので携帯が可能であるから、その場観測ができる。しかし、従来品は携帯が殆どできないことから、その場観測は極めて困難であり、この点でも大きな優位性がある。

さらに、本質量分析装置では、磁場室に基板作製のコイルを使用する。基板同士でアライメントしてコイルを配置するので、配置精度が10μm以下で非常に良い。しかもコイルの大きさも1㎜～10㎜と小さいので、全体のサイズも大きくならない。このような基板コイルを使用した磁場室は新規性および進歩性が高い。価格やサイズも小さく、精度も高いので、従来品より格段に優位性を有する。尚、コイルは電子イオン化法にも使用する。これも新規性および進歩性が高い。

【０３５１】

＜開発の成果によって期待される社会への貢献の内容＞

本発明で得られた結果により、質量分析層を基板型で作製できることが分かり、機器（量産機）開発の可能性が高まる。

真空系を含めた価格でも20万円以下を実現できるので、１家庭１台の質量分析装置を持てるようになる。従って、水質や、食品の検査も家庭でできるようになるので、食に対する安全意識が飛躍的に向上する。

サイズも真空系含めて、小型アタッシュケース程度(30cm×20cm×5cm)程度になるので、携帯も簡単にできる。従って、福島原発汚染で問題となっている放射性セシウム(137Cs)などの分析もその場でできるので、危険地帯には近寄らないなど人間の安全度を向上できる。
犯罪現場でも直接物質を分析できるので、迅速な原因究明や犯人特定を援助でき、この結果、犯罪の抑止力にもなる。
さらに、考古学者や環境科学者が現地で精密なその場観測ができるので、科学技術の発展が飛躍的高まる。また、安く小さいので、大量に購入でき、多数の分析を迅速に行なうこともできる。
以上のように、質量分析装置が個々人に身近となり、安全・安心な社会の実現に貢献できる。
また、本発明は、四重極型、イオントラップ型、タンデム型、飛行時間型、FT-ICR(フーリエ変換イオンサイクロトロン共鳴)など他の方式の質量分析装置にも適用できるので、目的や用途に応じて種々選択し、幅広い応用が期待できる。
さらに、イオン注入装置へも適用でき、装置価格も現状の約１億円から100万円台に下げることができる。半導体価格のコストダウンに大貢献できる。
さらに、この質量分析装置の構造は加速器（線形加速器、シンクロトロン、マイクロトロン等）にも適用できるので、従来の超大型加速装置を超小型にできる。
たとえば、直径１００ｍのシンクロトロンは」１０ｍ直径へ、３０ｋｍのリニアトロン（ＩＬＣ）は１ｋｍ以下へと小型化ができる可能性がある。
製造コストが大幅に下がり、医療用として100万円/台以下を実現できる可能性があり、すべてのガン患者のガンを安く治療できるようになる。
さらに、基板を用いて一括してシステムを形成できるので、小型で精密な製品を安くできるので、様々な製品に展開できるようになる。かつて、軽薄短小の時代の到来が期待されていたが、なかなか実現しなかった。本発明を契機に軽薄短小の時代を半導体・MEMS技術を武器にして実現させることができる。

【０３５２】

図５０は、基板貫通孔また基板凹部の側壁へパターンを形成する方法または装置を示す図である。主基板１０１１に貫通孔（または凹部）１００９が形成されており、この貫通孔１００９の側面壁に電極や配線等の導電体パターンを形成する場合について説明する。基板１０１１の貫通孔１００９の側面に絶縁膜１０１２を積層する。基板１０１１は、使用する目的にあった基板を使用する。質量分析器や加速器などの場合は、基板はシリコン（Ｓｉ）、ＳｉＣ、ＧａＮ、ＩｎＰ、Ｃ等の各種半導体基板、ガラス、石英、サファイヤ、各種プラスチック、各種セラミック等の絶縁基板または半絶縁基板、Ａｌ、Ｃｕ、Ｆｅ等の金属や合金等の導電体基板を使用できる。絶縁膜１０１２は、たとえばシリコン酸化膜やシリコン酸窒化膜やシリコン窒化膜である。シリコン酸化膜の場合酸化法やＣＶＤ法やＰＶＤ法、あるいは塗布法等によって形成できる。基板１０１１が絶縁基板の場合には絶縁膜１０１２は時必ずしも必要ではないが、その上に積層する密着層１０１３との密着性向上のためには積層した方が良い。絶縁膜１０１２上に密着層１０１３を積層する。この密着層１０１３はその上に積層する導電体膜１０１４との密着性向上用や拡散防止（バリア）用である。導電体膜１０１４がメッキ層である場合はシーズ（種）層の役目もある。密着層１０１３は導電体膜であり、たとえばＴｉ、ＴｉＮ、ＴｉＯ、Ｔａ、ＴａＮ等である。導電体膜１０１４がたとえば銅（Ｃｕ）メッキである場合は、さらにＣｕ膜を積層するのが良い。これらの密着層１０１３はＣＶＤ法やＰＶＤ法で積層できる。

【０３５３】

密着層１０１３の上に導電体膜１０１４を積層する。導電体膜１０１４は、たとえばＣｕ、Ｚｎ、Ｎｉ、Ａｌ、Ａｕ、Ａｇ、Ｗ、Ｍｏ、Ｆｅ等の金属膜や各種金属膜である。導電性カーボンナノチューブでも良いし、超伝導体でも良い。これらの導電体膜１０１４はＣＶＤ法やＰＶＤ法や塗布法やメッキ法で積層できる。メッキ法の場合には密着層およびシーズ層である１０１３を利用して通電し電界メッキにより形成できる。メッキ膜の場合は

各種ハンダメッキも使用できる。

【０３５４】

貫通孔１００９の側壁に電極や配線を形成するために、導電体膜１０１４の上に感光性膜１０１５を積層する。感光性膜１０１５はフォトレジスト膜や感光性樹脂等である。感光性膜１０１５は、塗布法やディップ法やスプレー法や電着法等で形成する。貫通孔１００9内にも積層する必要があるので、ディップ法や電着法が条件設定しやすい。貫通孔１００９のアスペクト比は余り高くない（０．５～２程度）ので、貫通孔１００９の内部にも感光性膜１０１５を形成できる。感光性膜１０１５を形成した後、必要があれば感光前のプリベーク等を行なう。

【０３５５】

次に露光を行なうが、これまでに説明した様に斜め露光法により感光することができる。アスペクト比が１の場合、基板１０１１の最も深い底の方を露光する場合、感光性膜パターンをできるだけ垂直に近い形状にするには約４５度の角度で斜め露光すれば良い。露光の角度に対して忠実な感光性膜パターンになる場合、感光性膜形状は約４５度の逆テーパー形状となる。表と裏から基板１０１１の厚みの半分までを露光する場合は、感光性膜形状は約２７度の逆テーパーとなる。感光性膜の厚みを２μｍとしても感光性膜パターンのパターンずれ（パターン上部と下部の差）は１μｍ～２μｍであり、電極面積（幅）や配線パターン面積（幅）に比較すると１％程度なのでパターンずれは殆ど問題にならない。従って、斜め露光法を用いれば貫通孔１００９内の感光性膜パターンを形成できる。

【０３５６】

ここでは、別の方法による本発明の露光方法を説明する。図５０には基板に形成した発光体を用いた露光法装置１０２０を示している。基板１０２１の両面に発光体１０２２を形成し、その発光体１０２２を形成した基板を透明基板１０２４で挟んだものを露光装置として用いる。透明体基板１０２４上に発光体１０２２からの光を通す部分１０２６と通さない部分１０２５を形成する。この部分１０２６のパターンは、貫通孔１００９の側面のパターンに対応する。発光体基板１０２１と透明体基板１０２４の間には空間１０２３が存在しているが、発光体基板１０２１を透明体基板１０２４の容器にセットするときに空間１０２３が形成される。この露光法装置１０２０は、本発明の質量分析器や加速装置と類似する方法によっても形成することができる。すなわち、基板１０２８内に貫通孔１０２３を形成し、一方の側に発光体基板１０２１を付着させる。発光体１０２２のある領域は貫通孔１０２３の部分に配置する。基板１０２８の他方の側に透明体基板１０２４を付着させる。ここで貫通孔１０２３は空間となる。発光体基板１０２１の両側に発光体１０２２が形成されている場合は、両側に基板１０２８および透明体基板１０２４を付着すれば良い。

【０３５７】

発光体１０２２は、たとえばＬＥＤ素子である。ＬＥＤ素子を直接基板１０２１上に形成しても良いし、ＬＥＤチップを基板１０２１に搭載することもできる。ＬＥＤ素子を直接形成できる基板は、ＧａＮ、ＧａＡｓ、ＩｎＰ等の各種化合物半導体基板や各種化合物半導体層をエピタキシャル形成した基板や貼り合わせ基板である。ＬＥＤチップを搭載する場合の基板は、ＣＯＢ基板やセラミック基板等である。いずれの基板も配線層が形成され、ＬＥＤ素子やＬＥＤチップを点灯させることができる。発光体１０２２はまた、有機ＥＬ（エレクトロルミネッセンス）素子である。有機ＥＬ素子を直接基板上に形成しても良いし、有機ＥＬ素子を基板に搭載しても良い。発光体１０２２からの光を通さない部分１０２５は、たとえば透明体基板１０２４上に金属膜層（Ａｌ膜等）を形成し、露光法によりパターニングして形成できる。感光性膜に炭素等の光吸収物質を混合させて露光法でパターニングした後に熱処理して光を通さない部分１０２５を得ることもできる。これらのパターンが貫通孔１００９の基板側面に形成するパターンのマスクとなる。

【０３５８】

以上のようにして作製した露光装置１０２０を貫通孔１００９へ挿入して、位置合わせしてから発光体１０２２を点灯して光を通す部分１０２６から光１０２７を照射する。この

光１０２７は感光性膜１０１５が感光する波長を有するように発光体を選択する。この結果、図５０（ｂ）に示すように、貫通孔１００９の基板側壁に感光性膜パターン１０１５－１および１０１５－２が形成される。図５０に示す場合の感光性膜はポジであるが、ネガの感光性膜も使用できる。露光装置１０２０と貫通孔１００９の基板側壁との距離は短いので、露光装置１０２０から照射される光線１０２７は貫通孔１００９の基板側壁に対してほぼ垂直な光線であるから、現像後の感光性膜パターン１０１５－１および１０１５－２はほぼ垂直パターンとなるので、パターンずれは殆どなくなる。尚、基板１０１１の上面や下面も通常の露光法を用いて感光性膜パターン１０１５－３および１０１５－４を形成できる。

【０３５９】

図５０では、奥行き側（紙面に垂直方向の前面または後面）を示していないが、前面または後面も同様にしてＬＥＤ素子を形成した基板を配置しておくことによって、前面または後面も露光できる。この場合、片方の面はＬＥＤは不要であるから、前面に光を照射する場合は、前面の方にＬＥＤ素子を配置した基板を配置する。後面に光を照射する場合は、後面の方にＬＥＤ素子を配置した基板を配置する。図５３は前面および後面に発光体を配置した露光装置を示す図である。図５０に示した露光装置１０２０のＬＥＤ素子１０２２を両面に配置した基板１０２１の側面（端面と考えても良く、前面側）側にＬＥＤ素子１０６３を片面に配置した基板１０６１を配置する。同様に、基板１０２１の側面（端面と考えても良く、後面側）側にＬＥＤ素子を片面に配置した基板１０６２を配置する。基板１０６１のＬＥＤ素子搭載面（前面）側には空間１０２３を挟んで透明体基板１０２４の前方側側面１０２４（１０２４－Ｓ３）が配置されており、この透明体基板１０２４（１０２４－Ｓ３）にも光を通さない部分であるマスクパターンが形成され、基板１０６１に搭載されたＬＥＤ素子１０６３の光によって、このマスクパターンに合わせた感光性膜パターンが、貫通室１００９の前方側にも形成される。

【０３６０】

同様に、基板１０６１のＬＥＤ素子搭載面（後面）側には空間１０２３を挟んで透明体基板１０２４の後方側側面１０２４（１０２４－Ｓ４）が配置されており、この透明体基板１０２４（１０２４－Ｓ４）にも光を通さない部分であるマスクパターンが形成され、基板１０６２に搭載されたＬＥＤ素子の光によって、このマスクパターンに合わせた感光性膜パターンが、貫通室１００９の後方側にも形成される。尚、基板１０２１の側面のＬＥＤ素子搭載面に面した透明体基板は１０２４（１０２４－Ｓ１）および１０２４（１０２４－Ｓ２）である。透明体基板１０２４の上面１０２４（１０２４－Ｔ）は基板１０２１の上面に付着しており、透明体基板１０２４の下面１０２４（１０２４－Ｂ）は基板１０２１の下面に付着しており、ＬＥＤ素子搭載基板１０２１を支持している。基板１０６１、１０６２も透明体基板１０２４の上面１０２４（１０２４－Ｔ）および下面１０２４（１０２４－Ｂ）に付着していても良い。基板１０６１、１０６２は基板１０２１の端面（前面、後面）に付着していても良いし、付着していなくても良い。付着していない場合は、基板１０６１、１０６２の上端面および／または下端面が透明体基板１０２４の上面１０２４（１０２４－Ｔ）および下面１０２４（１０２４－Ｂ）に付着させて支持させる。透明体基板１０２４の上面１０２４（１０２４－Ｔ）および下面１０２４（１０２４－Ｂ）は、光を透過する必要はないので、必ずしも透明体でなくても良い。図５０と合わせれば、透明体基板１０２４の上面１０２４（１０２４－Ｔ）および下面１０２４（１０２４－Ｂ）は別基板１０２８（上基板）および１０２９（下基板）であっても良い。その場合、透明体基板１０２４（１０２４－Ｓ１～Ｓ４）は別基板１０２８および１０２９に付着している。以上の４側面露光装置１０２０によって、貫通室１００９の４つの基板側壁に感光性パターンを形成できる。尚、現状技術でも、貫通室の幅が２ｍｍ以上あれば、基板１０６１および１０６２を図５３に示すように基板１０２１の端面に配置することができる。

【０３６１】

これらの感光性膜パターン１０１５－１～４をマスクにしてその下地の導電体膜１０１４

および密着層１０１３をエッチング除去できる。エッチングはウエットエッチングやドライエッチングで行なうことができる。ウエットエッチングの場合は、ディッピングにより貫通孔１００９へエッチング液を入れてエッチングできる。また、スプレーエッチングや照射エッチングでは、斜めスプレーまたは斜め照射によりエッチングできる。ドライエッチングの場合は、エッチングガスを貫通孔１００９内へ回り込ませてエッチングできる。指向性のあるドライエッチング（たとえば、ＲＩＥ）では斜め照射によりエッチングが可能である。これらのエッチングの場合サイドエッチング量は導電体膜１０１４の厚み～厚み×２～３程度である。導電体膜１０１４の厚みを１００μｍとすると、サイドエッチング量はＭＡＸ３００μｍであるが、全体の電極サイズが５ｍｍ程度であれば特に問題になる量ではない。

【０３６２】

図５１は、貫通孔側壁エッチング装置１０３０を示す図である。基板１０３１に貫通孔（室）１０３２を形成し、その両側に基板１０３３および１０３４を付着する。これらの作製法はこれまでに述べた方法と同様である。基板１０３４の中央部分または一部にエッチング液またはエッチングガス導入孔１０３５を形成する。このエッチングガス（液）導入孔１０３５は、基板貼り合わせ等で作製できる。あるいは、このエッチングガス導入孔１０３５は基板１０３３および／または１０３４に形成することもできる。貫通孔１００９の深さに相当する基板１０３３および１０３４に多数のエッチングガスまたはエッチング液噴出用穴１０３６が形成されている。この貫通孔側壁エッチング装置１０３０を貫通孔１００９へ挿入し、貫通孔１００９の側壁に対応する領域にエッチングガスまたはエッチング液噴出用穴１０３６を配置する。エッチングガス（液）導入孔１０３５からエッチングガス（液）１０３７を導入し、エッチングガス（液）１０３８をさらにエッチングガス（液）噴出用穴１０３６から貫通孔１００９の基板側壁へ噴出させて導電体膜１０１４および密着層１０１３をエッチングする。この結果、導電体膜１０４のパターを貫通孔１００９の側壁へ形成できる。噴出するエッチングガス（液）１０３８は基板１０３３および１０３４に対して垂直に近い角度で噴出される。貫通孔側壁エッチング装置１０３０と貫通孔１００９の基板側壁との距離は小さいので、導電体膜１０１４等の形状も垂直に近い形状を得ることもできる。また、導入されるエッチングガス（液）１０３７の圧力を変化させることによって、エッチングガス（液）１０３８の速度や角度も調整できるので、導電体膜１０１４等のエッチング速度や形状を制御できる。基板１０３３および１０３４を導電体基板にしてエッチングされる基板１０１１側と導電体基板１０３３および１０３４の間に電界を生じさせることによって、ドライエッチングも可能であり、導電体膜１０１４等のエッチング速度や形状を制御することもできる。

【０３６３】

図５１は貫通室１００９の基板側壁面エッチング装置であるが、前方側および後方側を示していないが、前方側および後方側も同様の構造にすることによって、貫通室１００９の４つの基板側壁面をエッチングできる。尚、４つの基板側壁面をできるだけ均一にエッチングするために、エッチング装置１０３０と４つの基板側壁面までの距離をできるだけ等しくした方が良いので、貫通室１００９のサイズに合わせてエッチング装置１０３０を作製すると良い。基板等が配置される雰囲気は、低温～常温～高温のエッチング可能な温度であり、低圧～常圧～高圧のエッチング可能な圧力に保持される。

【０３６４】

本発明の発明で用いる貫通孔１００９のアスペクト比（基板１０１１の厚みに対する貫通孔の直径（幅）の比）は余り大きくないので、貫通孔の側面に積層する膜（ＣＶＤ、ＰＶＤ、メッキ等）のステップカバー率（平坦部分に対する貫通孔側面の膜の厚みの比）もそれほど小さくはならない。たとえば、基板１０１１の厚み（貫通孔深さ）が５ｍｍ～２０ｍｍの場合、貫通孔幅も同程度であるから、アスペク比は１であり、ステップカバー率は３０～８０％程度である。ＣＶＤ、ＰＶＤ、メッキ等の技術向上によってこのステップカバー率は向上するであろう。貫通孔幅が５ｍｍの場合、本発明の基板側壁露光装置１０２０や基板側壁エッチング装置１０３０の幅は４ｍｍ以下であれば、両側の基板側壁に接触

しないで挿入することができる。基板側壁露光装置１０２０の場合、発光体搭載基板の厚みを０．５ｍｍ、発光体の厚みを０．２ｍｍ、（主）基板１０２１の厚みを２ｍｍ、両側の透明基板１０２４の厚みを０．５ｍｍ、マスク部分１０２５の厚みを０．１ｍｍとすれば、基板側壁露光装置１０２０の幅は、約３．２ｍｍとなる。基板側壁エッチング装置１０３０の場合、（主）基板１０２１の厚みを２ｍｍ、両側の基板１０３３および１０３４の幅を０．５ｍｍとすれば、基板側壁エッチング装置１０３０の幅は、約３ｍｍとなる。尚、基板１０１１の厚みは５ｍｍ～２０ｍｍとして、絶縁膜１０１２の厚みを１００ｎｍ～１００００ｎｍ、密着層１０１３の厚みは１００ｎｍ～１０００００ｎｍ、導電体膜１０１４の厚みは１μｍ～５００μｍ、感光性膜１０１５の厚みは１μｍ～５００μｍを選択することもできる。ただし、これらのサイズに関係なく最適なサイズを選択することもできる。

【０３６５】

図５２は、型（モールド）を用いて本発明の加速器や質量分析装置の貫通室を作製する方法を示す図である。図５１は図４７に示す質量分析装置を作製する場合を示す。図５２（ａ）に示すように、試料供給部・イオン化部１０４１、引き出し電極部１０４２、電場部１０４３、磁場部１０４４、イオン検出部１０４５を有するモールド１０４０を作製する。このモールドはあらかじめ型を作製してその型に合わせてモールドを作製しても良いし、組立てて作製しても良い。組立て作製として、たとえば３Ｄプリンター装置を用いて作製できる。モールド材料は、その周りを被う基板１０４６の材料に応じて最適なものを選定する。たとえば、基板１０４６の材料がＳｉ（PolySi、またはアモルファスSi、または単結晶Si）の場合、その形成温度より融点およびその材料との反応温度が高い材料を選択する。たとえば、カーボン（Ｃ）、ＷＣ、石英、サファイヤ、ジルコニア（ＺｒＯ２）など多数の材料がある。これらの材料は粉末にして焼結して成形することもできる。モールドの形状は、平面的な形状に関して作製するもの（この場合は質量分析装置）と同じ形状であり、その形状をした柱状体である。

【０３６６】

このモールド１０４０の周囲に基板材料を結晶成長させるか、溶融材料を流し込んで基板材料のインゴットを作製するか、あるいは、基板材料の粉末体でモールド周囲を囲み焼結してインゴットを作製したりする。粉末焼結の場合粉末体の融点より低い温度で焼結できるという利点がある。こうして、図５２（ｂ）に示すように、モールド体１０４０が中に入ったインゴット１０４８が形成される。モールド体１０４０を取り除けば、モールド体と同じ空洞がインゴット１０４８内に形成される。このインゴット１０４８を質量分析装置と同じ厚みで切断すれば、貫通室を有する基板（ウエハ）が作製できる、たとえば、厚み５ｍｍの基板厚ならば、長さＴ＝１０００ｍｍのインゴットなら、200枚の基板を作製できる。このように基板内の貫通室をエッチングによらず基板作製と同時に貫通室を有する基板を多数作製できる。インゴット１０４８からの基板切断は、ワイヤソーによる切断やダイシングを用いた切断があり、切断後に必要な研磨や化学研磨、あるいはＣＭＰを行なって基板表面や貫通室の基板側壁面を所定表面状態にすることもできる。モールド体１０４０が入ったままインゴット１０４８を切断することもでき、切断後にモールド体１０４０を除去すれば良い。基板材料がＳｉで、モールド材が石英やサファイヤ等である場合には、ＨＦ処理を行なってモールド材（の一部または全部）を溶かしてモールド材を除去できる。また、基板材料がＳｉで、モールド材が炭素の場合は、酸素で炭素材料をＣＯ２にしてモールド材を除去できる。

【０３６７】

基板がプラスチックである場合、モールド材はＡｌ等の金属やガラス等で作製することもでき、インゴット作製後プラスチックは溶けないが金属は溶ける溶液で処理すれば良い。基板が金属や合金である場合、モールド材はその金属や合金より融点が高く、融点温度付近の温度までは相互に反応しにくい材料が良い。たとえば、基板が半田合金である場合、半田合金（Sn-Pb、Sn-Cu、Sn-Ag-Cu、Sn-Zn-Bi、Sn-Zn-Al等）の融点は１５０℃～４００℃であるから、モールド材としてポリイミド等の耐熱性のある高分子材料や、ガラス、Si

等を使用できる。また、基板とモールド材の熱膨張率に関しては、モールド材の熱膨張率が基板より大きなものが良い。たとえば、溶けた基板材料でモールドの周りを埋めて基板インゴットを作製して固化した後、温度を低下するとモールドは基板よりも収縮率が大きいので、自然にモール材を基板インゴットから取り外すことができる。モールドのサイズは、使用温度（たとえば、常温、超伝導体を使用するときはその温度）における空洞（貫通孔）サイズを考慮してモールドサイズを選定する。また、半田金属等の低融点金属や低融点合金をモールド材料として、それより融点の低いプラスチックやセルロースナノファイバー（CNF）等の高分子材料で基板材料を構成すれば、基板インゴットの作製も容易である。

【０３６８】

モールド体１０４０の側面に電極・配線膜を形成しておき、基板材料で囲んだ後でインゴット１０４８内面に電極・配線膜を転写することもできる。たとえば、モールド体１０４０の側面全体に電極・配線膜を貼りつけておき、インゴット１０４８内面全体に電極・配線膜を転写する。インゴット１０４８を切断して基板体とした後に、形成された貫通室内面に形成された電極・配線膜をパターニングして、電極・配線層を形成する。あるいは、図５２（ａ）に示すように、モールド体１０４０の側面に部分的に電極・配線膜１０５１や１０５２を形成する。電極・配線膜１０５１は、インゴット１０４８の深さ方向に連続した電極・配線膜であり、切断して基板体とした後に貫通室の深さ方向のみをパターニングすれば良い。電極・配線膜１０５２は、基板の貫通室内面に形成されるパターン通りに形成されたパターンなので、切断して基板体とした後における電極・配線膜１９０５２のパターニングは不要である。ただし、モールド体１０４０の側面に形成する電極・配線膜パターン１０５２を切断後の基板貫通室の位置に正確に形成しておく必要がある。このようなモールド体１０４０の側面に電極・配線膜を形成するには、ＣＶＤ法、ＰＶＤ法（イオンプレーティング法を含む）、塗布法、ディップ法等のほか、型を用いてモールド体１０４０を形成する場合は、その型に電極・配線膜を形成して、それを転写するという方法もある。また、３Ｄプリンターを用いて、電極・配線膜を形成することもできる。

【０３６９】

インゴット１０４８の形状は、円柱形、断面が長方形や正方形や三角形や種々の多角形の角柱、楕円柱など種々の形状を取ることができる。インゴットの結晶形も単結晶、多結晶、アモルファス、粉末体を固化したもの、樹脂状態、プラスチック体、ゴム状体などやこれらの組合せ体で構成することができる。貫通室の深さが厚いもの、たとえば１０ｃｍ以上のものなどは、インゴットの厚みと貫通室の厚みが同じとなる場合もあり、そのときはインゴット１つからは１つの主基板しか取れないことになる。さらには、半分の厚みの基板しか取れないインゴットの場合もあり、そのときは基板を重ねて（貼り合わせ等で）貫通室を形成する必要がある。型を入れずに平板な基板を作製し、金型で基板を打ち抜いて貫通室を作製することもできる。特に基板が金属の場合は打ち抜きしやすい。また、レーザー切断によっても貫通室や凹部を作製できる。

【０３７０】

図５２では、中央孔については示していないが、図５４は中央孔を形成する方法を示す図である。貫通室を形成するモールド１０７１および１０７２の間に中央孔を形成するモールド１０７３が存在する。図５４（ａ）はモールド１０７０の斜視図であり、透視図で示している。直方体形状のモールド１０７１および１０７２の間を結ぶ中央孔モールド１０７３が離間して等間隔に配置されている。図５４（ｂ）はモールド１０７０の断面図（高さ方向）である。一点鎖線１０７４は切断面を示す。モールド１０７１および１０７２および中央孔モールド１０７３うぃ合わせたモールド１０７０の周囲に基板を形成し、基板インゴットを作製した後に、モールドを除去すれば良い。基板インゴットを切断して（主）基板を作製した後にモールドを除去しても良い。中央孔モールド１０７３はモールド１０７１および１０７２に比べてサイズが小さいために、モールド１０７１および１０７２と基板境界面を分離した後、軽い衝撃を与えれば中央孔モールド１０７３とモールド１０７１および１０７２のつなぎ目で簡単に折れてモールド１０７１および１０７２を基板イ

ンゴットまたは基板インゴット切断後の基板から分離することができる。中央孔モールド１０７３、モールド１０７１および１０７２が同種材料の場合には、中央孔モールド１０７３とモールド１０７１および１０７２の付着を弱くしておけば、さらに低い衝撃力で分離させることができる。

【０３７１】

たとえば、モールドをサファイヤ（酸化アルミニウム、融点約２０７０℃）で作製し、基板インゴットをシリコン（融点１４１０℃）で作製する。シリコンよりもサファイヤをエッチングする液またはガスでシリコン（インゴット、基板）とサファイア（モールド）の境をエッチングして隙間をあけて分離させる。モールドを石英（融点約１７００℃）で作製した場合、基板インゴットをシリコン（融点１４１０℃）で作製する。シリコンよりも石英をエッチングする液またはガスでシリコン（インゴット、基板）と石英の境をエッチングして隙間をあけて分離させる。石英のエッチング液としてＨＦ系溶液がある。モールドをＦｅ（融点１５４０℃）で作製し、基板インゴットをガラス（融点６００℃～７００℃）で作製する。ガラスよりもＦｅをエッチングする液またはガスでガラス（インゴット、基板）とＦｅ（モールド）の境をエッチングして隙間をあけて分離させる。Ｆｅのエッチング液として塩酸や硫酸がある。

【０３７２】

モールド１０７０を幾つかのブロックに分けた割型で作製し、インゴット形成後に割型を取り外す方法でも貫通室を作製できる。そのときでも中央孔モールド１０７３はインゴット中から取り外すのが困難な場合は、ウエットエッチング液や等方性ドライエッチングガスで中央孔モールド１０７３を溶解する。あるいは、図５４（ｂ）に示すように中央孔の略中心部を通る面（破線で示す）１０７５で切断して、中央孔モールド１０７３を露出させて取り外すことができる。この場合も中央孔モールド１０７３をエッチング可能な溶液またはドライエッチングガスを用いて中央孔モールドと基板との境界をエッチングして分離しやすくすることもできる。中央孔の略中心部を通る面（破線で示す）１０７５で切断してモールドを分離した後は、貫通室や中央孔へ必要な膜付けをした後に分離した上下の基板を切断面１０７５で付着して通常の中央孔を持つ基板を作製できる。モールド１０７０の周囲に必要な膜付けをして、その膜を基板（インゴット）に転写して、貫通室や中央孔内面へ絶縁膜や導電体膜またはそれらのパターンを形成することもできる。

【０３７３】

中央孔モールド１０７３を使用しない場合、貫通室を有する基板に貫通室を接続する中央孔を作製する必要がある。まず、基板インゴットを切断面１０７４および中央孔が形成される部分の中央孔高さの略半分の位置である切断線（面）１０７６で切断する。図５５は中央孔が形成される部分の中央孔高さの略半分の位置で切断した基板に中央孔を形成する方法を示す図である。図５５（ａ）は中央孔形成前の基板の平面図である。貫通室１０７６（１０７６－１、２）および貫通室１０７７（１０７７－１、２）が形成された基板１０８０の平面図は、図５４に破線で示す切断面１０７５である。貫通室１０７７（１０７７－１、２）は、貫通室１０７６（１０７６－１、２）を持つ加速器や質量分析器の隣の加速器や質量分析器の貫通室である。中央孔はまだ形成されていない。１０７９は基板面または基板である。図５５（ｄ）は図５５（ａ）の断面図である。図５５（ｂ）に示すように、この基板面１０７９上に感光性膜１０８１を形成し、パターニングして中央孔形成領域１０８２（１０８２－１，２）を窓開けする。図５５（ｅ）は図５５（ｂ）の断面図である。次に、図５５（ｆ）に示すように、この感光性膜パターン１０８１をマスクにして基板１０７９をエッチングして中央孔１０８３を形成する。このエッチングはレーザー等を用いて形成しても良い。あるいは研磨法で作製することもできる。たとえば、中央孔のサイズに適合した円柱形の研磨冶具を回転させて中央孔の半分（横側に半円形の柱状）を研磨する。研磨時には研磨剤＋水をかけながら、さらに軽いエッチング液を混ぜながら研磨する。図５５（ｇ）に円柱形の研磨冶具１０８４を使用した研磨方法を示す。中央孔を形成する領域に円柱形研磨冶具１０８４を回転させながら当てて基板１０７９を研磨する。円柱形研磨冶具１０８４は基板１０７９に対して上下可能な支持台に取り付けられ、

支持台を徐々におろして、基板１０７９が所定深さ削れたら支持台の下降をストップさせて上昇させる。この結果、基板１０７９には中央孔の半分が形成できる。尚、円柱形の研磨冶具を用いるときは、感光性膜パターン１０８１は不要である。

【０３７４】

モールド型の中を空洞にしたものでもモールドを作製できる。モールドを薄い膜や薄板で囲んで中を空洞にする。（モールドフレームと称する。）モールドフレームの空洞内は窒素、酸素、空気、Ｈｅ、Ａｒ等の不活性ガスを入れて適度な内圧をかけても良い。基板インゴットを作製するときに温度を上げる場合は空洞内のガスは膨張するので、内圧が増加するから、その内圧によって変形しないようにモールドフレームの強度を調節する。あるいはモールドフレームが変形しても基板インゴットを作製時に正確なモールド型になるようにするためにモールドフレームの強度および空洞内の内圧を調節しても良い。当然モールドフレーム材料はインゴット作製時に変形したり融けたりしないような材料で形成する必要がある。これについてはこれまで述べた通りである。モールド型を取り外すときに、空洞内のガスを抜いて内圧を下げるとモールドフレームが縮小するので、簡単にモールド型（モールドフレーム）を取り外すことができる。インゴット作製後はインゴット作製時よりも温度が下がり空洞内の内圧が下がるので、そのときにモールドフレームが縮小するので、自然とモールドフレームを取り外すことができる。

【０３７５】

モールドフレームがインゴット基板から外れない場合でも、空洞内の圧力が低下するので、モールドフレームがインゴット基板を押圧力も低下するから、モールド材をエッチングするエッチング液やエッチングガス（プラズマエッチングも含む）がモールドフレームとインゴット基板との間に入り込み易くなり、モールドフレームとインゴット基板の境界面に面しているモールドフレームがエッチングされる。この結果インゴット基板からモールドフレームを分離することができる。さらに、空洞内にエッチング液やエッチングガス（プラズマエッチングも含む）を入れることができ、モールドフレームの厚みも薄いのでモールドフレームを内と外から溶解させることができる。この結果インゴット基板からモールドフレームを除去することができる。中央孔モールドも内部が空洞のモールドを使用できる。

【０３７６】

図５６は貫通室内壁を研磨して平滑でなめらかな面にするための方法（（ａ））および貫通室内壁へパターンを転写する方法について説明する図（（ｂ）、（ｃ））である。図５６（ａ）は貫通室形成用のモールド型を取り外した後の貫通室１０８６を有するインゴット基板の貫通室１０８６内壁（内面）を研磨する方法を示す図である。円柱形の研磨棒１０８７を貫通室１０８６内へ挿入し、研磨棒１０８７を回転しながら貫通室１０８６の内面をなぞる。貫通室１０８６の内面はモールド型を外した跡で荒れた状態の場合もあるので、研磨棒１０８７の回転により貫通室１０８６の内面の凹凸を取り平滑化し表面をなめらかにすることができる。研磨棒１０８６の円柱面に研磨剤を付着させたり塗布したり、および／または研磨材を含む液を吹きかけたり、その液中で研磨棒１０８６を回転させる。インゴット基板で行なえば多数の基板をまとめて処理できるし、基板に切断後に個々に行なえばより精密な研磨が可能となる。研磨棒１０８６は円柱形であるから、貫通室１０８５が直方体形状の場合は、角部の研磨はむずかしいが、より半径の小さな円柱形研磨棒で行なえば角部も十分な研磨が可能となる。角部とその他で使い分けても良い。また、円柱形状でなく、直方体形状の研磨棒も使用できる。直方体形状研磨棒は往復運動をさせることにより貫通室内面を研磨することができる。

【０３７７】

図５６（ｂ）は、円柱形転写棒を使用して貫通室内面にパターンを転写する方法を示す図である。円柱形転写棒１０８８に転写パターン１０８９を付着させて、貫通室１０８６内に円柱形転写棒１０８８を挿入し、貫通室１０８６の内面に円柱形転写棒１０８８に付着した転写パターン１０８９を接触させて、転写パターン１０８９を貫通室１０８６の内面に付着させて転写する。転写パターン１０８９は円柱形転写棒１０８８の周囲に付着して

形成されているので、円柱形転写棒１０８８の表面を貫通室１０８６の内面に押しつけながら回転させてパターン転写する。転写パターン１０８９はたとえば導電体電極・配線パターンである。円柱形表面に導電体膜を積層し、フォトリソ法を用いて導電体膜パターンを形成し、円柱形表面を貫通室内面に当てる。このとき、貫通室表面と導電体膜が密着性良く付着する条件（たとえば、熱処理）で処理して貫通室表面に導電体膜を付着させる。同時に円柱形表面と導電体膜との密着度が貫通室表面と導電体膜が密着度より低い条件にすれば円柱形表面上の導電体膜パターンが貫通室表面へ転写できる。円柱形を回転させることによって、次々と転写できる。あるいは、転写シートに導電体膜パターンを付着しておき、その転写シートを円柱形転写棒に巻き付けておく。このとき、導電体膜パターンを外側にしておく場合に、円柱形転写棒を貫通室表面に押し当てて回転させながら転写シートに付着させた導電体膜パターンを貫通室表面に転写する。あるいは、導電体膜パターンを内側にして転写シートを外側にしておき、円柱形転写棒を貫通室表面に押し当てて回転させながら転写シートを貫通室表面に付着させれば、転写シートに付着させた導電体膜パターンも貫通室表面に付着させることができる。インゴット基板内の貫通室に転写することもできるし、切断後の基板の貫通室に転写することもできる。同じ形状の貫通室であれば（たとえば、図５５における貫通室１０７６と１０７７）、複数の転写棒を支持体に取り付けて、それぞれの貫通室に同時に転写棒を挿入して、同時に転写することができる。

【０３７８】

図５６（ｃ）は、貫通室と同じ直方体形状の転写板に導電体膜電極・配線パターン１０９２および１０９３を形成し、それらのパターンを貫通室内面に転写する方法を示す図である。導電体膜パターン１０９２、１０９３を付着した転写板１０９１または導電体膜パターン１０９２、１０９３を付着した転写シートを付着した転写板１０９１を貫通室１０８６へ挿入し、貫通室１０８６内面に押し当てて転写する。転写シートを用いる場合、ポリイミド等の高耐熱シートにアルミやＣｕ、Ａｕ等の電極・配線を形成し、反体面に高耐熱性の熱硬化性接着剤を付着しておき、この接着面を貫通室内面に付着させて転写シートを付着させて熱処理により貫通室内面にポリイミドシートを挟んで導電体膜パターンを貫通室内面に形成できる。転写した後は、必要ならば、保護膜をＣＶＤ法等で積層するか、さらに保護膜（耐熱用が良い）テープを転写法で付着させる。この結果、３００℃～５００℃程度の耐熱性を持たせた貫通室を作製できる。また、インゴット基板内の貫通室に転写することもできるし、切断後の基板の貫通室に転写することもできる。同じ形状の貫通室であれば（たとえば、図５５における貫通室１０７６と１０７７）、複数の転写棒を支持体に取り付けて、それぞれの貫通室に同時に転写板を挿入して、同時に転写することができる。

【０３７９】

図５１に示した装置は成膜装置（ＣＶＤ装置）としても使用できる。エッチングガス１０３７、１０３８の代わりに成膜用ガスを導入する。たとえば、多結晶Ｓｉを貫通室側壁に成長する時にはＳｉＨ４ガスを導入口１０３５から入れて、噴出用穴１０３６から貫通室側壁へ噴出させる。基板１０１１を所定温度（たとえば、３５０℃～５００℃）で加熱しておけば貫通室側壁へ多結晶Ｓｉ膜を成長できる。装置１０３０に成膜しないようにするために、装置１０３０を冷却しておけば良い。基板１０１１と装置１０３０との間に電界を印加すれば、もっと低温でも成膜でき、高速成膜も可能である。Ｗ膜を成長するには、たとえばＷＦ６ガス、ＷＳｉ膜を成長するには、ＷＦ６ガスとＳｉＨ４ガスの混合ガスを導入し、噴出穴から噴出すれば良い。その場合（ガス混合で反応する場合）、装置内で混合ガスが反応しないようにするために、貫通孔１０３２を別々にして、それらの貫通孔（室）への導入口および噴出穴も別にしておき、噴出口から出て、（基板１０１１の）貫通室側壁近傍でガス混合できるようにしても良い。ＳｉＯ膜の場合は、ＳｉＨ４ガスとＯ２ガスで成膜できる。ＳｉＮ膜の場合は、ＳｉＨ２Ｃｌ２ガスとＮＨ３膜で成膜できる。その他の金属膜（Ａｌ、Ｃｕ、Ｎｉ、Ｃｒ、Ｔｉ等各種）や合金膜や各種膜を成膜できる。また、Ｎ２、Ｈ２、Ｈｅ等の各種キャリアガスを混合しても良い。これらの成膜装置はＣＶＤ装置となる。基板等が配置される雰囲気は、低温～常温～高温の成膜可能な温度であ

り、低圧～常圧～高圧の成膜可能な圧力に保持される。

【０３８０】

図５１に示した装置はメッキ膜の成長にも使用できる。エッチングガス１０３７、１０３８の代わりにメッキ液を導入し、噴出する。たとえば、Ｃｕメッキする場合、基板１０１１に電界をかけて（マイナス印加）、メッキ液硫酸銅（ＣｕＳＯ４）溶液を導入口１０３５から入れて、噴出用穴１０３６から貫通室側壁へ噴出させる。新しいメッキ液を供給できるので、高速メッキが可能である。この場合は、メッキ装置となる。メッキ膜積層の場合、通常メッキと同様にメッキ膜を成長させたくない場所は感光性膜（レジスト膜）等でマスクしておけば、マスクがない部分だけにメッキすることができる。

【０３８１】

図５１に示した装置の代わりにターゲット基板（たとえば、Ａｌ、Ｃｕ、Ｔｉ、Ｃｒ、ＴｉＮ、Ｎｉ、Ａｕ、Ｓｉ、Ｗ，Ｍｏ、あるいはＳｉＯ等の絶縁体）を貫通室に挿入し、ターゲット基板に高周波電界を印加し、低圧下でスパッターガス（たとえば、Ａｒ、Ｎ２）を導入すれば、ターゲットからターゲット材料がスパッターされて、ターゲット材料が貫通室側壁へ付着できる。ターゲット材料と貫通室側壁の距離が非常に近いので高速でスパッター膜を積層できる。この場合、装置はスパッター装置となる。また、レジスト液等の感光性膜液を入れた装置を貫通室等に挿入して、噴出またはスプレーして貫通室や凹部側面や底面に感光性膜を形成できる。加熱素子（抵抗や赤外線ランプ等）を搭載した装置を貫通室等に挿入すればその感光性膜をプリベークできる。露光した後には、現像液を入れた装置を貫通室等に挿入して、噴出またはスプレー等して貫通室や凹部側面や底面に感光性膜をパターニングできる。感光性膜のＣＶＤ（プラズマ）も挿入ＣＶＤ装置で可能である。以上説明した装置は別基板に多数搭載して基板内の多数の貫通室に挿入等して、多数の貫通室内のパターニングや成膜や熱処理（感光性膜の塗布・付着や形成、感光性膜の露光、感光性膜の現像、各種膜のエッチング、各種膜のＣＶＤ、各種膜のＰＶＤ（スパッター、蒸着）、各種熱処理等）を同時に処理できる。

【０３８２】

本発明は、基板内に基板上面から基板下面に貫通する貫通室を作製し、貫通室内に絶縁膜、導電体膜を積層し、所望形状の導電体膜電極等を作製し、貫通室内を通るイオンの軌道を制御したイオン注入装置である。図５７に示す実施形態は、高周波電源を加速源とするシンクロトロン方式の加速器を基板型イオン注入方式に適用したものであり、図５７は、本発明のシンクロトロン方式基板型イオン注入装置を基板面に平行に見た平面図である。イオン化室２１１２でイオンを発生させ、そのイオンを引き出し電極・加速室２１１３で所定速度まで加速させる。その加速させたイオンを質量分離室２１１４で所望のイオンに選別し、その選別したイオンをシンクロトン方式加速室２１１７と質量分離室２１１４を接続する連結室２１１５へ送る。連結室２１１５とシンクロトロン方式加速室１１７との間には、中央孔２１１６を有する基板隔壁が配置され、連結室２１１５を進むイオンはこの中央孔２１１６を通ってシンクロトロン方式加速室２１１７の直線状貫通室である高周波加速室２１１８－１へ入る。

【０３８３】

シンクロトロン方式加速室２１１７は、貫通室が環状につながっており、この環状の貫通室である環状通路２１１８の中をイオンが加速しながら周回する。環状通路２１１８は、２つの直線状加速室２１１８－１、３およびこれらの２つの直線状加速室２１１８－１、３を接続する円弧（半円形）形状の円形加速室２１１８－２、４から成る。直線状加速室２１１８－１、３は高周波電圧が印加されてイオンは加速される。半円形形状の円形加速室２１１８－２の２つの対面する貫通室側壁に導電体膜電極２１２１および２１２２が形成される。円形加速室２１１８－２の２つの対面する貫通室側壁に形成された導電体膜電極２１２１および２１２２は平行である。（いわゆる平行平板電極で、電極間距離ｒ１）また、半円形形状の円形加速室２１１８－４の２つの対面する貫通室側壁に導電体膜電極２１２３および２１２４が形成される。円形加速室２１１８－４の２つの対面する貫通室側壁に形成された導電体膜電極２１２３および２１２４は平行である。（いわゆる平行平

板電極で、電極間距離ｒ１）
【０３８４】
イオンは環状通路２１１８を周回し、直線状加速室２１１８－１で高周波電圧印加により図５７において左側へ加速され進行し、円形加速室２１１８－２で一定電界の力を受けて円形軌道（中心軌道半径Ｒ１）を取り、次にイオンは直線状加速室１１８－３で高周波電圧印加により図５７において右側へ加速され進行し、円形加速室２１１８－４で一定電界の力を受けて円形軌道（中心軌道半径Ｒ１）を取り、直線状加速室２１１８－１へ入る。これらが繰り返されて、イオンは周回するたびに加速され所定の速度（所定のエネルギー）になると、直線状加速室２１１８－１を進み直進するイオン軌道方向に配置された基板隔壁が有する中央孔２１２５を通って、出口通路（貫通室）２１２６へ入りイオン出口２１２７から出射する。イオン出口２１２７の出口通路（貫通室）２１２６にはスキャナー部２１２８があり、２つの対面する基板側壁には導電体膜電極２１２９－１、２が形成され、この２つの導電体膜電極２１２９－１、２間の電界によりイオンは左右へ（基板面と平行方向へ）振られて（走査されて）出射する。また、図５７では図示できないが、基板面に平行な方向にも２つの導電体膜電極が形成され、これらの電極間の電界によりイオンは上下へ（基板面と垂直方向へ）振られて（走査されて）出射する。イオンの出射側に配置されたエンドステーション等へ配置されたウエハ２１３０へ上下左右に振られた（走査された）イオンが注入される。尚、連絡室２１１５や出口通路２１２７でも加速室と同様の方法で加速することができる。また、スキャナー部２１２８には磁場を形成することもできるので、磁界でイオン軌道を上下・左右にスキャンできる。たとえば、上下にコイルや電磁石を配置して磁場を変化させることによってイオンを左右（横方向）に走査でき、主基板の側面にコイルや電磁石を配置すればイオンを上下に走査できる。
【０３８５】
主基板２１１１内に形成された貫通室には、必要に応じて中央孔を有する基板側壁板が配置され、各貫通室を仕切ったり（ただし、中央孔でつながっている）、導電体膜電極が形成され電界が印加されている部分もある。中央孔を有する基板側壁板の側面等にも導電体膜電極が形成され、これらの導電体膜電極に高周波電圧や静電界等を印加し、イオンを加速したり、減速したり、収束したりすることができる。主基板２１１１は、導電体基板（たとえば、Ａｌ、Ｃｕ、Ｆｅ、Ｎｉ、Ｚｎ、Ｔｉ、Ｃｒ等の金属またはこれらを含む合金、導電性プラスチック、導電性炭素（導電性グラフェン、導電性カーボンナノチューブも含む）、導電性半導体（たとえば、高濃度不純物元素を含む低抵抗Ｓｉ）、導電性セラミック）、半導体基板｛たとえば、Ｓｉ、Ｇｅ、Ｃ、化合物半導体（たとえば、ＧａＡｓ、ＩｎＰ、ＧａＮ等の各種二元系半導体、各種多元系半導体）｝、絶縁体基板（たとえば、ガラス、石英、ＡｌＮ、アルミナ、各種プラスチック、各種セラミック、各種高分子基板）、およびこれらの複合基板である。導電体基板や半導体基板は、その基板上に導電体膜を形成する場合であって、基板と導電体膜と導通させない場合は、それらの間に絶縁膜を介在させる。主基板２１１１の上面には第１上部基板、下面には第１下部基板が付着している。従って、主基板２１１１内に形成された貫通室は、上部が第１上部基板に、下部が第１下部基板に、側面が主基板１１１の側壁に囲まれている。イオンはこれらの基板に囲まれた貫通室を進んでいく。主基板２１１１内に形成された貫通室は、第１上部基板や第１下部基板に設けた開口部から真空引きすることによって、所定の圧力以下に保持される。また、別（真空引き用と兼用することもできる）の開口部から貫通室のクリーニングまたはパージ用気体や液体を流すこともできる。
【０３８６】
質量分離室２１１４は、これまでに述べた磁場タイプまたは電場タイプまたはそれらを組み合わせたもの、あるいは四重極型あるいはＩＣＲ型あるいはイオントラップ型など種々の方式を使用すれば良い。イオン化室２１１３もこれまでに述べたイオン化室を使用できる。あるいは外付けでイオン化したイオンを導入しても良い。加速室２１１３、２１１５、２１１８－１、２１１８－３もこれまでに述べた線形の加速室を使用できる。円形加速室２１１８－２、４は両側面に電極を有するものであるが、進行方向または上下方向に電

極を分割してそれぞれに個別に電圧を印加できるようにしておけば、円形加速室の電界を変化させてイオン軌道を制御できる。この円形加速室は磁場を用いてもイオン軌道を制御できる。すなわち、主基板の上下にコイルや電磁石を配置すればローレンツ力によってイオン軌道を制御できる。さらに電場と磁場の両方を用いるとさらに精密なイオン軌道を制御できる。

【０３８７】

図１６に示したものと同じように、図５７に示す環状軌道を取り囲む環状軌道を横方向につなげていけば、さらに容易に高速で高濃度のイオンを発生できる。図５８は２つの環状軌道を有するシンクロトロン型イオン注入装置を示す図で（平面図）ある。一段目の環状軌道２１４０は図５７に示すシンクロトロン型イオン注入装置と同じもので、イオン化室等も有するが、イオン出射ライン２４３は、一段目の環状軌道２１４０の一部（円形軌道から出るようにするのが良い）に設けた開口部（中央孔を有する開口部が良い）２１４２から出て、２段目の環状軌道２１４５に設けた開口部（中央孔を有する開口部が良い）２１４４に接続する。２段目の環状軌道に入ったイオンは既に回転しているイオンと合流して回転しながら加速して、直線状加速室を進み直進するイオン軌道方向に配置された基板隔壁が有する中央孔２１４６を通って、出口通路（貫通室）２１４７へ入りイオン出口２１５０から出射する。イオン出口２１５０の出口通路（貫通室）２１４７にはスキャナー部２１４８があり、２つの対面する基板側壁には導電体膜電極２１４９－１、２が形成され、この２つの導電体膜電極２１４９－１、２間の電界によりイオンは左右へ（基板面と平行方向へ）振られて（走査されて）出射する。また、図５８では図示できないが、基板面に平行な方向にも２つの導電体膜電極が形成され、これらの電極間の電界によりイオンは上下へ（基板面と垂直方向へ）振られて（走査されて）出射する。イオンの出射側に配置されたエンドステーション等へ配置されたウエハ２１５１へ上下左右に振られた（走査された）イオンが注入される。尚、出口通路２１４７でも加速室と同様の方法で加速することができる。また、スキャナー部２１４８には磁場を形成することもできるので、磁界でイオン軌道を上下・左右にスキャンできる。たとえば、上下にコイルや電磁石を配置して磁場を変化させることによってイオンを左右（横方向）に走査でき、主基板の側面にコイルや電磁石を配置すればイオンを上下に走査できる。さらに３段目、４段目、・・・と多数段の環状軌道も本発明では同時に形成できる。多数段の環状軌道にすればより高速で高電流のイオンを作り出すことができる。しかも本発明では配線層も形成できるので、ＬＳＩチップを基板２１１１上に搭載して各電極やコイルに印加する電圧や電流を制御できるので、極めて精密にイオン軌道をコントロールできる。

【０３８８】

図５９は、イオン出射ライン２１４３と２段目環状軌道２１４５との接続領域の状態を拡大したもの（基板と平行な平面図）である。イオン出射ライン２４３は２段目環状軌道２１４５の空洞２１５９と接続開口部２１４４で接続する。イオン出射ライン２４３の両側面（基板側壁）２１５２（２１５２－１、２）の貫通室内面に電極２１５３（２１５３－１、２）および２１５４（２１５４－１、２）が形成されている。これらの電極２１５３－１、２と２１５４－１、２はそれぞれ平行な電極となっている。イオン２１６０はイオン出射ライン２４３を直進して来るが、イオン出射ライン２１４３の出口２１４４付近に来るとこれらの電極で発生する電界によって軌道を曲げられて、２段目の環状軌道２１４５の空洞２１５９を進んで来るイオン２１５１の向きに可能な限り平行な方向になって合流する。イオン出射ライン２４３の出口２１４４付近に設けた電極２１５３および２１５４は幾つかに分割されて（図５９では２つに分割だが、もっと多く分割することもできる）、それぞれ異なる電界を印加できるので、イオン２１６０の軌道を任意にスムーズに変えることができる。従って、これらの分割された電極への電圧を（電界）を調整して出来る限り、イオン２１６１に合流するようにできる。２段目環状軌道２１４５の空洞２１５９の基板側面（側壁）２１５５－１、２１５７のイオン出射ライン２１４３の出口（開口部）２１４４の付近にも幾つかに分割された電極２１５６（２１５６－１、２）および２１５８（２１５８－１、２）が形成されている。これらの平行平板電極２１５６（２１５

６－１、２）および２１５８（２１５８－１、２）にも電圧を印加してイオン出射ライン２１４３の出口（開口部）２１４４から出るイオン２１６０の軌道を変えることができ、イオン２１６０の軌道を空洞２１５９を通るイオン２１６１と合流できるように調整できる。これらの平行平板電極２１５６（２１５６－１、２）および２１５８（２１５８－１、２）にも異なる電圧を印加して精密にイオン軌道を調整できる。また、平行平板電極２１５６および２１５８はもっと多く分割してさらに正確にイオン軌道をコントロールできる。また、電極２１５３、２１５４および２１５６、２１５８は基板厚み方向にも分割でき、イオン軌道を上下左右にも調整できる。さらに主基板の上下にコイルや電磁石を配置すれば、基板の厚み方向に磁界を発生させることができるので、これらの磁界によってもイオン軌道を調整することができる。従って、電界と磁界を用いてさらにイオン軌道の正確な調整をすることができる。

【０３８９】

本発明の基板型イオン注入装置は上下に重ねて多段イオン注入装置とすることもできる。多段にすることによってより高速（高エネルギー）のイオンとすることができるとともに、各段にイオンを蓄積できるので、高ドーズのイオン注入を行なうことができる。図６０は、２段に積層したイオン注入装置の軌道連結部の断面を示す図である。１段目の環状軌道２１７０は下部基板２１７１上に主基板を付着し、その上に上部基板２１７２を付着している。１段目の環状軌道２１７０は空洞２１７５を有し、その中をイオン２１７６が回転している。同様に２段目の環状軌道２１８０は下部基板２１８２上に主基板を付着し、その上に上部基板２１８１を付着している。２段目の環状軌道２１８０は空洞２１８５を有し、その中をイオン２１８６が回転している。１段目の環状軌道２１７０と２段目の環状軌道２１８０は積層されるが、１段目の環状軌道２１７０の上部基板の開口部２１７７と２段目の環状軌道２１８０の下部基板の開口部２１８７の所で連結され、１段目の環状軌道２１７０の空洞２１７５と２段目の環状軌道２１８０の空洞２１８５は繋がっている。１段目の環状軌道２１７０の開口部２１７７のイオン進行方向の後方において、下部基板２１７１の上面に電極２１７３が形成され、上部基板２１７２の下面に電極２１７４が形成されている。これらの電極２１７３および２１７４は平行平板電極となっており、この間に電界を発生させて、イオン軌道２１７６を進むイオンの軌道を上方に変えて開口部２１７７および２１８７を通るイオン軌道２１７９になる。２段目の環状軌道２１８０の開口部２１８７のイオン進行方向の前方において、下部基板２１８２の上面に電極２１８４が形成され、上部基板２１８１の下面に電極２１８３が形成されている。これらの電極２１８３および２１８４は平行平板電極となっており、この間に電界を発生させる。開口部２１７７および２１８７を通るイオン軌道２１７９を進んできたイオンは、平行平板電極の間に入り、電界の力を受けて軌道を変えられて、２段目の環状軌道２１８０の空洞２１８５を通るイオン軌道２１８６に入り、周回する。あるいは、この開口部において、基板に垂直方向にコイルや電磁石を配置することによって、基板に平行な方向（紙面に垂直方向）に対して磁界を印加してイオン軌道を上方に変更できる。小さなコイルを多数配置しそれぞれの磁界を個別にコントロールすることによって、さらに正確にイオン軌道を制御できる。これらの制御はＬＳＩを使用して行なうことができる。これを繰り返せば、上下に多数の環状軌道を積層できるので、多段イオン注入装置となる。多段に積層したときに、中間の環状軌道への真空引きや電気配線の供給は、各段の隙間（軌道など何もない領域）を開口してその部分から行なえば良い。また、軌道の制御は各電極への電圧および電流の制御を行なうようなＬＳＩチップを用いれば良い。また、真空計や温度計や電流計等の各種センサを各所に設置しておけば各段の環状軌道の状態を把握し制御することもできる。

【０３９０】

図６１はＲＦＱ（Radio Frequency Quadrouple）型線形加速器の一例を示す図である。内部が空洞２１９４を持つ両端が開口された導電性の筒体２１９３が基板内に形成された空洞（貫通室）２１９１内に配置されている。筒体２１９３の空洞２１９４には四重極電極２１９７が配置されている。この四重極電極２１９７、２１９８は、たとえば先端部を

長さ方向に波形条に形成した４枚の電極（ヴェイン電極）や４本のロッド電極、その他の形状を有する電極であり、四重極電極２１９７、２１９８が囲む空間を通るイオンビーム（加速軸）に沿って、４本の四重極電極２１９７、２１９７および２１９８、２１９８は直交するように対向して配置され、、相対向する電極はそれぞれ山と山、または谷と谷が向かい会うとともに、互いに９０度隔てた隣り合う四重極電極同士２１９７、２１９７および２１９８、２１９８は山と谷とが交互に隣合うように配置された構成とされている。一方の対向する一対の電極２１９７、２１９７は筒体２１９３に電気的に短絡されており、他方の対向する一対の電極２１９８、２１９８は空洞（貫通室）２１９１を囲む基板２１８８および／または２１８９にステム２１９６および／または支持台座２１９５で支持されて、空洞共振器が構成されている。空洞２１９１を囲む基板の所定位置につながる高周波導入ライン２１９９によって、一対の電極２１９７、２１９７および対向する一対の電極２１９８、２１９８に、互いの符号が異なるように高周波電力が印加される。以上のように構成されたＲＦＱ線形加速器は、一対の電極２１９７、２１９７を内導体とするとともに筒体２１９３を外導体とする第一の同軸線路の周りに、導体２１９３を内導体とするとともに基板２１８８および／または２１８９を外導体とする第二の同軸線路が、折り返されるように結合された構造となっている。

【０３９１】

図６２は図６１に示すＲＦＱ型線形加速器の作製方法を示す図である。左側の図が長手方向（イオン進行方向に平行）の断面模式図で、右側の図がそれと垂直方向の断面模式図である。導電体基板３００１上に導電体基板３００２を付着させる。（図６２（ａ））これらの導電体基板の材料は、たとえば、Ａｌ、Ｃｕ、Ｎｉ、Ｔｉ等の金属または合金、あるいは、高濃度に不純物元素をドープした低抵抗の半導体（たとえば、Ｓｉ）である。付着法は、常温接合法、高温接合法、拡散接合法等の直接接合法、または導電性接着剤や半田等の低融点合金を介在した接着法など各種接合法を使用できる。導電体基板３００１および導電体基板３００２は異種材料でも良いし、同種材料でも良い。次にフォトリソ法等を用いて導電体基板３００２の不要な部分を除去して貫通孔（貫通室）３００３（３００３－１、２、３）を形成する。この除去方法は、エッチング（ＷＥＴまたはドライ）、レーザーエッチング、打ち抜きがある。エッチング法では、フォトリソ法で形成した感光性膜等とエッチング材料である導電体基板３００２とのエッチング選択比を考慮して感光性膜等の厚みを選択する。サイドエッチングはあっても良いが、マスクパターン通り形成するために垂直エッチングが望ましい。また下地材料である導電体基板３００１が余りエッチングされないようなエッチング条件でエッチングすることが望ましい。レーザーエッチングや打ち抜きの場合はフォトリソ法等でのマスクを使用しないマスクレスで行なうこともできる。貫通室３００３－１は図６１で示した筒体２１９３の内側の空洞２１９４となる部分である。導電体基板３００２を導電体基板３００１に付着する前にパターニングすることもできるが、残すべき部分３００２（３００２－１、２、３）は図６１で示した筒体２１９３の側面部分であるから、除去する部分３００３－２を全部除去すると残すべき部分３００２（３００２－１、２、３）も取れてしまうので、一部を残しておかなければならない。しかし、打ち抜き法やモールドインゴット法を使用できるので工程が簡略になるという利点がある。（図６２（ｂ））また、導電体基板３００１と導電体基板３００２を１枚の導電体基板にして断面形状がコの字状になるようにエッチング等しても良い。すなわち、この場合は貫通孔（室）を形成せずに凹部形成となる。

【０３９２】

次に、基板３００４を導電体基板３００１に付着させる。基板３００４と導電体基板３００１を電気的に導通する場合は、基板３００４は導電体基板で良い。この場合において、半導体基板や絶縁体基板を使用することもできるが、基板３００４をエッチングした後で、パターン３００４－１（図６２（ｄ）に示す）上に導電体膜を形成し、導電体基板３００１と基板３００４上に付着する導電体基板３００７との導通を取る。基板３００４と導電体基板３００１を電気的に導通しない場合は、基板３００４は絶縁体基板が良い。この場合において、基板３００４として半導体基板や導電体基板を使用する場合は、導電体基

板３００１上に絶縁体膜を積層するか、基板３００４をエッチングした後で、パターン３００４－１（図６２（ｄ）に示す）上に絶縁体膜を形成し、導電体基板３００１と基板３００４上に付着する導電体基板３００７とが導通しないようにする。次に導電体基板３００１の筒体部分３００１－１を分離するために、筒体２１９３の側面部分３００２（３００２－１、２、３）の周囲の導電体基板３００１を除去し、貫通孔（貫通室３００５（３００５－１、２、３、４）を形成する。これによって、導電体基板３００１の周囲３００１－２と筒体部分３００１－１は分離される。基板３００４は、筒体２１９３を支持するためのステム２１９６を作製することと、空洞２１９１を取り囲む基板となる。そこで、フォトリソ法等を用いて基板３００４をエッチング等して不要部分を除去して貫通室３００６（３００６－１、２、３、４）を形成する。これらの貫通室３００６（３００６－１、２、３、４）は空洞２１９１となる。除去されない部分３００４－１はステム２１９６となり、貫通室３００６（３００６－１、２、３、４）を囲む部分３００４－２は空洞２１９１を取り囲む基板となる。付着方法はこれまでに述べた方法を選択できる。導通を取らない場合は接着剤を使う場合は絶縁性接着剤が良い。貫通室３００６（３００６－１、２、３、４）は筒体２１０３を囲む空洞２１９１である。貫通室３００６（３００６－１、２、３、４）は貫通孔（貫通室３００５（３００５－１、２、３、４）と接続する。

【０３９３】

基板３００４の上に導電体基板３００７を付着する。付着方法はこれまでに述べた方法で行なうことができる。導電体基板３００７は第二の同軸線路の外導体となる。導電体基板３００７は加速器の部分だけをカバーすれば良いので、不要な部分はエッチング等で除去する。予め不要部分を除去した導電体基板３００７を基板３００４上に付着しても良い。（図６２（ｅ））この結果、ＲＦ型線形加速器の上半分または下半分が作製された。筒体となる導電体基板３００１－１とその側面となる３００２－１～３をステム３００４－１で支持し、ステム３００４－１は導電体基板３００７に接続する。ＲＦ型線形加速器の上下はほぼ対称形なので、図６２（ｅ）に示したものと同じものを作製し、イオン注入の加速室や加速器の加速室や質量分析装置の加速室等に四重極電極３００９をセットした後で、その上下から図６２（ｅ）に示したものを合わせ込みながら、加速室の上下基板３０１０、３０１１の上面および下面に、導電体基板３００１の外側を付着させる。このとき、同時に筒体３００２の端面３００８同士も付着できるように、全体のサイズを合わせ込む。これらの付着もこれまでに示した方法を用いることができる。四重極電極３００９と筒体または外側導電体基板３００７との電気的コンタクトは、これまでに述べた方法で加速室基板３０１０や３０１１を通してコンタクト孔や配線層を形成して取ることができ、あるいは直接これら同士を接触させたり、あるいは直接接続するコンタクトや配線層を設けたり、あるいはステムや支持台座を通じたり、あるいはステム支持台座を利用して配線層を設けたりして取ることができる。四重極電極３００８の搭載もこれまでに示した方法で行なうことができる。（たとえば、図２６について示した図や説明）加速室左側の貫通室３０１２からＲＦ型線形加速器の空洞３０１３に出たイオン３０１４は、筒体空洞３０１５へ入り収束および加速されて加速室右側の貫通室３０１６へ送られる。尚、筒体を支持するステム３００４は上下に２つ記載したが、一方は図６１に示す支持台座２１９５でも良いし、支持できれば１つだけでも良い。この結果、極めて簡単に、しかも正確にＲＦ型線形加速器を本発明の基板型で作製できる。支持台座２１９５はステムの形成方法と同様の方法で作製できる。また、導電体基板を用いて作製している基板に関しては、絶縁体基板や半導体基板の表面（本件の場合は、特に空洞内面）に導電体膜を積層して導電性を確保することもできる。

【０３９４】

図６３は、線形加速器の別の加速方法（ＩＨ（Interdigital　H）型）（APF（Alternating　Phase　Focus）を含む）を示す図である。図６３（ａ）はその構成を示す図である。筒体電極（ドリフトチューブとも言う、導電体で形成）３０２０を多数有する加速器であり、イオンの進入方向からｉ番目の筒体電極３０２０－ｉの厚みをＭｉ、ｉ番目の筒体電極３０２０－ｉとｉ＋１番目の筒体電極３０２０－ｉ＋１番目の距離をＬｉとする。筒体

電極３０２０は中央部分に中央孔３０２３があいていて、この中をイオンビーム３０２５が通る。筒体電極３０２０は空洞内に支持ステム３０２４で空洞を囲む基板につながっている。筒体電極３０２０は上下に２つの部分（３０２１．３０２２）に分離して作製され、その端面３０２６で付着している。筒体電極はイオンビームに対して略垂直に配置される。各筒体電極にはステムを通して高周波電圧が印加され、この中を通るイオンを加速できる。筒体電極間距離Ｌｉ＋Ｍｉ／２は高周波に同期するように予め決められて配置される。従って、シンクロトロン型イオン注入装置で周回してきたイオンはこの加速器でその都度加速されていく。図６３に示す線形加速器は、図６１および図６２で示す方法と殆ど同じ方法で簡単に作製できる。中央孔の大きさ、筒体電極のサイズ、Ｍｉ、Ｌｉ、空洞の大きさはイオンビームの加速電圧、電流、印加する高周波特性等によって適宜決めることができる。図６３（ｂ）は、図６２に示す構造の作製方法の一部を示す図である。図６３（ｂ）は図６２（ｅ）に相当する。プロセスは図６２に示す方法と殆ど同じなので、同じ符号を付し、異なる所を中心に説明する。ドリフトチューブ３０２０の半分３０２１（または３０２２）を構成する導電体基板３００１、３００２の作製方法は同じであり、これらを１つの基板とすることもできるし、同じ材料で構成することもできる。ドリフトチューブ３０２１は多数配置される。基板３００７が絶縁体である場合、ステム基板３００４と絶縁体基板３００７の接着には接着剤や密着可能な金属や各種接合法を用いて行なう。次に絶縁体基板３００７にステム３００４に接続用のコンタクト孔３０３１を形成し、導電体膜３０３２をコンタクト孔に積層し、ステム３００４と導通を取る。さらにコンタクト孔に接続する電極３０３３をパターニングする。接着剤が導電性のない接着剤の場合は、コンタクト孔形成のときに露出した接着剤を除去しておく。また、コンタクト孔３０３１および導電体膜３０３２はステム基板３００４に付着する前に絶縁体基板３００７に形成しても良い。この場合は、各コンタクト孔３０３１に合わせて各ステムが接続するように絶縁体基板３００７とステム基板３００４を付着させる。このときに接着剤を使用する場合は導電性接着剤とする。これと同じものを作製し、図６２（ｆ）に示すように間に、主基板等を間に挟んでドリフトチューブ３０２０の他の半分を付着させる。すなわち、３０２１の端面３０２６と３０２２の端面３０２６を合わせて付着させる。１つおき同士の電極（たとえば、３０３３－ｉと３０３３－ｉ＋２）に同じ位相の高周波を印加し、別の１つおき同士の電極（たとえば、３０３３－ｉ－１と３０３３－ｉ＋１）にそれと異なる位相の高周波を印加して、ドリフトチューブ３０２０を通るイオンを加速させる。あるいは、それぞれ次第に変化する位相の高周波を順々に隣接する電極に印加してドリフトチューブ３０２０を通るイオンを加速させることも可能である。特に本発明のＩＨ型加速器ではそれぞれのドリフトチューブに上下に電極が形成されているので、イオン加速に最適な高周波の最適印加が可能である。基板３００７が導電体基板の場合には、この導電体基板３００７と導電性を取りたくないドリフトチューブ（たとえば、３０３３－ｉ－１と３０３３－ｉ＋１）のステム３００４と導電体基板３００７の接着には絶縁性接着剤を使用する。ただし、これと付着する反体側の接着は導電性を取るようにする。こうすることによって、上側に配置される導電体基板３００７と接続するドリフトチューブと下側に配置される導電体基板３００７と接続するドリフトチューブとを上下交互に導電するように配置することができる。さらに導電体基板とステム３００４との間にリッジ用の基板を配置して加速電界が空洞全体にわたり均等に発生させることもできる。

【０３９５】

図６４は、別の線形加速室における加速方法を示す図である。図５７に示す連結室２１１５や円形加速室２１１８－２から進んで来るイオンが線形加速室２１１８－１、３に入ると、中央孔２１３９（２１３９－１、２、・・・）を有し、中央孔２１３９に導電体膜２１３２が形成された基板側壁２１３６（２１３６－１、２、・・・）の中央孔を進み、そこに印加された高周波電界または静電界によってイオンが加速し、隣の円形加速室２１１８－２、４に入る。この繰り返しでイオンは加速しながら周回し、所定速度（加速電圧）になったら出射する。貫通室の間にも基板側壁２１３５（２１３５－１、２）があり、軌道を外れたイオン等はこの基板側壁に衝突して隣室へ進入できない。また、この基板側壁

２１３５（２１３５－１）により、基板側壁電極２１３６－１の側面に引きつけられず、中央孔を進むようになる。この２１３５（２１３５－１）にも導電体膜を形成し、イオンと同じ電圧を印加しておき、イオンを収束するようにしても良い。線形加速室２１１８－１、３に形成された基板側壁２１３６に形成された導電体膜は、上下基板２１０８および２１０９に形成されたコンタクト電極・配線２１３３を通して基板上の電極・配線２１３４に接続する。各基板側壁電極２１３６（２１３６－１、２、・・・）にそれぞれ基板上の電極・配線２１３４が形成されており、個々に電圧を印加できる。たとえば、基板側壁電極２１３６－１にイオンと逆の電圧（｜Ｖ｜）を印加して、イオンを加速する。その隣の基板側壁電極２１３６－２にこれより少し大きな電圧（｜Ｖ｜＋Δｖ1）を印加してさらに加速させる。その隣にさらに大きな電圧（｜Ｖ｜＋Δｖ1＋Δｖ２）を印加するという風にしてイオンをどんどん加速させる。イオンが発散してきたらイオンと同電荷の電圧を印加した基板側壁電圧を設けて収束させる。これを繰り返して所定の速度にイオンを加速させる。基板側壁電極の間に導電体膜のない基板側壁（中央孔あり）または電圧を印加しない導電体膜ありの基板側壁（中央孔あり）を設けて、イオンの発散を防止しても良い。また、上下基板に電極・配線を形成できるので、電圧の印加自由度が増大する。以上のようにして静電界を用いてイオンを加速できる。

【０３９６】

また、高周波電界を用いてイオンを加速できる。たとえば、１つおきの電極に同じ高周波電圧を印加し、他の１つおきの電極に異なる位相の同じ高周波電圧を印加して、イオン速度と同期をとることによってイオンを加速できる。２つおきの電極やｍ個おきの電極に同じ高周波電圧を印加し、その間の電極同士には位相が次第に変化するように高周波電圧を印加することによってもイオンを加速することができる。本発明の基板側壁電極は個別に、しかも上下に電極・配線２１３４を持っているので、高周波電圧の掛け方をイオン速度に合わせて変化させることができ、効率的なイオンの加速を行なうことができる。しかもＬＳＩチップをすぐそばに配置することもできるので、これらの制御を迅速に自動的に行なうことができる。また、高周波を印加しない導電体膜有り無しの基板側壁（中央孔有り）を配置できるので、高周波漏れによる干渉も防止することも容易である。上下基板２１０８、２１０９に開口部２１３７を設けて貫通室を真空引きすることもできるし、クリーニングやパージをすることもできる。図６４（ｂ）はＡ１－Ａ２断面（イオン軌道Ｇに対して垂直）図であり、中央孔２１３９の側面に導電体膜２１３２が積層されている。中央孔２１３９の周辺は主基板２１１１であるが、貫通室の境界を２１４１（２１４１－１、２）で示している。基板側壁電極間隔も自由に選択できるので、高周波同期をとり易い構造となっている。図６４（ｃ）もＡ１－Ａ２断面（イオン軌道Ｇに対して垂直）図であるが、異なる基板側壁を示す。基板側壁２１３６と主基板２１１１の貫通室側面２１１１（２１１１－１、２）の間に間隙２１４２－１、２が形成されている。また、基板側壁２１３６の外側側面に導電体膜２１４３－１、２が形成されている。これらの導電体膜２１４３－１、２は中央孔導電体膜２１３２と接続している。高周波電圧をこの導電体膜２１３２に印加した場合、この間隙（ギャップ）２１４２により高周波電界の同期がよりスムーズになる。すなわち効率が良くなる。基板側壁電極間隔も自由に選択できるので、高周波同期をとり易い構造となっている。以上述べたことは加速器や質量分析装置など本明細書で述べたことについてすべてに適用できる。

【０３９７】

尚、明細書の各部分に記載し説明した内容を記載しなかった他の部分においても矛盾なく適用できることに関しては、当該他の部分に当該内容を適用できることは言うまでもない。さらに、上記実施形態は一例であり、要旨を逸脱しない範囲内で種々変更して実施でき、本発明の権利範囲が上記実施形態に限定されないことも言うまでもない。

【産業上の利用可能性】

【０３９８】

本発明は、加速装置や質量分析装置だけでなく、それらを構成する個々の要素・機構に適用できる。また、加速機構を使用するすべての装置、たとえばイオン注入装置に使用する

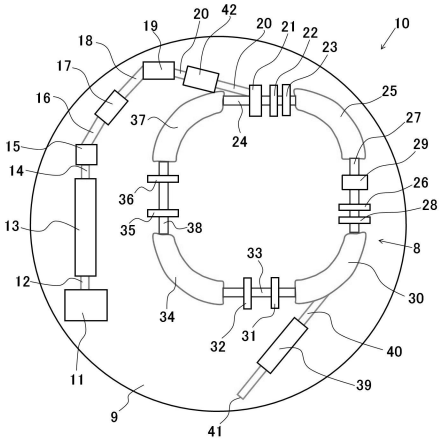
ことができる。

【符号の説明】

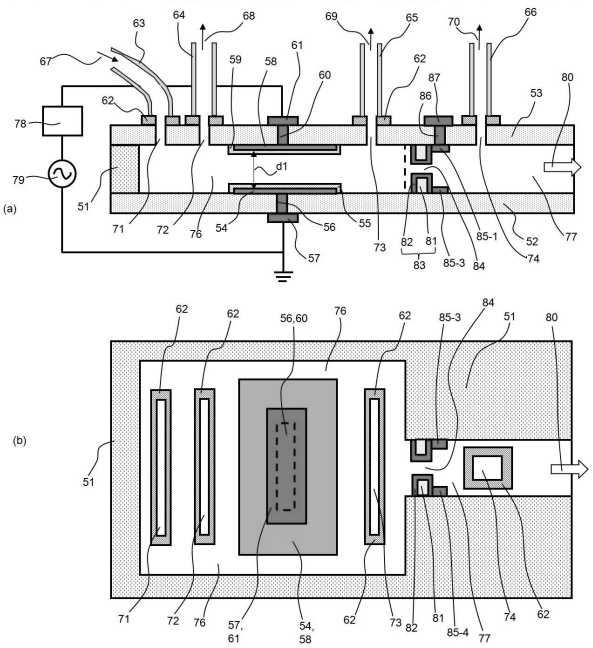
【０３９９】

１１・・・荷電粒子発生装置、１３・・・線形（型）加速装置、１５、１７、１９、２１、２２、２３、２６、２８、２９、３１、３２、３５、３６・・各種電磁石、２５、３０、３４、３７・・・偏向電磁石、１２、１４、１６、１８、２０、２４、２７、３３、３８、４０・・・荷電粒子が通る空洞、３９・・・線形加速装置、２１・・・インフレクター、

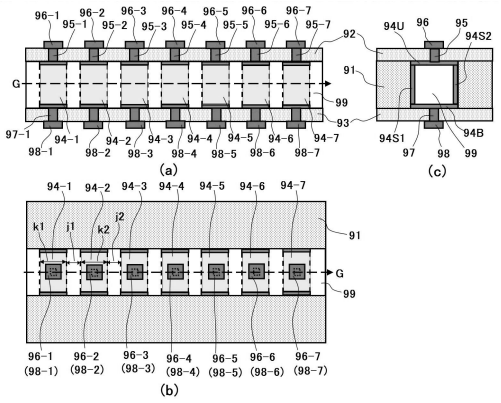
【図１】



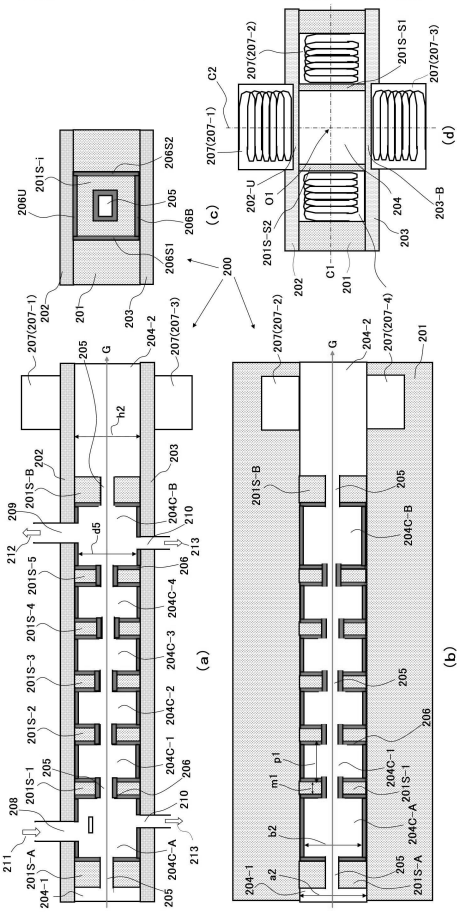
【図２】



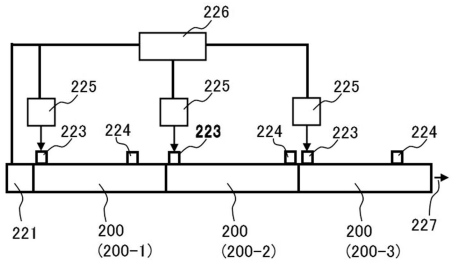
【図３】



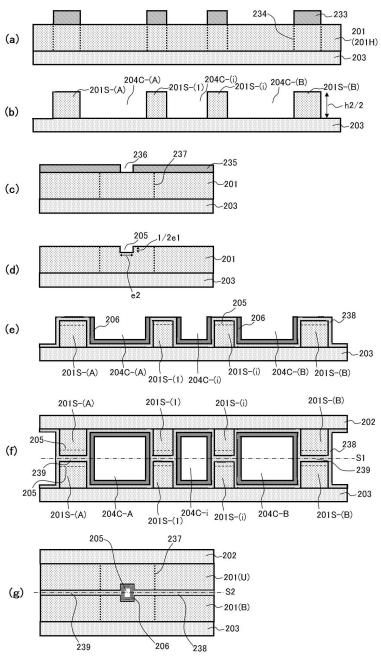
【図４】



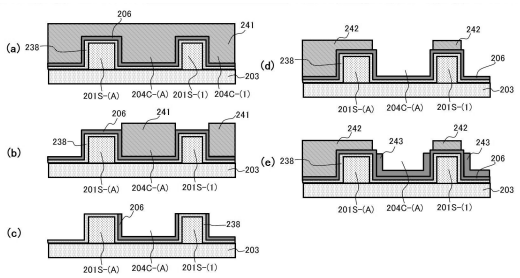
【図５】



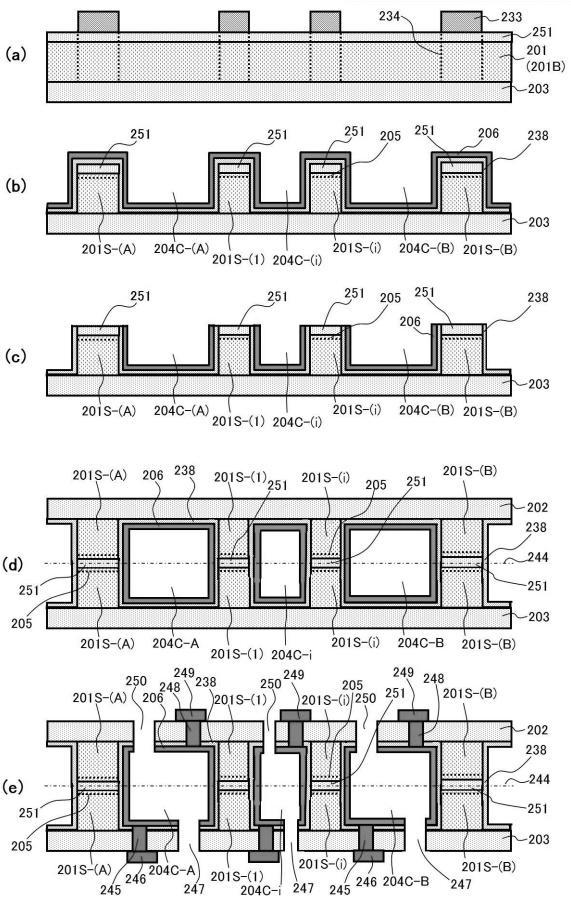
【図６】



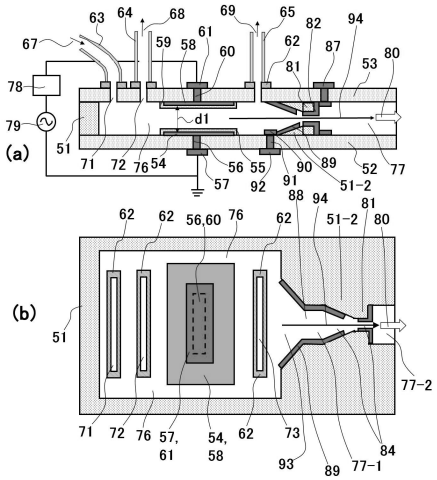
【図７】


(a)
(b)
(c)
(d)
(e)
201S-(A)
204C-(A)
201S-(I)
204C-(I)
203
206
238
241
242
243

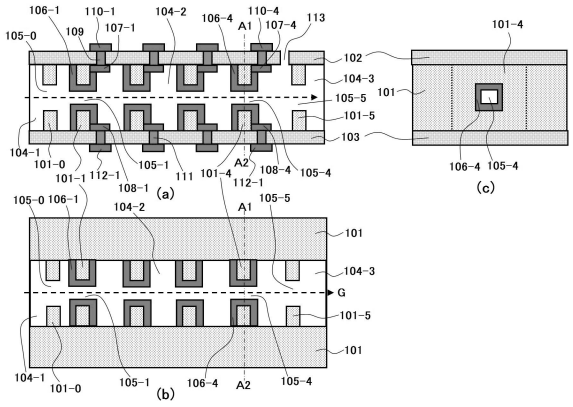
【図８】


(a)
(b)
(c)
(d)
(e)
201S-(A)
204C-(A)
201S-(I)
204C-(i)
201S-(i)
204C-(B)
201S-(B)
204C-A
204C-i
204C-B
203
202
205
206
238
244
245
246
247
248
249
250
251

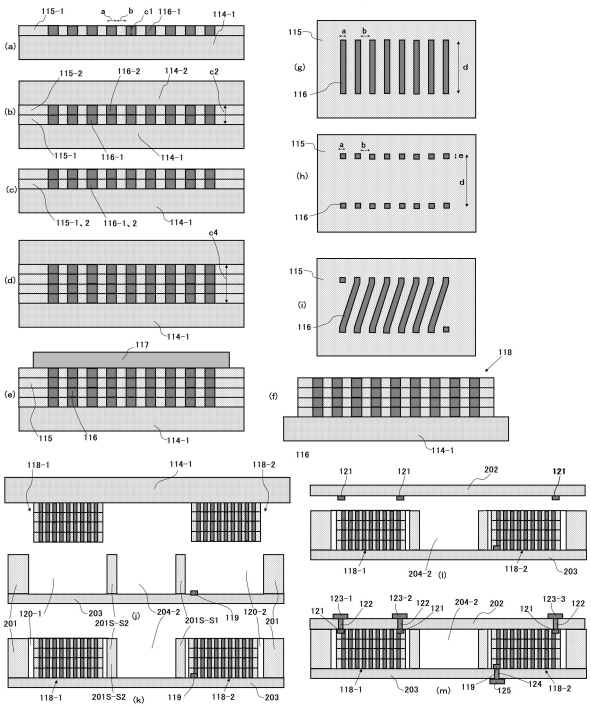
【図９】


(a)
(b)
d1
51
51-2
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
67
68
69
71
72
73
76
77
77-1
77-2
78
79
80
81
82
84
87
88
89
90
91
92
93
94
56,60
54,
58
57,
61

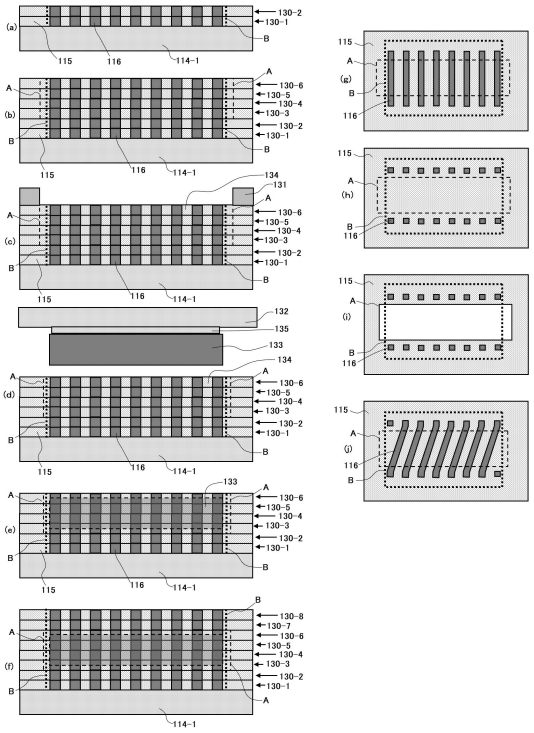
【図１０】


(a)
(b)
(c)
101
101-0
101-1
101-4
101-5
102
103
104-1
104-2
104-3
105-0
105-1
105-4
105-5
106-1
106-4
107-1
107-4
108-1
108-4
109
110-1
110-4
111
112-1
113
A1
A2
G

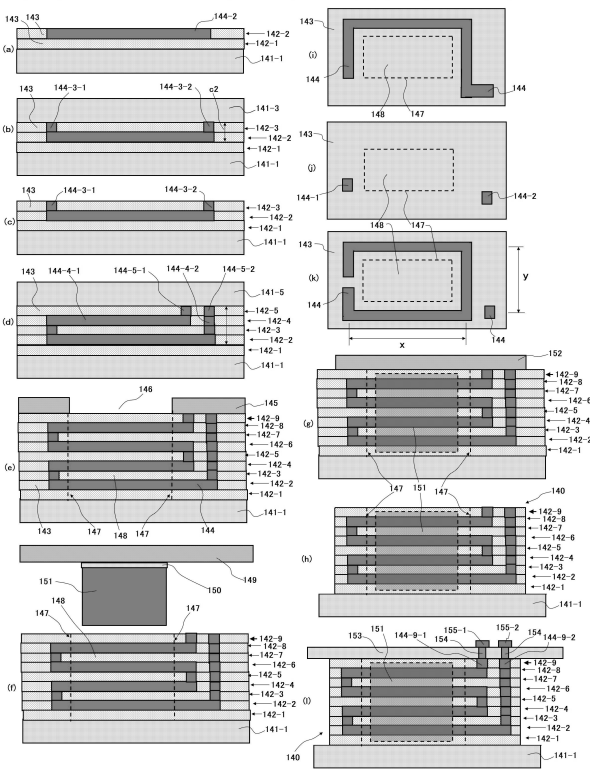
【図１１】



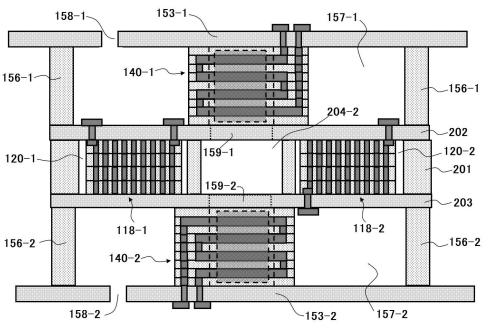
【図１２】



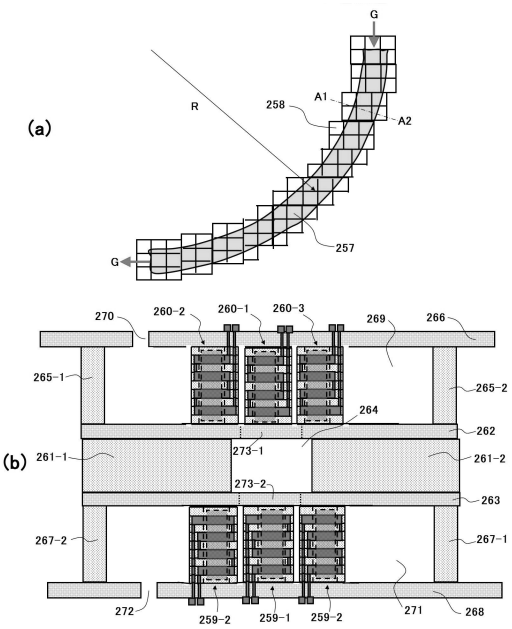
【図１３】



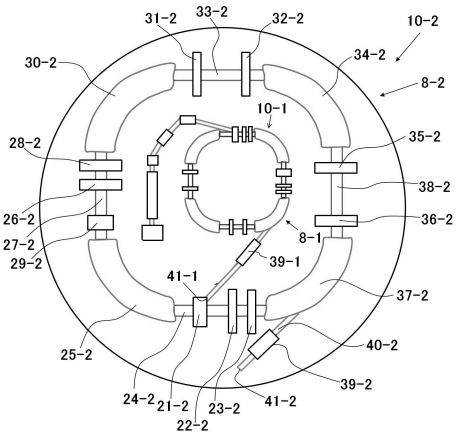
【図１４】



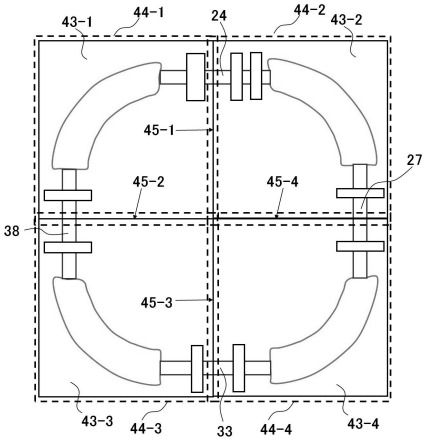
【図１５】



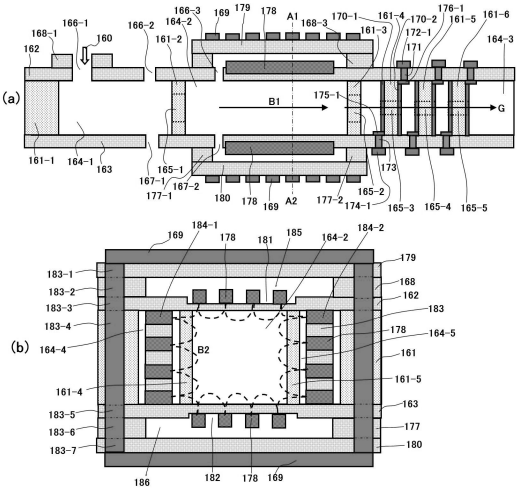
【図１６】



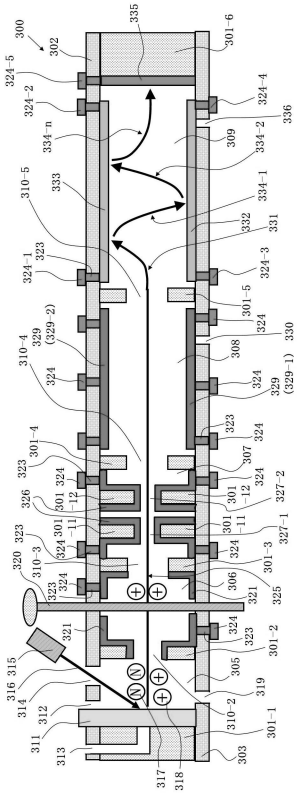
【図１７】



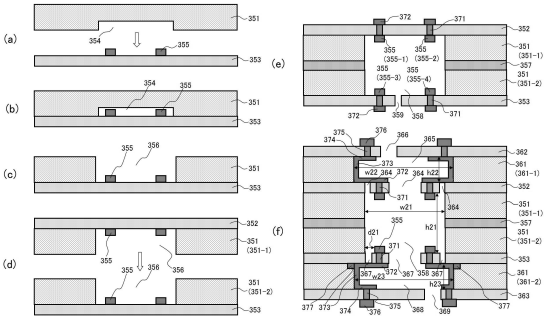
【図１８】



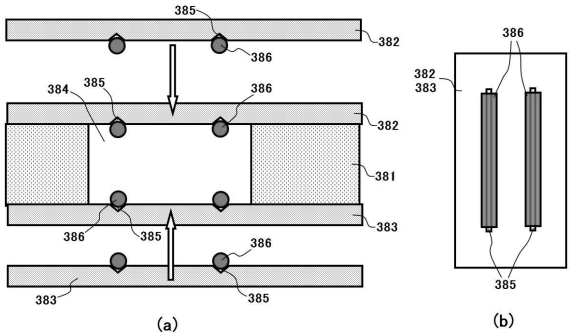
【図１９】



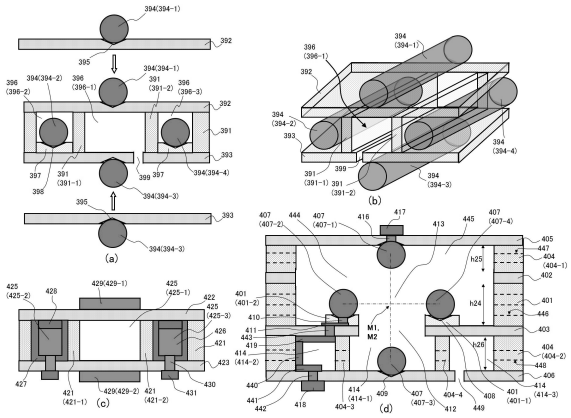
【図２０】



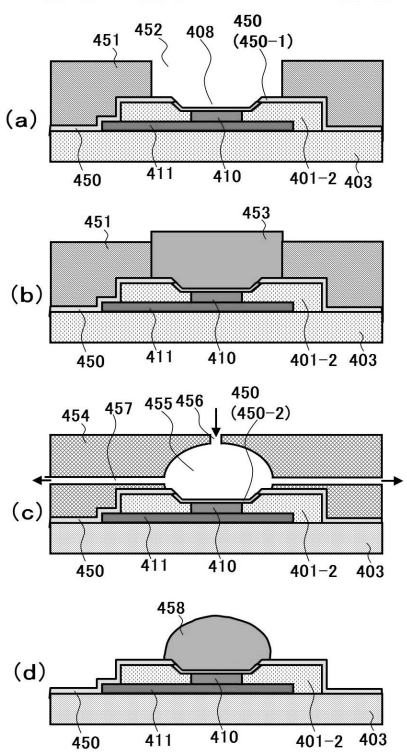
【図２１】



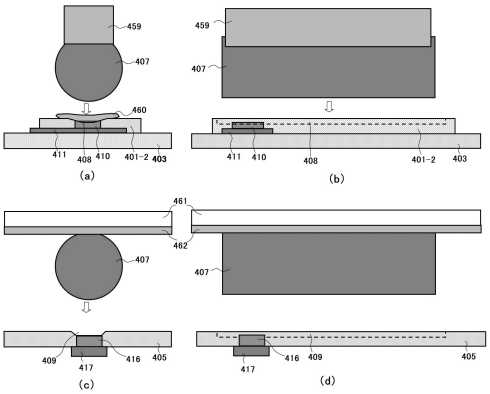
【図２２】



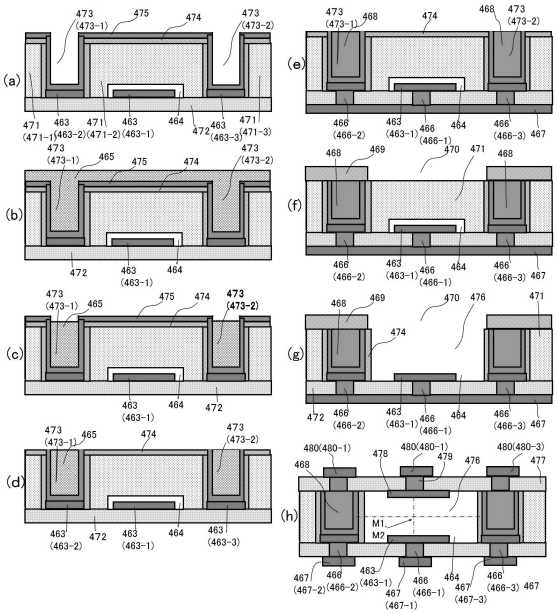
【図２３】



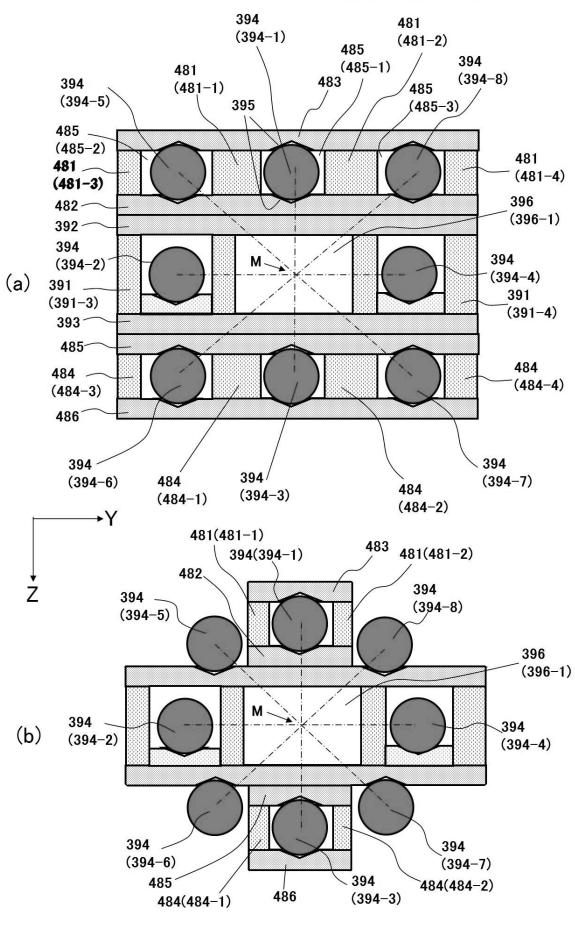
【図２４】



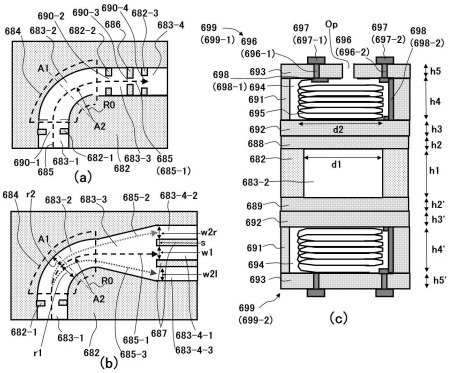
【図２５】



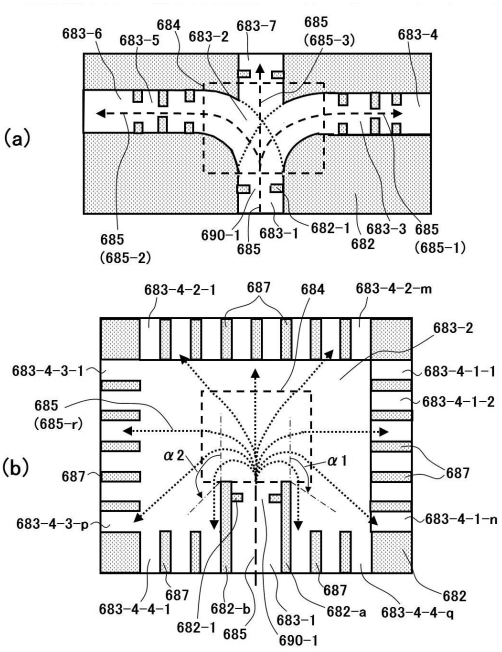
【図２６】



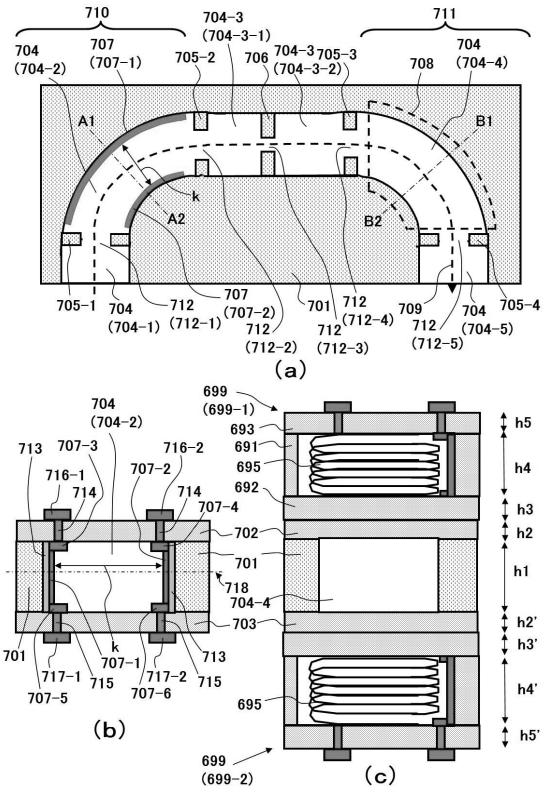
【図２７】



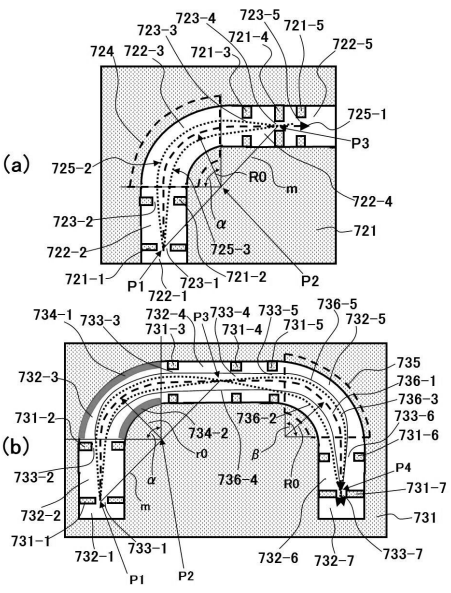
【図２８】



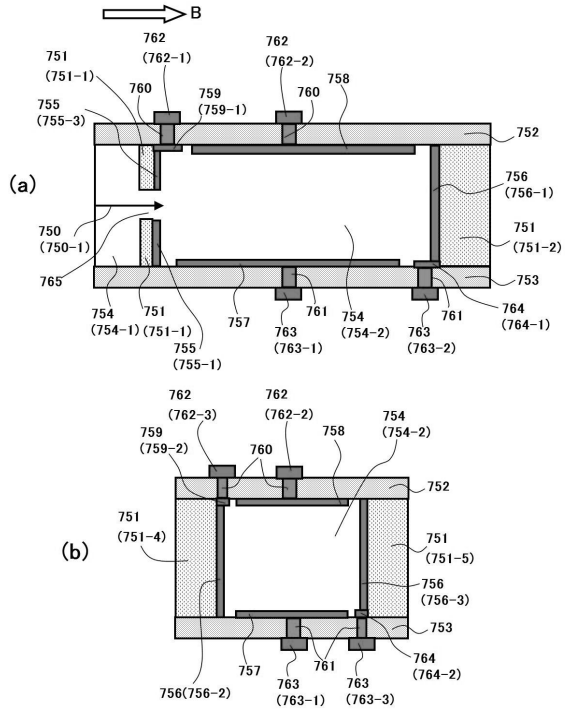
【図２９】



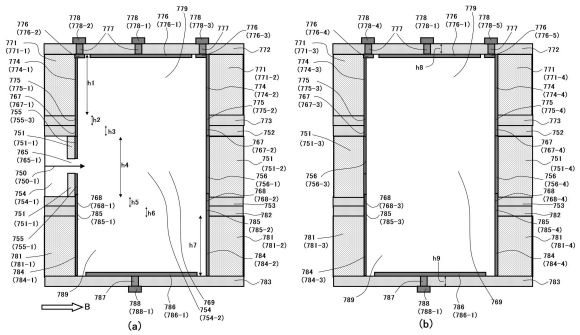
【図３０】



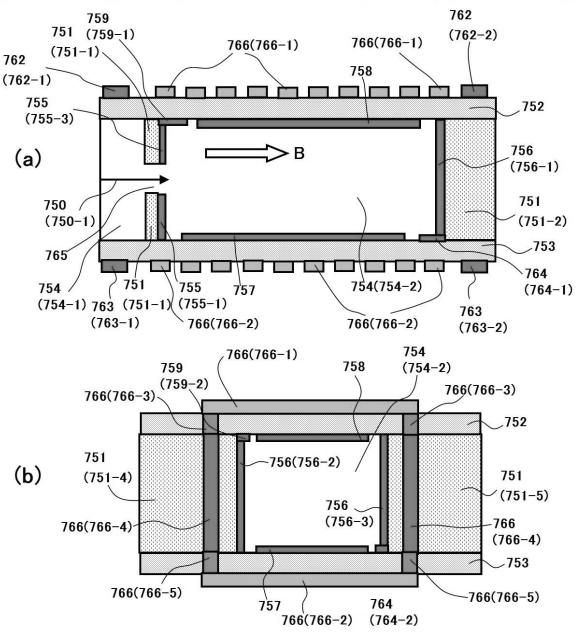
【図３１】



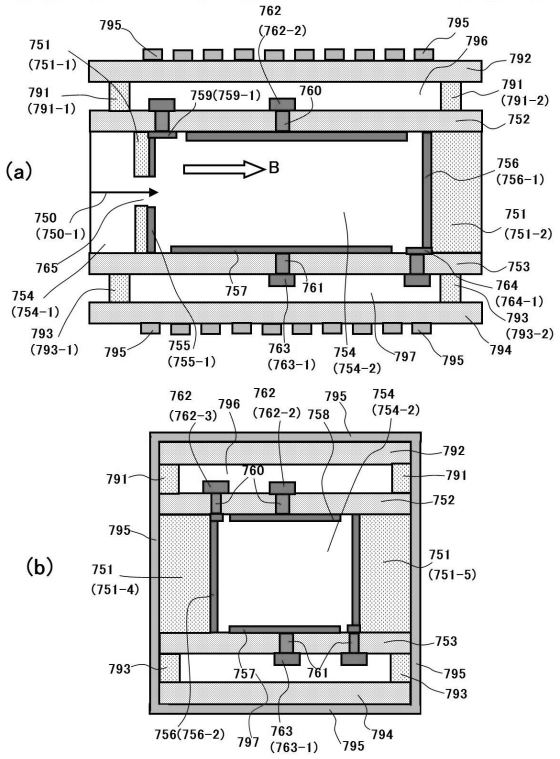
【図３２】



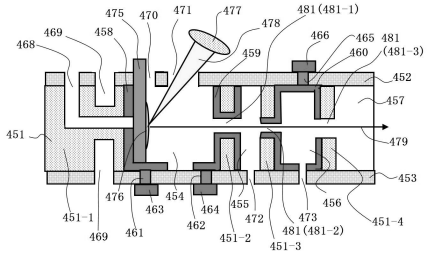
【図３３】



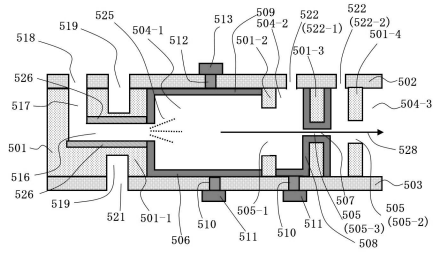
【図３４】



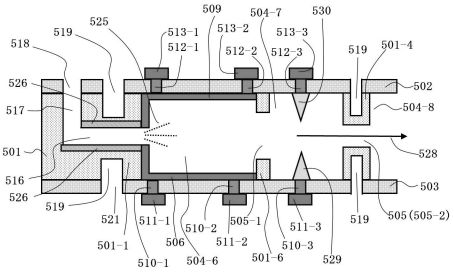
【図３５】



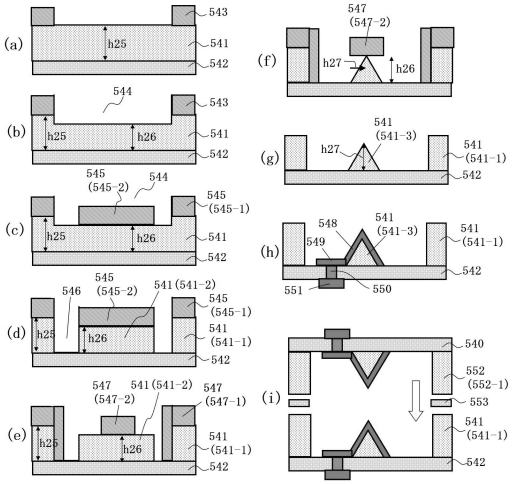
【図３６】



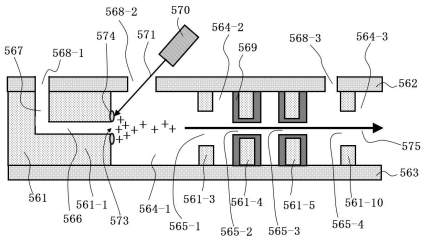
【図３７】



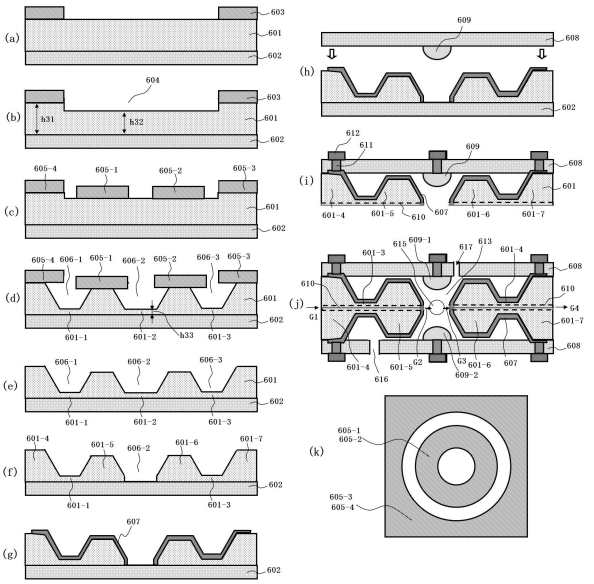
【図３８】



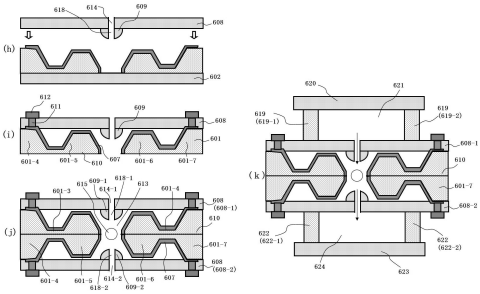
【図３９】



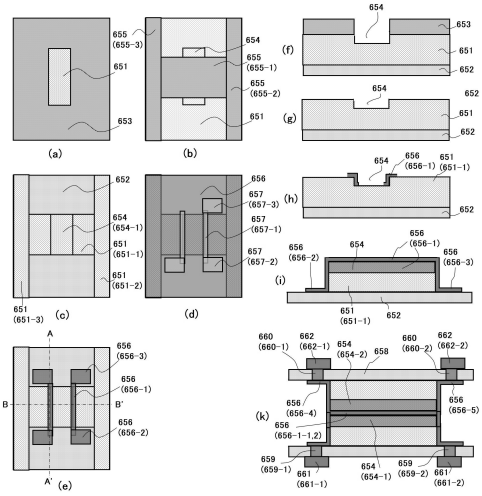
【図４０】



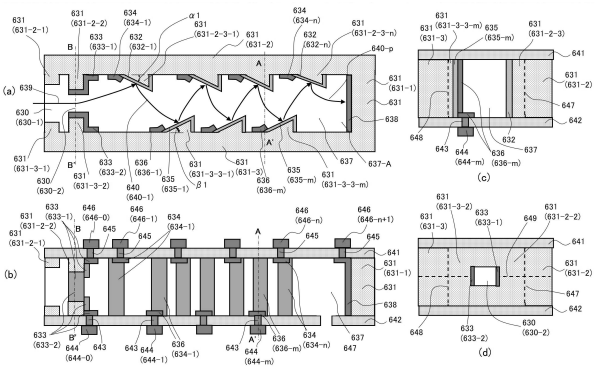
【図４１】



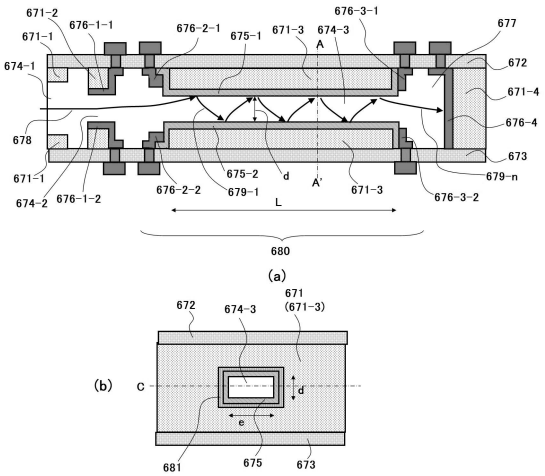
【図４３】



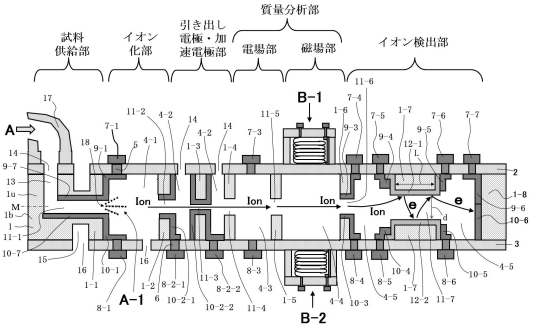
【図４２】



【図４４】

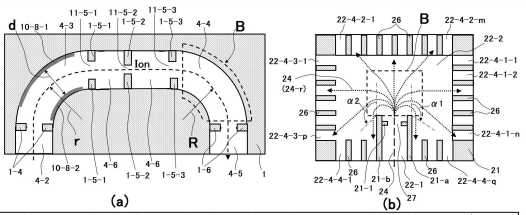


【図４５】



1Si基板、1-1第１Si基板側壁、1-2第2基板側壁板、1-3第3基板側壁板(引き出し電極用)、1-4第4基板側壁板、1-5第5基板側壁板、1-6第6基板側壁板、1-7第7基板側壁板(増倍管形成用)、1-8第8Si基板側壁、2上部基板、3下部基板、4貫通室、4-1イオン化室、4-2引き出し電極室、4-3質量分析室(電場室)、4-4質量分析室(磁場室)、4-5イオン検出室、5コンタクト配線(上部基板)、6コンタクト配線(下部基板)、7外側電極(上部基板上)、8外側電極(下部基板上)、9上側導電体膜電極配線、10下側導電体膜電極配線、9-1イオン化室上部電極、10-1イオン化室下部電極、9-2基板側壁板導電体膜電極(引き出し電極)、10-2基板側壁板導電体膜電極、9-3基板側壁板導電体膜電極(上側)、10-3基板側壁板導電体膜電極(下側)、9-4増倍管印加電極(上側)、9-5増倍管印加電極(上側)、10-4増倍管印加電極(下側)、10-5増倍管印加電極(下側)、11中央孔、11-1中央孔(試料導入管)、11-2中央孔(第2基板側壁板)、11-3中央孔(引き出し電極用)、11-4中央孔(第4基板側壁板)、11-5中央孔(第5基板側壁板)、11-6中央孔(第6基板側壁板)、11-7中央孔(増倍管用)、12二次電子放出物質膜、13試料導入管(縦孔)、14開口部(上部基板)、15冷却孔、16開口部(下部基板)、17試料導入ライン、18試料導入管出口
A試料(液体、気体)、A－１スプレーガス、B－１コイル(上側)、B－２コイル(下側)

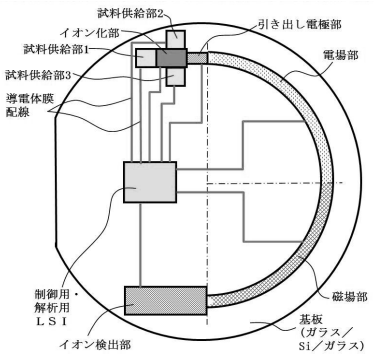
【図４６】



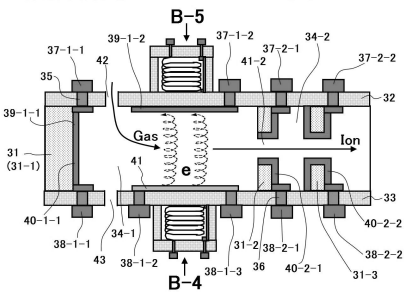
1Si基板、1-4第４基板側壁板、1-5-1第５基板側壁板(仕切板)、1-5-2第５基板側壁板(エネルギーフィルター用)、1-5-3第５基板側壁板(仕切板)、1-6第６基板側壁板(仕切板)、4-2引き出し電極室、4-3電場室、
4-6エネルギーフィルター室、4-4磁場室、4-5イオン検出室、10-8-1導電体膜電極、10-8-2導電体膜電極、11-5-1中央孔、11-5-2中央孔(スリット)、11-5-3中央孔、B磁場(コイル)、r扇型電場室の中心軌道

21Si基板、21-1Si基板側壁板(仕切板)、21-aSi基板側壁板(隔壁)、21-bSi基板側壁板(隔壁)、22-1貫通室(イオン走行通路)、22-4-1-1～n-1イオン検出室、22-4-2-1～m-1イオン検出室、22-4-3-1～p-1イオン検出室、22-4-4-1～q-1イオン検出室、24イオン軌道、26Si基板側壁板(隔壁)、27中央孔、B磁場、

【図４７】

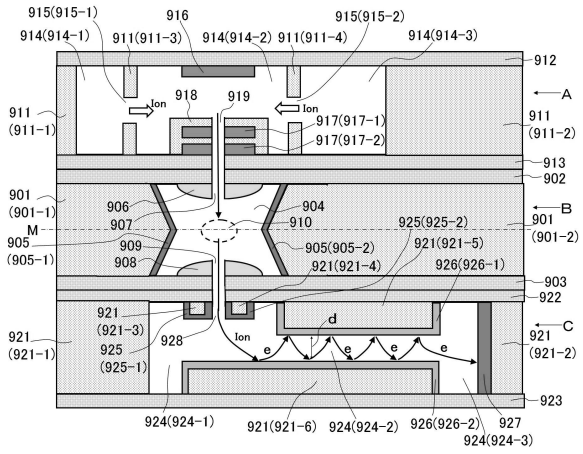


【図４８】

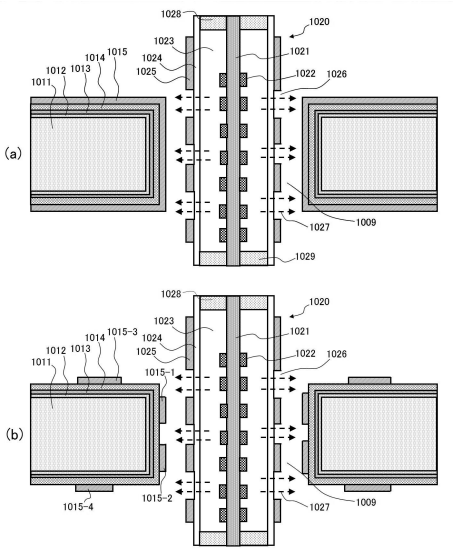


31Si基板、
31-1Si基板側壁、
31-2Si基板側壁板、
31-3Si基板側壁板、
32上部基板、33下部基板、
34貫通室、34-1イオン化室、
34-2引き出し電極室、
35コンタクト(上部)、
36コンタクト(下部)、
37上外側導電体膜電極、
38下外側導電体膜電極、
39上内側導電体膜電極、
40下内側導電体膜電極、
40-1-1リペラー電極
41フィラメント、
42開口部(上部)、
43開口部(下部)、
B-3コイル、B-4コイル

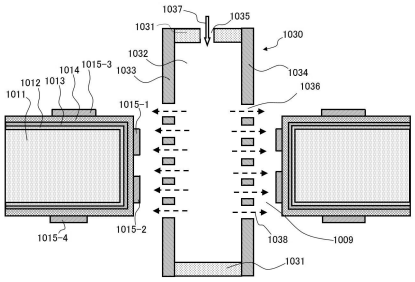
【図４９】



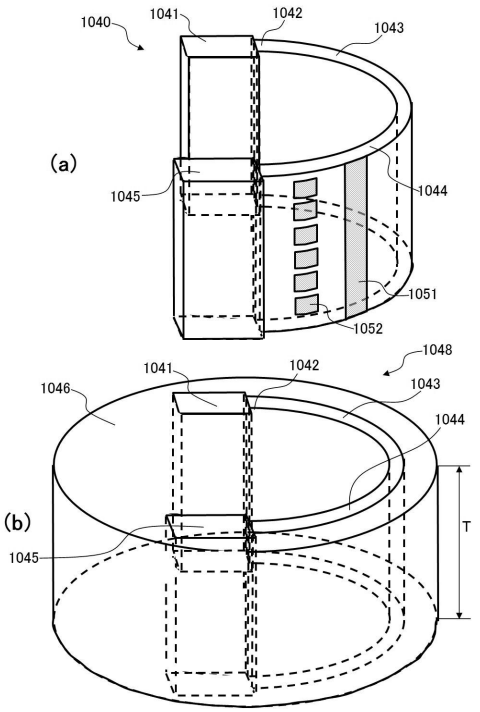
【図５０】



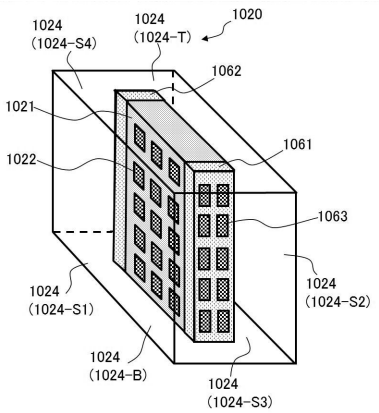
【図５１】



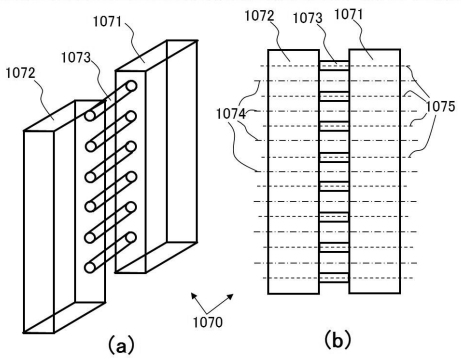
【図５２】



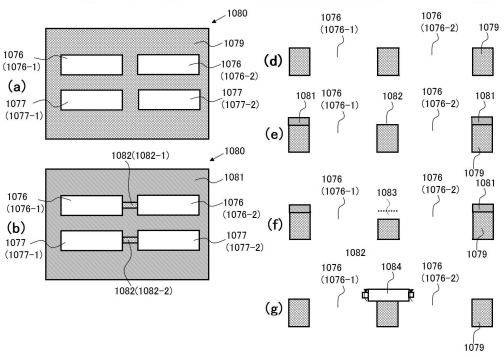
【図５３】



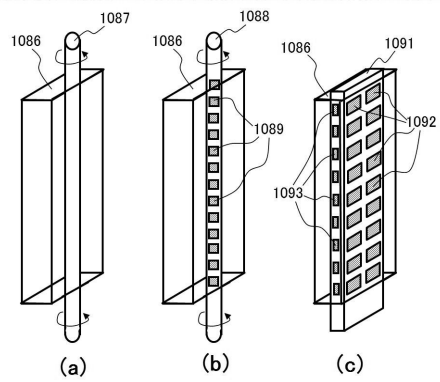
【図５４】



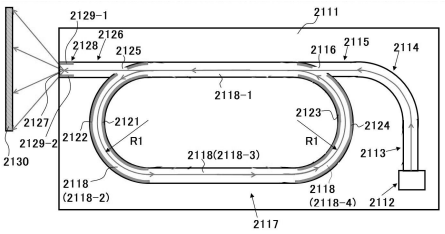
【図５５】



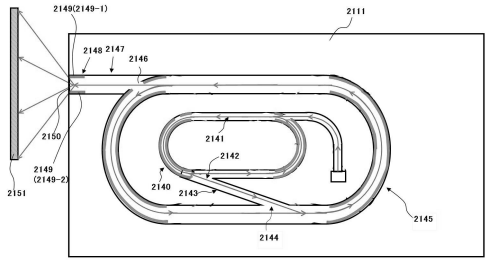
【図５６】



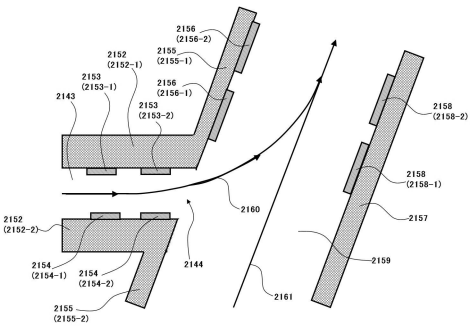
【図５７】



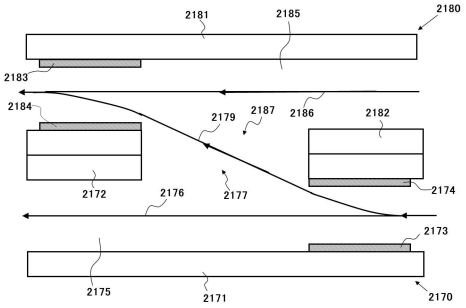
【図５８】



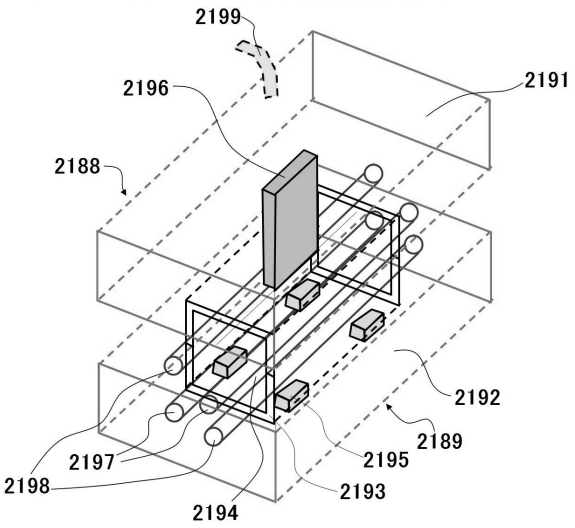
【図５９】



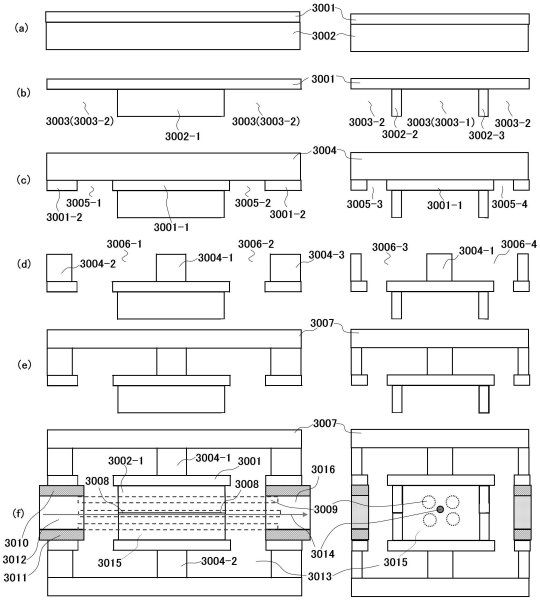
【図６０】



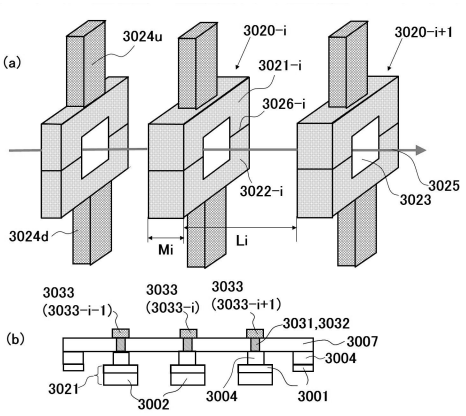
【図６１】



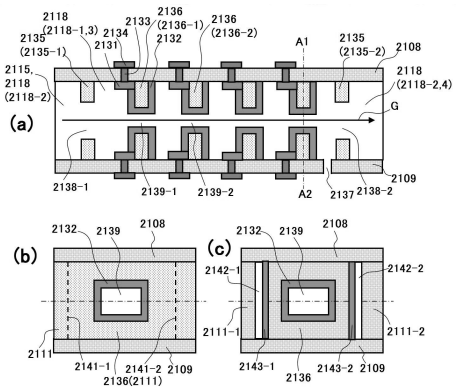
【図６２】



【図６３】


(a)
3024u
3020−i
3020−i+1
3021−i
3026−i
3022−i
3025
3023
3024d
Mi
Li
(b)
3033
(3033−i−1)
3033
(3033−i)
3033
(3033−i+1)
3031,3032
3007
3004
3021
3002
3004
3001

【図６４】


(a)
2118
(2118−1,3)
2135
(2135−1)
2134
2131
2133
2136
(2136−1)
2132
2136
(2136−2)
A1
2135
(2135−2)
2108
2115,
2118
(2118−2)
2118
(2118−2,4)
G
2138−1
2139−1
2139−2
A2
2137
2138−2
2109
(b)
2132
2139
2108
2111
2141−1
2141−2
2109
2136(2111)
(c)
2132
2139
2108
2142−1
2142−2
2111−1
2111−2
2143−1
2136
2143−2
2109

フロントページの続き

(51)Int.Cl.			FI		
H01J	*49/04*	*(2006.01)*	H01J	49/04	
H01J	*49/10*	*(2006.01)*	H01J	49/10	
H01J	*49/06*	*(2006.01)*	H01J	49/06	
G01N	*27/62*	*(2006.01)*	G01N	27/62	B
H05H	*7/08*	*(2006.01)*	H05H	7/08	
H05H	*9/00*	*(2006.01)*	H05H	9/00	B
H05H	*7/04*	*(2006.01)*	H05H	7/04	

(56)参考文献 特開平０４－０７９１４１（ＪＰ，Ａ）
特開平０７－２７２８９９（ＪＰ，Ａ）
特開２００２－１７５７７１（ＪＰ，Ａ）
特開２００５－２９４０９０（ＪＰ，Ａ）
特開２０１５－１８５５４５（ＪＰ，Ａ）
特表２０１５－５２７６９２（ＪＰ，Ａ）
J. P. Hauschild, et al., The novel synchronous ion shield mass analyzer, Journal of Mass Spectrometry, 米国, Wiley Interscience, ２００９年 ８月 ４日, Volume 44, Issue 9, 1330-1337
C. M. Tassetti, et al., GAS DETECTION AND IDENTIFICATION USING MEMS TOF MASS SPECTROMETER, Proceedings of the 17th international Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (2013 TRANSDUCERS & EUROSENSORS XXVII), 米国, IEEE, ２０１３年 ６月１６日, 1162-1165
Y. Shi, et al., INTEGRATED ALL-ELECTRIC HIGH ENERGY ION BEAM GUIDANCE ON CHIP: TOWARDS MINIATURE PARTICLE ACCELERATOR, Proceedings of 2011 IEEE 24th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems, 米国, IEEE, ２０１１年 ３月１７日, 137-140

(58)調査した分野(Int.Cl., ＤＢ名)

Ｈ０１Ｊ ４０／００ － ４９／４８
Ｇ０１Ｎ ２７／６２
Ｈ０５Ｈ ７／０４
Ｈ０５Ｈ ７／０８
Ｈ０５Ｈ ９／００
Ｇ２１Ｋ ５／０４