(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B1)　(11)特許番号

特許第6233555号
(P6233555)

(45)発行日　平成29年11月22日(2017.11.22)　(24)登録日　平成29年11月2日(2017.11.2)

(51)Int.Cl.		F I		
H01L 21/205	(2006.01)	H01L	21/205	
C30B 29/36	(2006.01)	C30B	29/36	A
C30B 25/20	(2006.01)	C30B	25/20	
H01L 29/12	(2006.01)	H01L	29/78	652T
H01L 29/78	(2006.01)	H01L	21/20	

請求項の数 3　(全 18 頁)　最終頁に続く

(21)出願番号　特願2017-544970 (P2017-544970)
(86)(22)出願日　平成29年6月5日(2017.6.5)
(86)国際出願番号　PCT/JP2017/020887
審査請求日　平成29年8月24日(2017.8.24)
(31)優先権主張番号　特願2016-196636 (P2016-196636)
(32)優先日　平成28年10月4日(2016.10.4)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

早期審査対象出願

(73)特許権者　000002130
住友電気工業株式会社
大阪府大阪市中央区北浜四丁目５番３３号
(74)代理人　100107766
弁理士　伊東　忠重
(74)代理人　100070150
弁理士　伊東　忠彦
(72)発明者　堀　勉
兵庫県伊丹市昆陽北一丁目１番１号　住友電気工業株式会社　伊丹製作所内

審査官　鈴木　聡一郎

最終頁に続く

(54)【発明の名称】炭化珪素エピタキシャル基板及び炭化珪素半導体装置の製造方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
{０００１}面から０°を超え８°以下傾斜した主面を有する１００ｍｍ以上の径の炭化珪素単結晶基板と、
前記主面の上に形成された膜厚が２０μｍ以上の炭化珪素エピタキシャル層と、
前記炭化珪素エピタキシャル層に含まれ、一方の端部が前記炭化珪素エピタキシャル層に含まれる貫通らせん転位と連結しており、他方の端部は前記炭化珪素エピタキシャル層の表面に存在する基底面転位と、を有し、
前記基底面転位は、{０００１}基底面において＜１１－２０＞方向に対し、２０°以上８０°以下の傾きを有する方向に伸び、
前記基底面転位の他方の端部に連結された＜１１－２０＞方向に延びる他の基底面転位が存在し、
前記基底面転位の密度が０．０５個／ｃｍ^{2}以下である炭化珪素エピタキシャル基板。
【請求項２】
前記炭化珪素単結晶基板の径は１５０ｍｍ以上であることを特徴とする請求項１に記載の炭化珪素エピタキシャル基板。
【請求項３】
請求項１又は請求項２に記載の炭化珪素エピタキシャル基板を準備する工程と、
前記炭化珪素エピタキシャル基板を加工する工程と、を備える、炭化珪素半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本開示は、炭化珪素エピタキシャル基板及び炭化珪素半導体装置の製造方法に関する。
【０００２】
本出願は、2016年10月4日出願の日本出願2016-196636号に基づく優先権を主張し、前記日本出願に記載された全ての記載内容を援用するものである。
【背景技術】
【０００３】
炭化珪素エピタキシャル基板としては、例えば、貫通刃状転位とこの貫通刃状転位に連結している基底面転位とを低減した炭化珪素エピタキシャル基板が開示されている（例えば、特許文献１）。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００４】
【特許文献１】国際公開第２００９／０３５０９５号パンフレット
【発明の概要】
【０００５】
本開示の一観点による炭化珪素エピタキシャル基板は、{０００１}面から０°を超え８°以下傾斜した主面を有する１００mm以上の径の炭化珪素単結晶基板と、主面の上に形成された膜厚が２０μm以上の炭化珪素エピタキシャル層と、炭化珪素エピタキシャル層に含まれ、一方の端部が炭化珪素エピタキシャル層に含まれる貫通らせん転位と連結しており、他方の端部は前記炭化珪素エピタキシャル層の表面に存在する基底面転位と、を有する。基底面転位は、｛０００１｝基底面において＜１１－２０＞方向に対し、２０°以上８０°以下の傾きを有する方向に伸びる。基底面転位の密度は０．０５個／cm^2以下である。
【図面の簡単な説明】
【０００６】
【図１】図１は、本開示の一態様に係る炭化珪素エピタキシャル基板を模式的に示す部分断面図である。
【図２】図２は、一方の端部が貫通らせん転位と連結している基底面転位及びこの基底面転位に連結している他の基底面転位を模式的に示す上面図である。
【図３】図３は、一方の端部が貫通らせん転位と連結している基底面転位及びこの基底面転位に連結している他の基底面転位を模式的に示す斜視図（１）である。
【図４】図４は、一方の端部が貫通らせん転位と連結している基底面転位及びこの基底面転位に連結している他の基底面転位を模式的に示す斜視図（２）である。
【図５】図５は、一方の端部が貫通らせん転位と連結している基底面転位及び他の基底面転位の発生のメカニズムを説明する模式的な上面図（１）である。
【図６】図６は、一方の端部が貫通らせん転位と連結している基底面転位及び他の基底面転位の発生のメカニズムを説明する模式的な上面図（２）である。
【図７】図７は、一方の端部が貫通らせん転位と連結している基底面転位及び他の基底面転位の発生のメカニズムを説明する模式的な上面図（３）である。
【図８】図８は、一方の端部が貫通らせん転位と連結している基底面転位及び他の基底面転位の発生のメカニズムを説明する模式的な上面図（４）である。
【図９】図９は、一方の端部が貫通らせん転位と連結している基底面転位及び他の基底面転位の発生のメカニズムを説明する模式的な上面図（５）である。
【図１０】図１０は、一方の端部が貫通らせん転位と連結している基底面転位及び他の基底面転位のＰＬ（Photoluminescence）像（１）である。
【図１１】図１１は、一方の端部が貫通らせん転位と連結している基底面転位及び他の基

底面転位のＰＬ像（２）である。
【図１２】図１２は、成膜装置の構成の一例を示す模式的な側面図である。
【図１３】図１３は、成膜装置の構成の一例を示す模式的な断面図である。
【図１４】図１４は、本開示の一態様に係る炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法の概略を示すフローチャートである。
【図１５】図１５は、成膜装置内における温度制御とガス流量制御の一例を示すタイミングチャートである。
【図１６】図１６は、急冷工程のない炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法の成膜装置内における温度制御とガス流量制御の一例を示すタイミングチャートである。
【図１７】図１７は、急冷工程のない炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法により製造した炭化珪素エピタキシャル基板における転位のＰＬ像である。
【図１８】図１８は、本開示の一態様に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の概略を示すフローチャートである。
【図１９】図１９は、本開示の一態様に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の工程図（１）である。
【図２０】図２０は、本開示の一態様に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の工程図（２）である。
【図２１】図２１は、本開示の一態様に係る炭化珪素半導体装置の製造方法の工程図（３）である。
【発明を実施するための形態】
【０００７】
ところで、転位と呼ばれる格子欠陥が多く存在している炭化珪素エピタキシャル基板を用いて半導体装置を製造した場合、半導体装置における信頼性の低下等を招くことが知られている。従って、転位のない炭化珪素エピタキシャル基板が求められているが、転位のない炭化珪素エピタキシャル基板を作製することは、極めて困難である。このため、特許文献１には、貫通刃状転位とこの貫通刃状転位に連結している基底面転位とを減らした炭化珪素エピタキシャル基板が開示されている。
【０００８】
しかしながら、炭化珪素エピタキシャル基板において、貫通刃状転位とこの貫通刃状転位に連結している基底面転位とを減らしただけでは、製造される半導体装置の信頼性を十分に高めることはできない。
【０００９】
このため、信頼性の高い半導体装置を製造することのできる炭化珪素エピタキシャル基板が求められている。
【００１０】
そこで、本開示は、貫通らせん転位と連結した基底面転位を低減可能な炭化珪素エピタキシャル基板及び炭化珪素半導体装置の製造方法を提供することを目的の１つとする。
【００１１】
本開示の技術を実施するための形態について、以下に説明する。尚、同じ部材等については、同一の符号を付して説明を省略する。
【００１２】
［本開示の実施形態の説明］
最初に本開示の実施態様を列記して説明する。以下の説明では、同一または対応する要素には同一の符号を付し、それらについて同じ説明は繰り返さない。また本明細書の結晶学的記載においては、個別方位を［］、集合方位を＜＞、個別面を（）、集合面を｛｝でそれぞれ示している。ここで結晶学上の指数が負であることは、通常、数字の上に”－”（バー）を付すことによって表現されるが、本明細書では数字の前に負の符号を付すことによって結晶学上の負の指数を表現している。また、本開示のエピタキシャル成長は、ホモエピタキシャル成長である。
【００１３】

〔１〕　本開示の一態様に係る炭化珪素エピタキシャル基板は、{０００１}面から０°を超え８°以下傾斜した主面を有する１００ｍｍ以上の径の炭化珪素単結晶基板と、前記主面の上に形成された膜厚が２０μｍ以上の炭化珪素エピタキシャル層と、前記炭化珪素エピタキシャル層に含まれ、一方の端部が前記炭化珪素エピタキシャル層に含まれる貫通らせん転位と連結しており、他方の端部は前記炭化珪素エピタキシャル層の表面に存在する基底面転位と、を有し、前記基底面転位は、｛０００１｝基底面において＜１１－２０＞方向に対し、２０°以上８０°以下の傾きを有する方向に伸び、前記基底面転位の密度が０．０５個／ｃｍ^{2}以下である。

【００１４】

本願発明者は、研究により、炭化珪素単結晶基板の上に、炭化珪素エピタキシャル層が形成された炭化珪素エピタキシャル基板において、一方の端部が貫通らせん転位と連結しており、他方の端部は炭化珪素エピタキシャル層の表面となる基底面転位を発見した。この基底面転位は、この基底面転位は転位線の方向が、｛０００１｝基底面において＜１１－２０＞方向に対し、２０°以上８０°以下の傾きを有している。本願発明者の知見によれば、この基底面転位は、{０００１}面から０°を超え８°以下傾斜した主面を有する炭化珪素単結晶基板であって、特に、１００ｍｍ以上の径、更には、１５０ｍｍ以上の径の炭化珪素単結晶基板を用いた場合に発生しやすい。このような基底面転位が存在していると、基底面転位が増殖し、基底面転位が多く含まれる炭化珪素エピタキシャル基板となる場合がある。このような基底面転位が多く含まれる炭化珪素エピタキシャル基板を用いて半導体装置を製造した場合、製造される半導体装置の信頼性が低下する可能性がある。

【００１５】

従って、炭化珪素エピタキシャル基板において、上記基底面転位の数が全面において１個以上、密度が０．０５個／ｃｍ^{2}以下となるように制御することにより、炭化珪素エピタキシャル基板を用いて製造された半導体装置の信頼性が低下することを抑制できる可能性がある。

【００１６】

ここで、上記基底面転位の数及び密度は、ＰＬ（Photo Luminescence）イメージング装置を用いて炭化珪素エピタキシャル層の表面を全面分析し、検出された上記基底面転位の個数を炭化珪素エピタキシャル層の表面の面積で除することにより算出することができる。ＰＬイメージング装置としては、例えば、ＰＬイメージング装置ＰＬＩＳ－１００（株式会社フォトンデザイン製）を用いることができる。尚、ここでいう全面には、通常、半導体装置に利用されない領域は含まれないものとする。ここで半導体装置に利用されない領域とは、たとえば基板のエッジから３ｍｍの領域である。

【００１７】

〔２〕　前記基底面転位の他方の端部に連結された＜１１－２０＞方向に延びる他の基底面転位が存在している。

【００１８】

〔３〕　前記炭化珪素単結晶基板の径は１５０ｍｍ以上である。

【００１９】

〔４〕　本開示の一態様に係る炭化珪素半導体装置の製造方法は、炭化珪素エピタキシャル基板を準備する工程と、前記炭化珪素エピタキシャル基板を加工する工程と、を備える。

【００２０】

［本開示の実施形態の詳細］

以下、本開示の一実施形態（以下「本実施形態」と記す）について詳細に説明するが、本実施形態はこれらに限定されるものではない。

【００２１】

〔炭化珪素エピタキシャル基板〕

以下、本実施形態における炭化珪素エピタキシャル基板１００について説明する。

【００２２】

図１は、本実施形態における炭化珪素エピタキシャル基板１００の構造の一例を示す断面図である。本実施形態における炭化珪素エピタキシャル基板１００は、所定の結晶面からオフ角θだけ傾斜した主面１０Ａを有する炭化珪素単結晶基板１０と、炭化珪素単結晶基板１０の主面１０Ａ上に形成された炭化珪素エピタキシャル層１１と、を備える。所定の結晶面は、（０００１）面または（０００－１）面が好ましい。

【００２３】

本実施形態における炭化珪素エピタキシャル基板１００には、一方の端部が貫通らせん転位と連結しており、他方の端部は炭化珪素エピタキシャル層１１の表面となる基底面転位が存在している。この基底面転位の転位線の方向は、｛０００１｝基底面において＜１１－２０＞方向に対し、２０°以上８０°以下の傾きを有しており、この基底面転位の数が１個以上、転位の密度が０．０５個／ｃｍ^{2}以下である。

【００２４】

炭化珪素エピタキシャル基板を用いて製造される半導体装置の信頼性の観点からは、上記の基底面転位の密度は低いほどよく、理想的には０（ゼロ）である。しかしながら、上記の基底面転位を０にすることは極めて困難であることから、基底面転位の密度は好ましくは０．０５個／ｃｍ^{2}以下であり、より好ましくは０．０３個／ｃｍ^{2}以下である。

【００２５】

〔基底面転位〕

上述した基底面転位について、図２から図４に基づき説明する。図２は、炭化珪素エピタキシャル基板１００の上面図であり、図３は斜視図であり、図４は、要部を拡大した斜視図である。上述した基底面転位１１１の一方の端部１１１ａが貫通らせん転位１２０と接続されており、他方の端部１１１ｂが炭化珪素エピタキシャル層１１の表面１１Ａとなる。この基底面転位１１１は、｛０００１｝基底面において＜１１－２０＞方向に対する角度φが２０°以上８０°以下となる傾きを有している。

【００２６】

このような基底面転位１１１には、他方の端部１１１ｂより、他の基底面転位１１２が連結されている場合がある。これらの基底面転位１１１及び他の基底面転位１１２は、本願発明者の研究の結果見出されたものである。

【００２７】

〔転位発生のメカニズム〕

次に、基底面転位１１１の発生のメカニズム等について、図５から図９に基づき説明する。

【００２８】

本実施形態における炭化珪素エピタキシャル基板は、炭化珪素単結晶基板の上に炭化珪素エピタキシャル層を成膜することにより形成される。炭化珪素単結晶基板には基底面転位と貫通らせん転位が存在している。このため、炭化珪素単結晶基板の上に形成された炭化珪素エピタキシャル層にも、炭化珪素単結晶基板における基底面転位の一部と貫通らせん転位に起因して、図５に示すように、基底面転位１１０と貫通らせん転位１２０が発生する。

【００２９】

炭化珪素エピタキシャル層において発生した基底面転位１１０は、基底面となる｛０００１｝面を＜１－１００＞方向に滑り移動することができる。従って、基底面転位１１０は、破線矢印Ａに示す方向に滑り移動するが、図６に示すように、貫通らせん転位１２０にぶつかると、基底面転位１１０の滑り移動は、そこで止まる。

【００３０】

この後、図７に示すように、基底面転位１１０の貫通らせん転位１２０と炭化珪素エピタキシャル層との表面との間の部分は、破線矢印Ｂに示されるように、｛０００１｝基底面上において＜１１－２０＞方向に対する角度φが２０°以上８０°以下となるまで動き、基底面転位１１１が形成される。この基底面転位１１１の一方の端部１１１ａは貫通らせん転位１２０と接続されており、他方の端部１１１ｂは炭化珪素エピタキシャル層の表

面となる。即ち、基底面転位１１１の他方の端部１１１ｂは、貫通らせん転位１２０から伸びて炭化珪素エピタキシャル層の表面に到達し、当該表面に含まれるように存在する。この際、この基底面転位１１１の他方の端部１１１ｂから他の基底面転位１１２が生じる。以上のメカニズムにより、基底面転位１１１及び他の基底面転位１１２が発生する。

【００３１】

この後、図８に示すように、他の基底面転位１１２は、破線矢印Ｃに示されるように、基底面転位１１１の他方の端部１１１ｂから離れ、基底面となる｛０００１｝面を滑り＜１－１００＞方向に動く。この後、再び、基底面転位１１１の他方の端部１１１ｂより他の基底面転位１１２が発生し、他の基底面転位１１２が基底面転位１１１の他方の端部１１１ｂより離れることが繰り返される。これにより、図９に示すように、１つの基底面転位１１１から多くの基底面転位が発生する。

【００３２】

図１０及び図１１は、炭化珪素エピタキシャル基板のＰＬ像（ＰＬイメージング像）である。尚、ＰＬ像の測定には、ＰＬイメージング装置ＰＬＩＳ－１００（株式会社フォトンデザイン製）を用いた。このＰＬ像の測定では、室温において、励起光源として水銀キセノンランプを用い、波長が３１３ｎｍのバンドパスフィルタを通した光を炭化珪素エピタキシャル基板に照射した。ＰＬ像は、炭化珪素エピタキシャル基板からの光を、波長が７５０ｎｍ以上の光を透過するフィルタを透過した光により得られた像である。このようにして得られたＰＬ像は、炭化珪素エピタキシャル層における転位は観察することができるが、炭化珪素単結晶基板の転位は観察することができない。従って、図１０及び図１１に示される転位は、炭化珪素エピタキシャル層における転位である。図１０は、斜め方向に延びる基底面転位１１１と他の基底面転位１１２とが連結している状態を示し、図１１は、基底面転位１１１が＜１１－２０＞方向と＜１－１００＞方向にジグザグになっている状態を示す。図１１のＰＬ像では、ジグザグになっている基底面転位のうち＜１－１００＞方向の部分が明るい線で示されている。

【００３３】

ところで、上記の基底面転位の発生のメカニズムを検討したところ、上記基底面転位は、炭化珪素エピタキシャル層の成膜中ではなく、炭化珪素エピタキシャル層を成膜した後、炭化珪素エピタキシャル基板を冷却する間に生じているものと考えられる。即ち、図６～図９に示されるような基底面転位１１０の滑り移動は、比較的高い温度、具体的には、１０００℃以上の温度で生じるものと考えられ、炭化珪素エピタキシャル基板に生じた応力に起因するものと考えられる。炭化珪素エピタキシャル基板では、炭化珪素エピタキシャル基板の温度分布の差が大きいと、炭化珪素エピタキシャル基板に生じる応力も大きくなる。一方、炭化珪素エピタキシャル基板を製造する工程において、炭化珪素エピタキシャル基板の温度分布の差が大きくなる工程としては、炭化珪素エピタキシャル基板の冷却工程が挙げられる。この冷却工程において、炭化珪素エピタキシャル基板には、特に応力が発生しやすい。

【００３４】

即ち、炭化珪素エピタキシャル層の成膜は、１６００℃程度の非常に高い温度で行われるが、この場合、高温ではあるものの、温度分布の均一性は比較的高い。炭化珪素エピタキシャル層の成膜後は、炭化珪素エピタキシャル基板を冷却するが、この場合、全体が均一な温度で冷却されるのではなく、温度分布にバラツキが生じやすい。このように、炭化珪素エピタキシャル基板において、温度分布にバラツキが生じた状態の時間が長いと、これに伴い、基底面転位１１１が発生し、他の基底面転位１１２の数が増えるものと考えられる。また、本願発明者の知見によれば、基底面転位１１１は、炭化珪素単結晶基板１０の大きさが小さい基板ではあまり見られないが、大きくなると顕著に生じる。例えば、炭化珪素単結晶基板１０の大きさが、１００ｍｍ以上、更には、１５０ｍｍ（例えば、６インチ）以上の場合に顕著に生じることが確認されている。このことは、炭化珪素単結晶基板１０の面積が大きいと、その分、冷却の際に、温度分布の差が大きくなるため、これに伴い応力も発生しやすいからであると考えられる。

【００３５】
従って、本実施形態における炭化珪素エピタキシャル基板は、炭化珪素エピタキシャル層を成膜した後に、炭化珪素エピタキシャル基板にガスを吹き付け急冷することにより得られる。即ち、炭化珪素エピタキシャル層を成膜した後に急冷することにより、基底面転位の滑り移動や基底面転位の増殖が生じる前に、基底面転位の滑り移動や増殖が生じにくい１０００℃以下になるまでの時間を短くする。これにより、基底面転位１１１や他の基底面転位１１２の少ない炭化珪素エピタキシャル基板を作製することができる。
【００３６】
〔成膜装置〕
次に、本実施形態における炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法について説明する。最初に、炭化珪素エピタキシャル基板における炭化珪素エピタキシャル層を成膜する成膜装置について説明する。図１２は、成膜装置の構成の一例を示す模式的な側面図である。また図１３は、図１２の一点鎖線１２Ａ－１２Ｂにおいて切断した断面図である。図１２及び図１３に示される成膜装置１は、横型ホットウォールＣＶＤ（chemical vapor deposition）装置である。図１２に示されるように、成膜装置１は、発熱体６と、断熱材５と、石英管４と、誘導加熱コイル３とを備えている。発熱体６は、たとえばカーボン製である。図１３に示されるように成膜装置１において、発熱体６は２つ設けられており、各発熱体６は、曲面部６Ａ及び平坦部６Ｂを含む半円筒状の中空構造を有している。２つの平坦部６Ｂは、互いに対向するように配置されており、２つの平坦部６Ｂに取り囲まれた空間が、炭化珪素単結晶基板１０が設置されるチャンバ１Ａとなっている。チャンバ１Ａは、「ガスフローチャネル」とも呼ばれる。
【００３７】
断熱材５は、発熱体６の外周部を取り囲むように配置されている。チャンバ１Ａは、断熱材５によって成膜装置１の外部から断熱されている。石英管４は、断熱材５の外周部を取り囲むように配置されている。誘導加熱コイル３は、石英管４の外周部に沿って巻回されている。成膜装置１では、誘導加熱コイル３に交流電流を供給することにより、発熱体６が誘導加熱され、チャンバ１Ａ内の温度が制御できるようになっている。この際、断熱材５により断熱されるため、石英管４は殆ど加熱されない。
【００３８】
〔炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法〕
次に、本実施形態における炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法について説明する。
【００３９】
図１４は、本実施形態の炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法の概略を示すフローチャートである。図１４に示されるように、本実施形態の炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法は、準備工程（Ｓ１０１）、減圧工程（Ｓ１０２）、昇温工程（Ｓ１０３）、水素ガス供給工程（Ｓ１０４）、エピタキシャル成長工程（Ｓ１０５）及び急冷工程（Ｓ１０６）を備える。本実施形態では、エピタキシャル成長工程（Ｓ１０５）の後に、急冷工程（Ｓ１０６）を行うことにより、炭化珪素単結晶基板１０における基底面転位を減らすことができる。以下、各工程について説明する。
【００４０】
準備工程（Ｓ１０１）では、炭化珪素単結晶基板１０を準備する。炭化珪素単結晶基板１０は、たとえば炭化珪素単結晶からなるインゴットをスライスすることにより作製される。スライスには、たとえばワイヤーソーが使用される。炭化珪素のポリタイプは４Ｈが好ましい。電子移動度、絶縁破壊電界強度等において他のポリタイプよりも優れているからである。炭化珪素単結晶基板１０の径は、１００ｍｍ以上、より好ましくは１５０ｍｍ以上（たとえば６インチ以上）である。径が大きい程、半導体装置の製造コスト削減に有利である。
【００４１】
炭化珪素単結晶基板１０は、後に炭化珪素エピタキシャル層１１を成長させることとなる主面１０Ａを有する。炭化珪素単結晶基板１０は、０°を超え８°以下のオフ角θを有

する。即ち、主面１０Ａは、所定の結晶面から０°を超え８°以下のオフ角θだけ傾斜した面である。炭化珪素単結晶基板１０にオフ角θを導入しておくことにより、ＣＶＤ法によって炭化珪素エピタキシャル層１１を成長させる際、主面１０Ａに表出した原子ステップからの横方向成長、いわゆる「ステップフロー成長」が誘起される。これにより炭化珪素単結晶基板１０のポリタイプを引き継いだ形で単結晶が成長し、異種ポリタイプの混入が抑制される。ここで所定の結晶面は、（０００１）面または（０００－１）面が好ましい。即ち、所定の結晶面は、｛０００１｝面が好ましい。オフ角を設ける方向は、＜１１－２０＞方向である。オフ角θは、より好ましくは２°以上７°以下であり、更に好ましくは３°以上６°以下であり、最も好ましくは３°以上５°以下である。こうした範囲にオフ角を設定することにより、異種ポリタイプの抑制と成長速度とのバランスが保たれるからである。この後の工程は、成膜装置１内で行われる。

【００４２】

減圧工程（Ｓ１０２）では、図１２及び図１３に示されるように、炭化珪素単結晶基板１０を成膜装置１のチャンバ１Ａ内に設置し、チャンバ１Ａ内を減圧する。炭化珪素単結晶基板１０は、チャンバ１Ａ内において図示しないサセプタ上に載せられる。サセプタにはＳｉＣコーティング等が施されていてもよい。

【００４３】

図１５は、減圧工程（Ｓ１０２）以降のチャンバ１Ａ内の温度及びガス流量の制御を示すタイミングチャートである。図１５において減圧工程（Ｓ１０２）は、チャンバ１Ａ内に炭化珪素単結晶基板１０を設置した後、チャンバ１Ａ内の減圧を開始する時点ｔ１から、チャンバ１Ａ内の圧力が目標値に達する時点ｔ２までの間に相当する。減圧工程（Ｓ１０２）における圧力の目標値は、たとえば1×10^{-6}Ｐａ程度である。

【００４４】

昇温工程（Ｓ１０３）では、成膜装置１のチャンバ１Ａ内の温度を第２の温度Ｔ２まで加熱する。昇温工程（Ｓ１０３）では、第２の温度Ｔ２よりも低い第１の温度Ｔ１を経た後、第２の温度Ｔ２に到達する。図１５に示されるように、時点ｔ２からチャンバ１Ａ内の昇温が開始され、時点ｔ３においてチャンバ１Ａ内の温度が第１の温度Ｔ１に達し、更に、時点ｔ４においてチャンバ１Ａ内の温度が第２の温度Ｔ２に達する。第１の温度Ｔ１は、例えば、１１００℃である。

【００４５】

また、第２の温度Ｔ２は、１５００℃以上１７００℃以下が好ましい。第２の温度Ｔ２が１５００℃を下回ると、後述するエピタキシャル成長工程（Ｓ１０５）で単結晶を均一に成長させることが困難な場合があり、また成長速度が低下する場合もある。また第２の温度Ｔ２が１７００℃を超えると、水素ガスによるエッチング作用が強くなり、かえって成長速度が低下する場合もあり得る。第２の温度Ｔ２は、より好ましくは１５２０℃以上１６８０℃以下であり、特に好ましくは１５５０℃以上１６５０℃以下である。本実施形態においては、１６３０℃である。

【００４６】

水素ガス供給工程（Ｓ１０４）では、図１５に示されるように、チャンバ１Ａ内の温度が第１の温度Ｔ１に達した時点ｔ３から、チャンバ１Ａ内に水素（H_2）ガスを供給し、チャンバ１Ａ内の圧力を所定の圧力、例えば、８ｋＰａにする。水素ガスの供給は、時点ｔ３より供給を開始し、徐々に水素ガスの流量を増やして、時点ｔ４において水素ガスの流量が１２０ｓｌｍとなるように供給する。尚、水素ガス供給工程（Ｓ１０４）においても、成膜装置１のチャンバ１Ａ内の温度が第２の温度Ｔ２に到達するまで、昇温工程（Ｓ１０３）が継続される。成膜装置１のチャンバ１Ａ内の温度が第２の温度Ｔ２に到達した後に、エピタキシャル成長工程（Ｓ１０５）を行う。

【００４７】

エピタキシャル成長工程（Ｓ１０５）では、成膜装置１のチャンバ１Ａ内に、水素ガスとともに、炭化水素ガス及びシラン（SiH_4）ガスを供給する。エピタキシャル成長工程（Ｓ１０５）におけるチャンバ１Ａ内の所定の圧力は、例えば、８ｋＰａである。これ

により、炭化珪素単結晶基板１０の主面１０Ａ上に炭化珪素エピタキシャル層１１を成長させることができる。

【００４８】

炭化水素ガスとしては、メタン（CH_4）ガス、エタン（C_2H_6）ガス、プロパン（C_3H_8）ガス、ブタン（C_4H_{10}）ガス及びアセチレン（C_2H_2）ガス等を用いることができる。これらの炭化水素ガスは１種単独で用いてもよいし、２種以上を混合して用いてもよい。即ち、炭化水素ガスは、メタンガス、エタンガス、プロパンガス、ブタンガス及びアセチレンガスからなる群より選択される１種以上を含むことが好ましい。炭化水素ガスの流量は、５ｓｃｃｍ以上３０ｓｃｃｍ以下が好ましい。本実施形態においては、例えば、炭化水素ガスとしてプロパンガスを１５ｓｃｃｍ供給する。

【００４９】

また、シランガスの流量は特に限定されないが、炭化水素ガスに含まれる炭素（Ｃ）の原子数と、シランガスに含まれる珪素（Ｓｉ）の原子数との比（Ｃ／Ｓｉ）が０．５以上２．０以下となるように、シランガスの流量を調整することが好ましい。化学量論比の適切なＳｉＣをエピタキシャル成長させるためである。本実施形態においては、例えば、シランガスを４５ｓｃｃｍ供給する。

【００５０】

エピタキシャル成長工程（Ｓ１０５）では、ドーパントとして窒素（N_2）等を供給してもよい。エピタキシャル成長工程（Ｓ１０５）は、目標とする炭化珪素エピタキシャル層１１の厚さに合わせて時点ｔ５まで行われる。

【００５１】

エピタキシャル成長工程（Ｓ１０５）の終了後は、急冷工程（Ｓ１０６）を行う。急冷工程（Ｓ１０６）では、エピタキシャル成長が終了した炭化珪素エピタキシャル基板に、水素またはアルゴン（Ａｒ）を吹き付けて急速に冷却する。本実施形態においては、水素ガスの流量を増やして、エピタキシャル成長が終了した炭化珪素エピタキシャル基板に、水素ガスを吹き付ける。この際、チャンバ１Ａ内の圧力は、８ｋＰａを超えてもよい。本実施形態では、冷却を開始して１０分経過、即ち、時点ｔ５から１０分経過した時点ｔ６における第３の温度Ｔ３は約７００℃にすることができる。従って、エピタキシャル成長後、１０分以内の短時間で１０００℃以下の温度にすることができるため、基底面転位の滑り移動が生じにくい。このため、本実施形態においては、炭化珪素エピタキシャル基板における基底面転位１１１の密度を０．０５個／cm^2以下にすることができる。

【００５２】

この後、更に冷却し、温度が６００℃となる時点ｔ７において、吹き付けていた水素ガスの供給を停止する。この後、形成された炭化珪素エピタキシャル基板を取り出すことが可能な温度となる時点ｔ８まで冷却した後、チャンバ１Ａ内を大気開放して、チャンバ１Ａ内を大気圧に戻し、チャンバ１Ａ内より炭化珪素エピタキシャル基板１００を取り出す。

【００５３】

以上の工程により、本実施形態における炭化珪素エピタキシャル基板１００を製造することができる。

【００５４】

次に、本実施形態と比較のため、本実施形態の製造方法とは異なり、急冷工程（Ｓ１０６）を行うことなく、エピタキシャル成長が終了した基板を通常の冷却する場合について説明する。この場合における減圧工程以降のチャンバ１Ａ内の温度及びガス流量の制御を示すタイミングチャートを図１６に示す。図１５に示される本実施形態の製造方法との相違点は、エピタキシャル成長工程が終了した時点ｔ５以降、エピタキシャル成長が終了した炭化珪素エピタキシャル基板を急冷することなく、通常に冷却を行う点である。具体的には、図１６に示すタイミングチャートでは、エピタキシャル成長が終了した時点ｔ５より、水素ガスの流量を１００ｓｌｍにして冷却を行う。この際のチャンバ１Ａ内の所定の圧力は、例えば、８ｋＰａである。この場合、時点ｔ５より１０分経過した時点ｔ１６に

おける温度は、約１２００℃であり、１０００℃以上である。このため、時点１６においては、基底面転位は滑り移動しており、基底面転位１１１や他の基底面転位１１２が増加するものと推察される。

【００５５】

この後、更に冷却し、温度が６００℃となる時点ｔ１７において、水素ガスの供給を停止する。この後、炭化珪素エピタキシャル基板を取り出すことが可能な温度となる時点ｔ１８まで冷却した後、チャンバ１Ａ内を大気開放し、チャンバ１Ａ内を大気圧に戻し、チャンバ１Ａ内より炭化珪素エピタキシャル基板を取り出す。

【００５６】

上記の図１６に示すタイミングチャートの製造方法により作製された炭化珪素エピタキシャル基板のＰＬ像を図１７に示す。図１６に示すタイミングチャートの製造方法では、エピタキシャル成長が終了した後、１０分経過しても約１２００℃と１０００℃以上であるため、基底面転位が滑り移動し、図１７で示されるように、非常の多くの転位（約４０個／cm^2）が確認される。

【００５７】

本実施形態における炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法によれば、エピタキシャル成長後の炭化珪素エピタキシャル基板を急冷することにより、短時間で基底面転位が滑り移動しにくい１０００℃以下にすることができる。従って、図１７に示される炭化珪素エピタキシャル基板よりも、基底面転位を減らすことが可能となる。

【００５８】

〔炭化珪素半導体装置の製造方法〕

次に、本実施形態に係る炭化珪素半導体装置３００の製造方法について説明する。

【００５９】

本実施形態に係る炭化珪素半導体装置の製造方法は、エピタキシャル基板準備工程（Ｓ２１０：図１８）と、基板加工工程（Ｓ２２０：図１８）とを主に有する。

【００６０】

まず、炭化珪素エピタキシャル基板準備工程（Ｓ２１０：図１８）が実施される。具体的には、前述した炭化珪素エピタキシャル基板の製造方法によって、炭化珪素エピタキシャル基板が準備される。

【００６１】

次に、基板加工工程（Ｓ２２０：図１８）が実施される。具体的には、炭化珪素エピタキシャル基板を加工することにより、炭化珪素半導体装置が製造される。「加工」には、たとえば、イオン注入、熱処理、エッチング、酸化膜形成、電極形成、ダイシング等の各種加工が含まれる。すなわち基板加工ステップは、イオン注入、熱処理、エッチング、酸化膜形成、電極形成及びダイシングのうち、少なくともいずれかの加工を含むものであってもよい。

【００６２】

以下では、炭化珪素半導体装置の一例としてのＭＯＳＦＥＴ（Ｍｅｔａｌ　Ｏｘｉｄｅ　Ｓｅｍｉｃｏｎｄｕｃｔｏｒ　Ｆｉｅｌｄ　Ｅｆｆｅｃｔ　Ｔｒａｎｓｉｓｔｏｒ）の製造方法を説明する。基板加工工程（Ｓ２２０：図１８）は、イオン注入工程（Ｓ２２１：図１８）、酸化膜形成工程（Ｓ２２２：図１８）、電極形成工程（Ｓ２２３：図１８）及びダイシング工程（Ｓ２２４：図１８）を含む。

【００６３】

まず、イオン注入工程（Ｓ２２１：図１８）が実施される。開口部を有するマスク（図示せず）が形成された表面１１Ａに対して、たとえばアルミニウム（Ａｌ）等のｐ型不純物が注入される。これにより、ｐ型の導電型を有するボディ領域２３２が形成される。次に、ボディ領域２３２内の所定位置に、たとえばリン（Ｐ）等のｎ型不純物が注入される。これにより、ｎ型の導電型を有するソース領域２３３が形成される。次に、アルミニウム等のｐ型不純物がソース領域２３３内の所定位置に注入される。これにより、ｐ型の導電型を有するコンタクト領域２３４が形成される（図１９参照）。

【００６４】
炭化珪素エピタキシャル層１１において、ボディ領域２３２、ソース領域２３３及びコンタクト領域２３４以外の部分は、ドリフト領域２３１となる。ソース領域２３３は、ボディ領域２３２によってドリフト領域２３１から隔てられている。イオン注入は、炭化珪素エピタキシャル基板１００を３００℃以上６００℃以下程度に加熱して行われてもよい。イオン注入の後、炭化珪素エピタキシャル基板１００に対して活性化アニールが行われる。活性化アニールにより、炭化珪素エピタキシャル層１１に注入された不純物が活性化し、各領域においてキャリアが生成される。活性化アニールの雰囲気は、たとえばアルゴン（Ａｒ）雰囲気でもよい。活性化アニールの温度は、たとえば１８００℃程度でもよい。活性化アニールの時間は、たとえば３０分程度でもよい。

【００６５】
次に、酸化膜形成工程（Ｓ２２２：図１８）が実施される。たとえば炭化珪素エピタキシャル基板１００が酸素を含む雰囲気中において加熱されることにより、表面１１Ａ上に酸化膜２３６が形成される（図２０参照）。酸化膜２３６は、たとえば二酸化珪素（SiO_2）等から構成される。酸化膜２３６は、ゲート絶縁膜として機能する。熱酸化処理の温度は、たとえば１３００℃程度でもよい。熱酸化処理の時間は、たとえば３０分程度でもよい。

【００６６】
酸化膜２３６が形成された後、さらに窒素雰囲気中で熱処理が行なわれてもよい。たとえば、一酸化窒素（ＮＯ）、亜酸化窒素（N_2O）等の雰囲気中、１１００℃程度で１時間程度、熱処理が実施されてもよい。さらにその後、アルゴン雰囲気中で熱処理が行なわれてもよい。たとえば、アルゴン雰囲気中、１１００～１５００℃程度で、１時間程度、熱処理が行われてもよい。

【００６７】
次に、電極形成工程（Ｓ２２３：図１８）が実施される。第１電極２４１は、酸化膜２３６上に形成される。第１電極２４１は、ゲート電極として機能する。第１電極２４１は、たとえばＣＶＤ法により形成される。第１電極２４１は、たとえば不純物を含有し導電性を有するポリシリコン等から構成される。第１電極２４１は、ソース領域２３３及びボディ領域２３２に対面する位置に形成される。

【００６８】
次に、第１電極２４１を覆う層間絶縁膜２３７が形成される。層間絶縁膜２３７は、たとえばＣＶＤ法により形成される。層間絶縁膜２３７は、たとえば二酸化珪素等から構成される。層間絶縁膜２３７は、第１電極２４１と酸化膜２３６とに接するように形成される。次に、所定位置の酸化膜２３６及び層間絶縁膜２３７がエッチングによって除去される。これにより、ソース領域２３３及びコンタクト領域２３４が、酸化膜２３６から露出する。

【００６９】
たとえばスパッタリング法により当該露出部に第２電極２４２が形成される。第２電極２４２はソース電極として機能する。第２電極２４２は、たとえばチタン、アルミニウム及びシリコン等から構成される。第２電極２４２が形成された後、第２電極２４２と炭化珪素エピタキシャル基板１００が、たとえば９００～１１００℃程度の温度で加熱される。これにより、第２電極２４２と炭化珪素エピタキシャル基板１００とがオーミック接触するようになる。次に、第２電極２４２に接するように、配線層２３８が形成される。配線層２３８は、たとえばアルミニウムを含む材料から構成される。

【００７０】
次に、たとえばプラズマＣＶＤにより、配線層２３８上にパッシベーション保護膜（図示せず）が形成される。パッシベーション保護膜は、たとえばＳｉＮ膜を含む。ボンディングワイヤを接続するため、パッシベーション保護膜の一部が配線層２３８までエッチングされ、パッシベーション保護膜に開口部が形成される。次に、炭化珪素単結晶基板１０の裏面１０Ｂに対してバックグラインディングが行われる。これにより、炭化珪素単結晶

基板１０が薄くされる。次に、裏面１０Ｂに第３電極２４３が形成される。第３電極２４３は、ドレイン電極として機能する。第３電極２４３は、たとえばニッケル及びシリコンを含む合金（たとえばＮｉＳｉ等）から構成される。

【００７１】

次に、ダイシング工程（Ｓ２２４：図１８）が実施される。たとえば炭化珪素エピタキシャル基板１００がダイシングラインに沿ってダイシングされることにより、炭化珪素エピタキシャル基板１００が複数の半導体チップに分割される。以上より、炭化珪素半導体装置３００が製造される（図２１参照）。

【００７２】

上記において、ＭＯＳＦＥＴを例示して、本開示に係る炭化珪素半導体装置の製造方法を説明したが、本開示に係る製造方法はこれに限定されない。本開示に係る製造方法は、たとえばＩＧＢＴ（Ｉｎｓｕｌａｔｅｄ Ｇａｔｅ Ｂｉｐｏｌａｒ Ｔｒａｎｓｉｓｔｏｒ）、ＳＢＤ（Ｓｃｈｏｔｔｋｙ Ｂａｒｒｉｅｒ Ｄｉｏｄｅ）、サイリスタ、ＧＴＯ（Ｇａｔｅ Ｔｕｒｎ Ｏｆｆ ｔｈｙｒｉｓｔｏｒ）、ＰｉＮダイオード等の各種炭化珪素半導体装置に適用可能である。

【００７３】

以上、実施形態について詳述したが、特定の実施形態に限定されるものではなく、請求の範囲に記載された範囲内において、種々の変形及び変更が可能である。

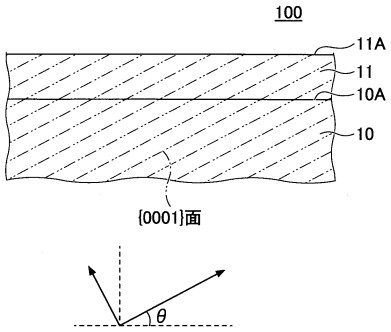
【符号の説明】

【００７４】

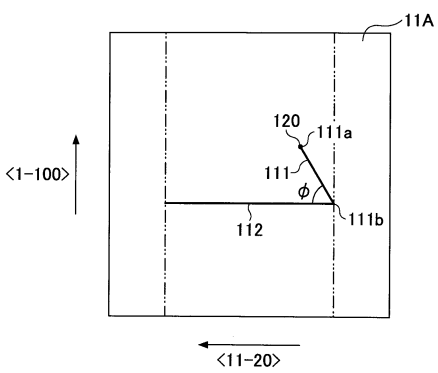
１	成膜装置
１Ａ	チャンバ
３	誘導加熱コイル
４	石英管
５	断熱材
６	発熱体
６Ａ	曲面部
６Ｂ	平坦部
１０	炭化珪素単結晶基板
１０Ａ	主面
１０Ｂ	裏面
１１	炭化珪素エピタキシャル層
１１Ａ	表面
１００	炭化珪素エピタキシャル基板
１１０	基底面転位
１１１	基底面転位
１１１ａ	一方の端部
１１１ｂ	他方の端部
１１２	他の基底面転位
１２０	貫通らせん転位
２３１	ドリフト領域
２３２	ボディ領域
２３３	ソース領域
２３４	コンタクト領域
２３６	酸化膜
２３７	層間絶縁膜
２３８	配線層
２４１	第１電極
２４２	第２電極
２４３	第３電極

【要約】
炭化珪素エピタキシャル基板は、{０００１}面から０°を超え８°以下傾斜した主面を有する１００ｍｍ以上の径の炭化珪素単結晶基板と、主面の上に形成された膜厚が２０μｍ以上の炭化珪素エピタキシャル層と、炭化珪素エピタキシャル層に含まれ、一方の端部が炭化珪素エピタキシャル層に含まれる貫通らせん転位と連結しており、他方の端部は前記炭化珪素エピタキシャル層の表面に存在する基底面転位と、を有する。基底面転位は、{０００１}基底面において＜１１－２０＞方向に対し、２０°以上８０°以下の傾きを有する方向に伸びる。基底面転位の密度は０．０５個／ｃｍ^{2}以下である。

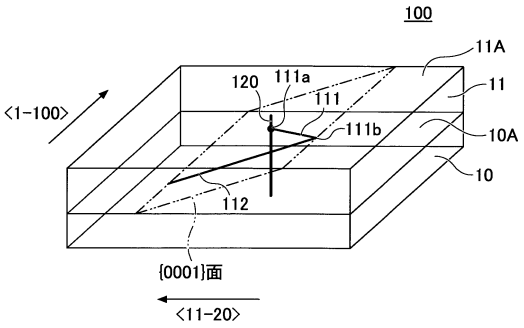
【図１】



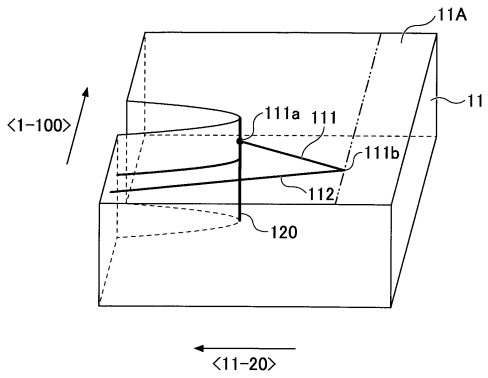
【図２】



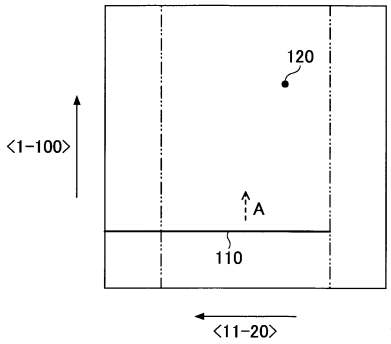
【図３】



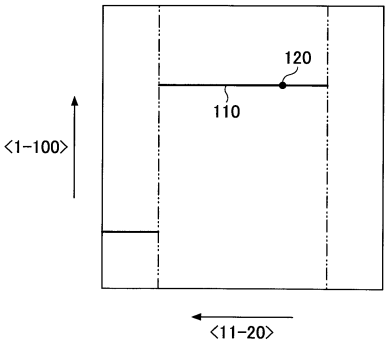
【図４】


11A
11
111a
111
111b
112
120
<1-100>
<11-20>

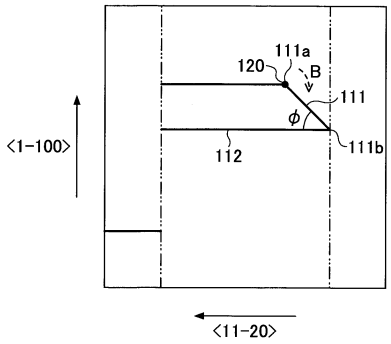
【図５】


120
A
110
<1-100>
<11-20>

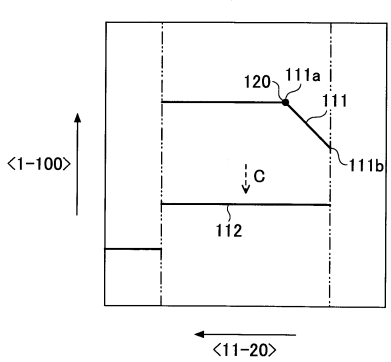
【図６】


120
110
<1-100>
<11-20>

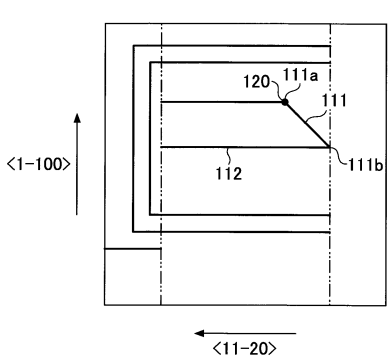
【図７】


111a
120
B
111
ϕ
112
111b
<1-100>
<11-20>

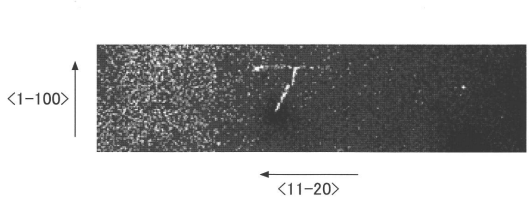
【図８】



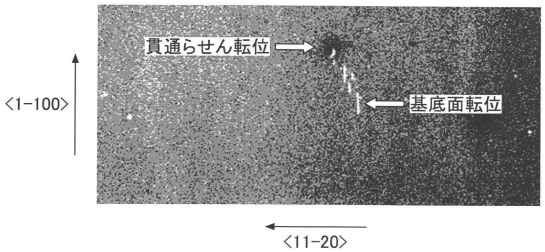
【図９】



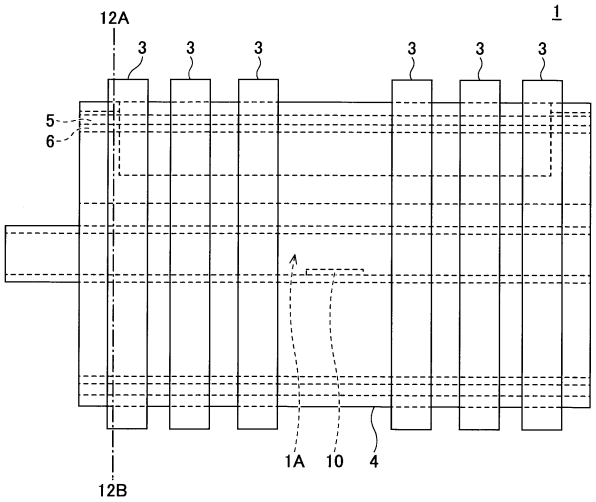
【図１０】



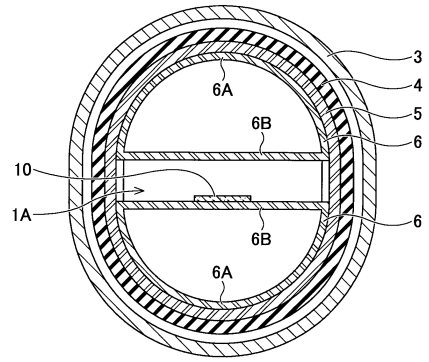
【図１１】



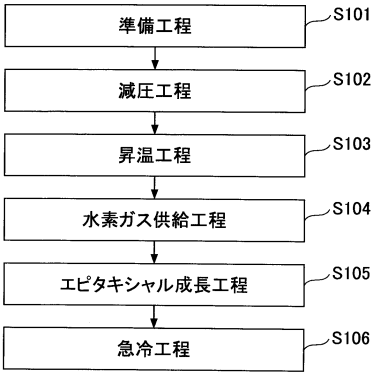
【図１２】



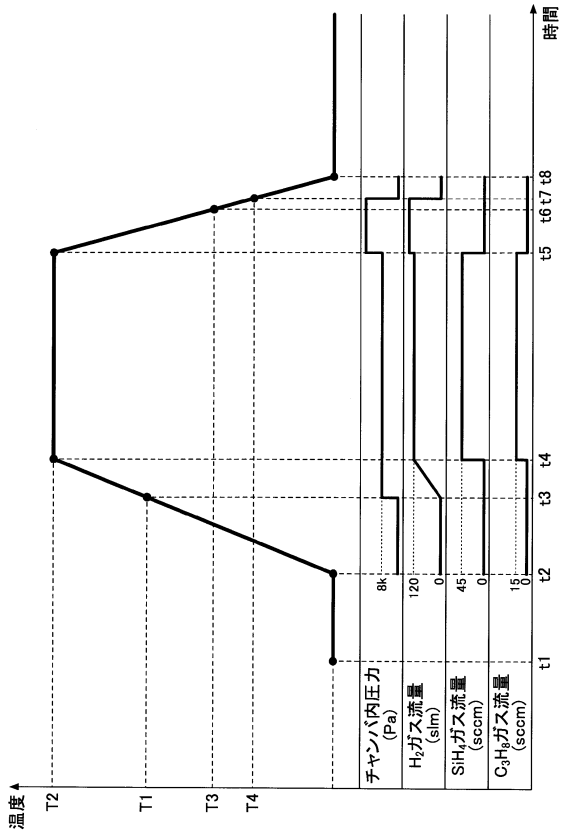
【図１３】



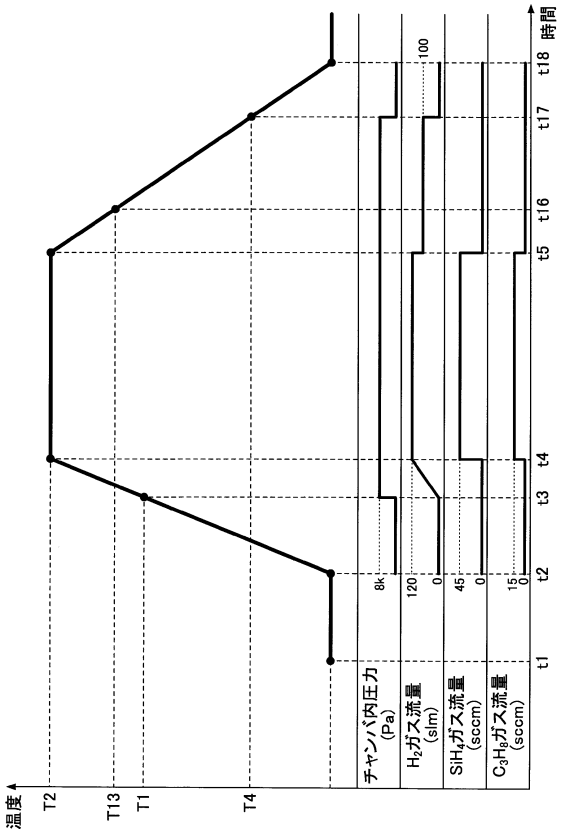
【図１４】



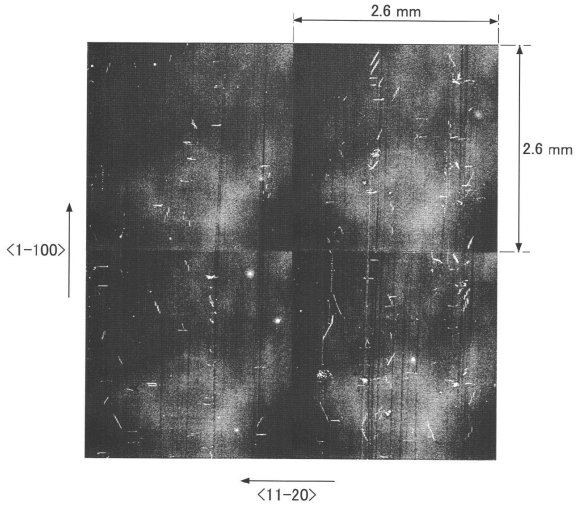
【図１５】



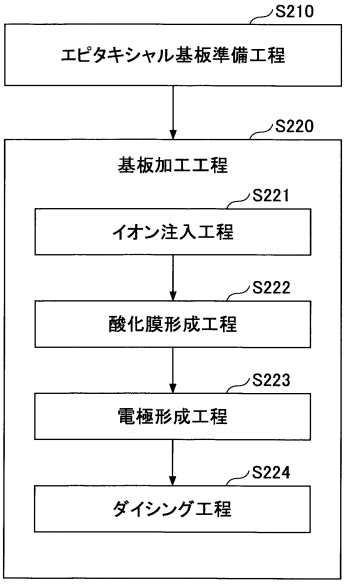
【図１６】



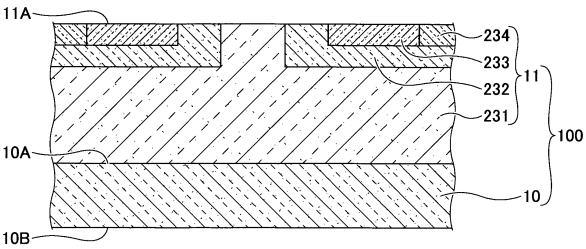
【図１７】



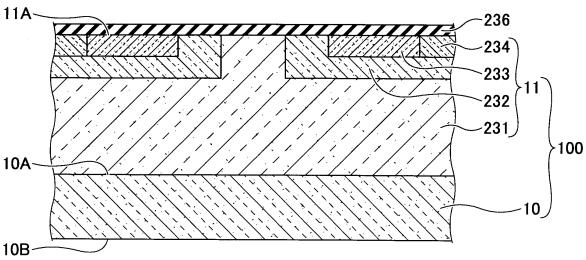
【図１８】



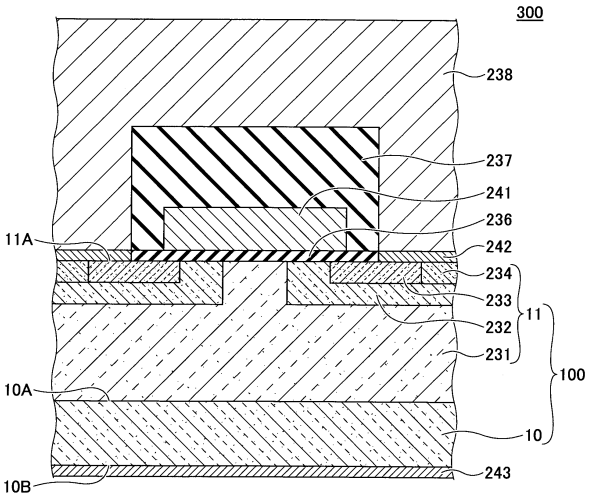
【図１９】



【図２０】



【図２１】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.			FI		
H01L	***21/20***	***(2006.01)***	H01L	29/78	658E
H01L	***21/336***	***(2006.01)***	C23C	16/42	
C23C	***16/42***	***(2006.01)***			

(56)参考文献 特開２０１５－２２０７（ＪＰ，Ａ）
特開２０１６－１６５００４（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０１Ｌ　２１／２０５
Ｃ２３Ｃ　１６／４２
Ｃ３０Ｂ　２５／２０
Ｃ３０Ｂ　２９／３６
Ｈ０１Ｌ　２１／２０
Ｈ０１Ｌ　２１／３３６
Ｈ０１Ｌ　２９／１２
Ｈ０１Ｌ　２９／７８