(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014 年 7 月 3 日(03.07.2014)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2014/103633 A1

(51) 国際特許分類:
H05B 6/66 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2013/082540

(22) 国際出願日: 2013 年 12 月 4 日(04.12.2013)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2012-282874 2012 年 12 月 26 日(26.12.2012) JP

(71) 出願人: 東京エレクトロン株式会社 (TOKYO ELECTRON LIMITED) [JP/JP]; 〒1076325 東京都港区赤坂五丁目３番１号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 清水 正裕 (SHIMIZU Masahiro); 〒4070192 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢６５０番地 東京エレクトロン株式会社内 Yamanashi (JP). 渡部 佳優 (WATANABE Yoshimasa); 〒4070192 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢６５０番地 東京エレクトロン株式会社内 Yamanashi (JP). 白神 健太郎 (SHIRAGA Kentaro); 〒4070192 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢６５０番地 東京エレクトロン株式会社内 Yamanashi (JP).

(74) 代理人: 高山 宏志 (TAKAYAMA Hiroshi); 〒2130002 神奈川県川崎市高津区二子五丁目８番１号 第３井上ビル３階 Kanagawa (JP).

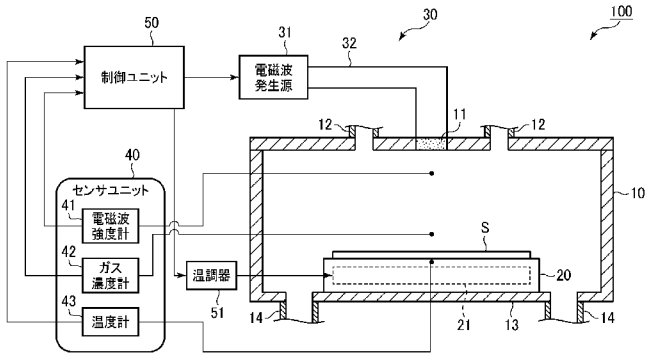
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) **Title**: ELECTROMAGNETIC HEATING DEVICE AND ELECTROMAGNETIC HEATING METHOD

(54) 発明の名称 : 電磁波加熱装置および電磁波加熱方法



31 Electromagnetic wave generation source
40 Sensor unit
41 Electromagnetic wave intensity meter
42 Gas densitometer
43 Thermometer
50 Control unit
51 Temperature controller

(57) **Abstract**: An electromagnetic heating device (100) for irradiating an object to be heated with electromagnetic waves to heat the object comprises: a container (10) for storing an object to be heated; an electromagnetic wave irradiation unit (30) having a variable oscillating frequency and irradiating the object to be heated in the container (10) with electromagnetic waves; and a control unit (50) for controlling the heating using electromagnetic waves. The control unit (50) draws complex dielectric constant characteristics on a complex plane to represent a change in the complex dielectric constant of the object to be heated when varying the frequency of electromagnetic waves to be radiated, further draws a non-reflective curve on the same complex plane, determines the frequency of the electromagnetic waves and the thickness of the object to be heated on the basis of a value derived from an intersection between the complex dielectric constant characteristics and the non-reflective curve, and performs electromagnetic heating on the basis of these values.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2014/103633 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

加熱対象物に電磁波を照射して加熱する電磁波加熱装置（１００）は、加熱対象を収容する容器（１０）と、容器（１０）内の加熱対象に電磁波を照射する発振周波数が可変の電磁波照射部（３０）と、電磁波による加熱を制御する制御部（５０）とを具備し、制御部（５０）は、照射する電磁波の周波数を変化させた際の加熱対象物の複素比誘電率の変化を表す複素比誘電率特性を複素平面に描き、さらに、同じ複素平面に無反射曲線を描き、複素比誘電率特性と、無反射曲線との交点から導かれる値に基づいて、電磁波の周波数と加熱対象物の厚みを決定し、それらの値に基づいて電磁波加熱を行う。

明　細　書

発明の名称 ： 電磁波加熱装置および電磁波加熱方法

技術分野

[0001] 本発明は、電磁波を用いて物体を加熱する電磁波加熱装置および電磁波加熱方法に関する。

背景技術

[0002] 半導体デバイスやフラットパネルディスプレイの製造においては、素子パターンを形成する際には、従来から、基板上に素子材料膜を形成し、その上にフォトリソグラフィー法により所定のパターンを形成し、それをマスクとしてエッチングしている。

[0003] しかし、フォトリソグラフィー法を用いた素子パターン形成手法は、コストが極めて高いものとなることから、面積当たりのコストを低くして素子パターンを形成することが可能な塗布印刷を用いた膜形成を適用することが試みられている。

[0004] 例えば、太陽電池や大型ディスプレイ等の大型デバイスにおいては、安価でフレキシブルなプラスチック基板の上に素子を形成することが検討されているが、このような技術では、特に、面積当たりのコストを低くする要求が高いことから、素子パターン形成に塗布印刷を用いることがより強く求められている。このようなプラスチック基板上に塗布印刷により配線や電極を形成する技術は、有機ＴＦＴ等に試みられている。

[0005] 一方、このような塗布印刷を用いて膜形成する技術は、プラスチック基板のみならず、ガラス基板上に画素を形成する技術、例えば有機ＥＬに試みられている。

[0006] プラスチック基板上に素子の塗布印刷を行う場合、素子を構成する材料に溶媒等を添加した塗布インクを塗布して塗布膜を形成し、この塗布膜を加熱して溶媒等を除去するとともに改質して所望の特性を有する素子パターンを形成する。

[0007] 塗布膜の加熱方法としては抵抗加熱が一般的であるが、抵抗加熱の場合、溶媒等を効率良くしかも完全に除去するためにはプラスチック基板の耐熱温度を超える温度で加熱する必要があり、しかも長時間の加熱が必要となる。

[0008] また、ガラス基板上に有機ＥＬの画素を形成する場合には、真空乾燥技術を用いているが、乾燥後の画素形状が凹状となってしまい、有機ＥＬ発光特性の歩留まりが悪い。

[0009] このため、プラスチック基板の場合には、基板をほとんど加熱することなく、また、有機ＥＬに適用する場合には、画素形状を良好に保ったまま、塗布膜を選択的に加熱して溶媒等を除去することが可能な電磁波加熱が注目されている（例えば特許文献１）。

[0010] 一方、半導体デバイスの製造工程においては、半導体基板に不純物を注入した後に不純物活性化アニールを行って不純物拡散層を形成する工程がある。従来から、不純物の活性化処理または活性化および結晶化処理には、ハロゲンランプを用いたスパイクアニールにより１０００℃以上の高温短時間の熱処理が行われているが、最近では、半導体素子のデザインルールの微細化にともない、極めて浅い拡散層（Ｕｌｔｒａ　Ｓｈａｌｌｏｗ　Ｊｕｎｃｔｉｏｎ；ＵＳＪ）が求められており、不純物の熱拡散を抑制したより低温でのアニール技術が求められている。また、不純物の拡散を抑制する技術として、不純物ドーピング領域をアモルファス化し、その領域に不純物ドーピングを行った後、低温でのアニールを行うことにより再結晶化と不純物活性化を行う固相エピタキシー（Ｓｏｌｉｄ　Ｐｈａｓｅ　Ｅｐｉｔａｘｙ：ＳＰＥ）も検討されている。そして、このような低温でのアニールのための加熱手法として電磁波加熱が提案されている（例えば特許文献２）。

先行技術文献

特許文献

[0011] 特許文献1：国際公開第２０１２／１１５１６５号

特許文献2：特表２００９－５１６３７５号公報

発明の概要

[0012] このように乾燥や改質のための新しい加熱方式として電磁波加熱が注目されているが、電磁波を必ずしも効率良く吸収させることができず、未だ所望の特性が得られるに至っていない。

[0013] したがって、本発明の目的は、加熱対象物へ電磁波を効率良く吸収させることができる電磁波加熱装置および電磁加熱方法を提供することを課題とする。

[0014] すなわち、本発明によれば、加熱対象物に電磁波を照射して加熱する電磁波加熱装置であって、加熱対象を収容する容器と、前記容器内の加熱対象に電磁波を照射する発振周波数が可変の電磁波照射部と、電磁波による加熱を制御する制御部とを具備し、前記制御部は、照射する電磁波の周波数を変化させた際の前記加熱対象物の複素比誘電率の変化を表す複素比誘電率特性を複素平面に描き、さらに、同じ複素平面に無反射曲線を描き、前記複素比誘電率特性と、前記無反射曲線との交点から導かれる値に基づいて、電磁波の周波数と加熱対象物の厚みを決定し、それらの値に基づいて電磁波加熱を行う、電磁波加熱装置が提供される。

[0015] 上記電磁加熱装置において、前記制御部は、前記交点において前記無反射曲線から読み取った厚み／波長比（ｄ／λ）に、加熱対象物の厚みｄの値を入れて波長λを算出し、波長λから電磁波の周波数ｆを求めるようにすることもできる。この場合に、前記制御部は、照射する電磁波の周波数を変化させた際の前記加熱対象物の複素比誘電率の変化を表す複素比誘電率特性を複素平面に描いたデータ、および、同じ複素平面に無反射曲線を描いたデータをあらかじめ記憶しているように構成することができる。

[0016] さらに、上記電磁波加熱装置において、前記電磁波照射部から照射された電磁波の強度を測定する電磁波強度計をさらに具備し、前記制御部は、求めた周波数の中心値を前記周波数ｆに設定し、中心値である前記周波数ｆから周波数を変化させていき、前記電磁波強度計の反射強度が最低となる周波数になるように、前記電磁波照射部の周波数を補正するように構成することができる。

[0017] 加熱対象物の温度を測定する温度計をさらに具備し、前記制御部は、求めた周波数の中心値を前記周波数ｆに設定し、中心値である前記周波数ｆから周波数を変化させていき、前記温度計による加熱対象物の温度の測定値が設定値と一致するように、前記電磁波照射部の周波数を補正するように構成することもできる。

[0018] 前記処理容器内の所定のガスのガス濃度を測定するガス濃度計をさらに具備し、前記制御部は、求めた周波数の中心値を前記周波数ｆに設定し、中心値である前記周波数ｆから周波数を変化させていき、前記ガス濃度計による所定のガス濃度の測定値が設定値と一致するように、前記電磁波照射部の周波数を補正するように構成することもできる。

[0019] また、上記電磁波加熱装置において、前記制御部は、前記交点において前記複素比誘電率特性から周波数を求め、その周波数と、前記交点において前記無反射曲線から導かれる厚み／波長比（ｄ／λ）とに基づいて加熱対象物の厚みを求めるようにすることができる。

[0020] 前記電磁波照射部の発振周波数の可変範囲は、０．１ｋＨｚ～１０ＴＨｚの中の一部分の帯域であることが好ましい。

[0021] 本発明の他の観点によれば、加熱対象物に電磁波を照射して加熱する電磁波加熱方法であって、照射する電磁波の周波数を変化させた際の前記加熱対象物の複素比誘電率の変化を表す複素比誘電率特性を複素平面に描き、さらに、同じ複素平面に無反射曲線を描き、前記複素比誘電率特性と、前記無反射曲線との交点から導かれる値に基づいて、電磁波の周波数と加熱対象物の厚みを決定し、それらの値に基づいて電磁波加熱を行う、電磁波加熱方法が提供される。

[0022] 上記電磁波加熱方法において、前記交点において前記無反射曲線から読み取った厚み／波長比（ｄ／λ）に、加熱対象物の厚みｄの値を入れて波長λを算出し、波長λから電磁波の周波数ｆを求めることもできる。

[0023] また、前記交点において前記複素比誘電率特性から周波数を求め、その周波数と、前記交点において前記無反射曲線から導かれる厚み／波長比（ｄ／

λ）とに基づいて加熱対象物の厚みを求めることができる。

[0024] 本発明において、前記電磁波加熱は、基板上に形成した塗布膜の乾燥または改質に用いることができる。また、半導体基板を形成するための基板に不純物を導入した後の不純物活性化、または不純物活性化および再結晶化のためのアニールに用いることができる。

[0025] 本発明によれば、照射する電磁波の周波数を変化させた際の加熱対象物の複素比誘電率の変化を表す複素比誘電率特性と無反射曲線を用いた電波吸収設計に基づいて電磁波を照射するので、外部空間から加熱対象物内部への電磁波侵入と、加熱対象物内部での電磁波吸収の両方が加味され、理論上、加熱対象物に電磁波エネルギーを全て吸収させることができ、加熱対象物へ電磁波を効率良く吸収させることができる。

図面の簡単な説明

[0026] [図1A]１層型の電波吸収体に電磁波を垂直入射する場合のモデルを示す図である。

[図1B]図１Ａのモデルの等価回路を示す図である。

[図2]複素平面における無反射曲線を示す図である。

[図3]複素平面における、複素比誘電率特性を示す曲線と無反射曲線との交点を示す図である。

[図4A]銀ナノ粒子インク（ＡｇＮＰＩ－Ｒ）のε′ ε″特性と無反射曲線を示す図である。

[図4B]図４Ａのε′ ε″特性と無反射曲線の一部を拡大して示す図である。

[図5]空気およびプラスチック基板のε′ ε″特性と無反射曲線を示す図である。

[図6A]不純物をドーピングしたＳｉ基板のε′ ε″特性と無反射曲線を示す図である。

[図6B]図６Ａのε′ ε″特性と無反射曲線の一部を拡大して示す図である。

[図7]SiO_2等の絶縁物のε′ ε″特性と無反射曲線を示す図である。

[図8A]不純物をドーピングしたＳｉ基板に電磁波を５ｍｉｎ照射した後の断

面のＴＥＭ写真を示す図である。

[図8B]不純物をドーピングしたＳｉ基板に電磁波を３０ｍｉｎ照射した後の断面のＴＥＭ写真を示す図である。

[図9]不純物をドーピングしたＳｉ基板に電磁波を５ｍｉｎ照射した後および３０ｍｉｎ照射した後の深さ方向のＢ濃度の変化を示す図である。

[図10]本発明の一実施形態の電磁波加熱方法を実現することができる電磁波加熱装置の第１の例の概略構成を示す断面図である。

[図11]本発明の一実施形態の電磁波加熱方法を実現することができる電磁波加熱装置の第２の例の概略構成を示す断面図である。

[図12]本発明の一実施形態の電磁波加熱方法を実現することができる電磁波加熱装置の第３の例の概略構成を示す断面図である。

[図13]本発明の一実施形態の電磁波加熱方法を実現することができる電磁波加熱装置の第４の例の概略構成を示す断面図である。

[図14]本発明の一実施形態の電磁波加熱方法を実現することができる電磁波加熱装置の第５の例の概略構成を示す断面図である。

発明を実施するための形態

[0027] 以下、本発明の実施の形態について説明する。

電磁波加熱は、下記の（１）式に示すように、伝導による損失（誘導損失）、誘電損失、磁性損失の和で表される。

$$P = 1/2 \times \pi f \sigma |E|^2 + \pi f \varepsilon_0 \varepsilon''_r |E|^2 + \pi f \mu_0 \mu''_r |H|^2 \quad (1)$$

ただし

Ｐ：単位体積あたりのエネルギー損失［Ｗ／ｍ^3］、Ｅ：電場［Ｖ／ｍ］、Ｈ：磁場［Ａ／ｍ］、σ：電気伝導度［Ｓ／ｍ］、ｆ：周波数［ｓ$^{-1}$］、ε_0：真空の誘電率［Ｆ／ｍ］、ε''_r：複素誘電率の虚数部、μ_0：真空の透磁率［Ｈ／ｍ］、μ''_r：複素透磁率の虚数部

である。

[0028] 電磁波加熱では、材料の種類に応じた、誘導損失、誘電損失、磁性損失の

差異を利用することにより選択加熱が可能となる。そして、複素誘電率の虚数部がこのような吸収特性を示す。

[0029] 一方、加熱対象物へ電磁波を照射して加熱する場合には、外部から内部へ電磁波を吸収させる電波吸収設計が必要である。つまり、電磁波と加熱対象物の物性が伝搬方程式の無反射条件を満たすことにより、理論上、加熱対象物に電磁波エネルギーを全て吸収させることができる。

[0030] そこで、本実施形態では、電波吸収設計を用いた電磁波加熱を行う。これにより加熱対象物の厚さに応じた最適な周波数の電磁波を選択することができ、加熱対象物が電磁波を効率良く吸収するとともに、選択的に加熱することができる。

[0031] 電波吸収設計においては、まず、照射する電磁波の周波数を変化させた場合の加熱対象物の複素比誘電率を複素平面、つまり縦軸を複素比誘電率虚数部に横軸を複素比誘電率実数部とする座標にプロットし、複素比誘電率特性（ε′ ε″特性）を描く。これはＣｏｌｅＣｏｌｅ－ｐｌｏｔまたはＮｙｑｕｉｓｔ－ｐｌｏｔとも呼ばれ、電気化学インピーダンス法で用いる解析方法である。

[0032] このような電気化学インピーダンス法を用いると、例えばプリント印刷に用いる銀ナノ粒子インクの複素比誘電率の複素平面プロットから、容量成分と抵抗成分を合わせた等価回路、２つの時定数、および負性抵抗等の特徴がわかる。

[0033] 次に複素平面に無反射曲線を描く。無反射曲線は反射係数＝０となる無反射条件式を解いて描く。無反射条件式はそのままでは解けないのでニュートン・ラプソンの方法で解く。

[0034] 電波吸収体の解析は、通常、伝送線理論により行われる。この理論では、入射波が平面波であり、吸収体は平坦で無限に大きい（波長λと比べて１０λ程度）遠方解という仮定の下に解析が行われる。

[0035] 今、図１Ａに示す１層型の電波吸収体に電磁波を垂直入射する場合を考える。図１Ａでは、厚さｄの電波吸収体１の裏面側に金属板２を設け、電磁波

（平面波）３を照射する。上記の仮定のもとに伝送線路に置き換えると、図１Ｂの等価回路のようになる。このとき、平面波の自由空間の波動インピーダンスをZ_0とし、受端から距離ｄの位置にある点から受端側を見込んだ入力インピーダンスをZ_{in}とし、反射係数をＳとすると、無反射条件の整合条件は以下の（２）式のようになる。

$$S=(Z_{in}-Z_0)/(Z_{in}+Z_0)=0 \quad (2)$$

すなわち以下の（３）式が成り立つ。

$$Z_0=Z_{in} \quad (3)$$

つまり、以下の（４）式が無反射曲線となる。

$$Z_{in}/Z_0=1 \quad (4)$$

ここで、μ：複素比透磁率、ε：複素比誘電率、ｄ：厚み、λ：電磁波の波長とすると、以下の（５）式が成り立ち、この式と（４）式から（６）式が成り立つ。

$$Z_{in}=Z_0\sqrt{(\mu/\varepsilon)}\times\tanh(j\times 2\pi d/\lambda\times\sqrt{(\varepsilon\mu)}) \quad (5)$$

$$1=\sqrt{(\mu/\varepsilon)}\times\tanh(j\times 2\pi d/\lambda\times\sqrt{(\varepsilon\mu)}) \quad (6)$$

なお、電波吸収体のインピーダンスZ_cは$Z_c=Z_0\times\sqrt{(\varepsilon\mu)}$である。

誘電体の場合には、$\mu\fallingdotseq 1$、$\varepsilon=\varepsilon'-j\varepsilon''$であるから、（６）式は（７）式のように表すことができる。

$$1=(1/\sqrt{\varepsilon})\times\tanh(j\times 2\pi d/\lambda\times\sqrt{\varepsilon}) \quad (7)$$

[0036] 上記（７）式において、波長λで規格化した吸収体の厚みｄ／λをパラメータとして複素比誘電率の実部ε'と虚部ε''の解を求め、その値（理論値）を複素平面（$\varepsilon'-\varepsilon''$平面）上に描くことにより無反射曲線ＮＲを得ることができる。無反射曲線ＮＲの例を図２に示す。

[0037] そして、図３に示すように、電磁波の照射周波数に対する上述した電波吸収体の複素比誘電率を実測し、その変化の様子を示す曲線（複素比誘電率特性／ε' ε''特性）が描かれている複素平面に、電波吸収体の無反射曲線ＮＲを描き、ε' ε''特性の曲線が無反射曲線と交差する点（交点；この例で

は点Ａ）において電波吸収体を実現することができる。

[0038] すなわち、交点において、ε′ ε″特性の周波数の値と無反射曲線のｄ／λの値とに基づいて電磁波を照射することにより、加熱対象物の厚さに応じて極めて効率のよい電磁波加熱が実現される。このような電波吸収設計を用いることにより、外部空間から加熱対象物内部への電磁波侵入と、加熱対象物内部での電磁波吸収の両方が加味され、理論上、加熱対象物に電磁波エネルギーを全て吸収させることができ、加熱対象物へ電磁波を効率良く吸収させることができる。

[0039] 具体的には、電磁波の周波数が決まっていて加熱対象物の厚みを変化させることができる場合には、交点においてε′ ε″特性から周波数ｆを求め、その周波数と、交点において無反射曲線から導かれるｄ／λの値とから厚みｄを求める。また、加熱対象物の厚みが決まっていて電磁波の周波数を変化させることができる場合には、交点において無反射曲線からｄ／λの値を読み取り、その読み取ったｄ／λに加熱対象物の厚さｄの実際の値を入れて波長λを算出し、この波長λから電磁波の実際の周波数ｆを求める。このようにして、電磁波の周波数および加熱対象物の厚みを決定して電波吸収設計を満たす電磁波加熱を実現することができる。

[0040] なお、以上の例は電波吸収体として誘電体を用いた例を示すが、導電体や半導体についても同様に、無反射条件式を解くことにより、無反射曲線を描くことができる。

[0041] 上記特許文献１には、加熱対象物である塗布膜の誘電分散を測定して、電磁波の周波数に対応した吸収性を把握し、複素比誘電率の虚部のピークに対応した周波数帯の電磁波を加熱対象物である塗布膜に照射することにより塗布膜を選択的に加熱することが記載されている。しかし、この手法では加熱対象物内部の電磁波吸収のみが考慮され、外部空間から加熱対象物内部に電磁波を吸収させる条件が含まれていないため、必ずしも効率の良い電磁波加熱を行うことができなかった。これに対して、本実施形態では上述のように、電波吸収設計を用いることにより、外部空間から加熱対象物内部への電磁

波侵入と、加熱対象物内部での電磁波吸収の両方を含むため、効率の良い電磁波加熱が可能となるのである。

[0042] 例えば、図示してはいないが、水のε′ ε″特性と無反射曲線ＮＲとは二つの交点を有し、周波数／厚みは、２７５ｋＨｚ／２．９ｍと３．３ＧＨｚ／２．６ｍｍの組み合わせとなる。このように、吸収周波数は電波吸収設計により決定され、吸収周波数に対応して最適な加熱対象物の厚みが求められる。この結果において、電子レンジの２．４５ＧＨｚは、水分乾燥の周波数（３．３ＧＨｚ）に近い値となっている。

[0043] ＜塗布印刷への応用＞

次に、本実施形態の電磁波加熱方法を塗布印刷に適用した場合の例について説明する。

安価に素子パターンを形成することができる技術として、塗布印刷技術（プリンテッドエレクトロニクス）が検討されており、本例では、このような塗布印刷に本実施形態の電磁波加熱を用いる。

[0044] 太陽電池や大型ディスプレイ等の大型デバイスにおいては、安価でフレキシブルなプラスチック基板の上に配線・電極を形成して、有機ＴＦＴ等の素子を形成する際に、プラスチック基板上に配線・電極となる膜成分を含む塗布組成物を塗布した塗布膜を形成した後、塗布膜を加熱対象として上述のように電磁波加熱を行う。塗布膜を構成するインク等の乾燥および焼成（改質）に電磁波加熱を用いることにより、金属ナノ粒子の凝集と分散剤等の除去が促進されるため、抵抗率の低減を速めることができる。このため、塗布膜の乾燥・焼成の速度を高くすることができる。

[0045] また、有機ＥＬの場合には、ガラス基板上に画素を形成するための成分を含む塗布組成物であるインク等を塗布して塗布膜を形成した後、塗布膜を加熱対象として上述のように電磁波加熱を行う。画素形成のための塗布膜を構成するインク等の乾燥において、温度差がない従来の真空乾燥を用いる場合には、マイクロスケールであるためインクの表面張力の影響が大きく濃度差マランゴニ対流が生じ、画素は凹形状となる。これに対して、電磁波加熱を

用いる場合には、インク内部に温度差ができ、熱対流（ベルナール対流または温度差マランゴニ対流）が生じる。熱対流は、画素が凹形状となる原因の対流と反対方向の対流であり、それによって凹形状となることが抑制されるため、画素形状を平坦化することができ、均一性を向上させることができる。

[0046] 基板としては、用途に応じてプラスチック基板であってもガラス基板であってもよい。基板としてプラスチック基板を用いる場合には、安価なＰＥＴ（ポリエチレンテレフタレート）やＰＥＮ（ポリエチレンナフタレート）、ＰＣ（ポリカーボネート）、ＰＩ（ポリイミド）等を好適に用いることができる。

[0047] 塗布組成物としては、膜成分として、膜が配線や電極等の導電体膜である場合には、例えば金属ナノ粒子を含むもの、膜が半導体膜である場合には、例えば有機半導体材料を含むもの、膜が誘電体膜である場合には、有機誘電体材料を含むもの、膜が有機ＥＬの画素となる場合には、発光可能な有機材料等を含むものを用い、このような膜成分に、膜成分の材料および塗布方式に応じて、溶媒、ポリマー、分散剤、バインダー、各種添加剤等を適宜混合して粘度を調整し、塗布可能に調製されたものを用いることができる。典型的には塗布インクが用いられる。

[0048] 金属ナノ粒子は、１～数百ｎｍ程度の粒径を有する微細な金属粒子からなる。金属ナノ粒子を構成する金属としては、微細な金属配線に適用可能な金属が用いられ、Ａｇ、Ｃｕ、ＡＩのいずれか、およびこれらのいずれかを含む合金を典型例として挙げることができる。この場合には、金属ナノ粒子を適宜の溶媒中に分散させることにより塗布組成物を得ることができる。

[0049] 有機半導体材料としては、ペンタセン、アントラセン、ルブレン等の多環芳香族炭化水素や、テトラシアノキノジメタン（ＴＣＮＱ）等の低分子化合物、ポリアセチレン、ポリ－３－ヘキシルチオフェン（Ｐ３ＨＴ）、ポリパラフェニレンビニレン（ＰＰＶ）、アルキルベンゾチエノベンゾチオフェン（Ｃｕ－ＢＴＢＴ）等のポリマーを挙げることができる。有機半導体材料を

用いた塗布組成物としては、例えば、溶媒としてクロロホルム（$CHCl_3$）を用いたＰ３ＨＴ溶液を挙げることができる。

[0050] 有機誘電体材料としては、ポリビニルフェノール（ＰＶＰ）やシアノエチルプルラン（ＣｙＥＰＬ）等を挙げることができる。有機誘電体材料を用いた塗布組成物としては、例えばＰＶＰの液体を挙げることができる。

[0051] 有機ＥＬの発光材料としては、蛍光材料、燐光材料、および遅延蛍光材料を溶質とし、ハロゲン化有機化合物、芳香族炭化水素、エーテル、エステル、アルコール、ケトン、スルホキシド、アミド、または水等を溶媒とする材料などを用いることができる。

[0052] 塗布組成物を塗布するための塗布方式としては、微細パターンに対する追従性が良好なものを採用することが好ましく、例えばインクジェット印刷、スクリーン印刷、マイクロコンタクトプリント（ＭＣＰ）等を好適に用いることができる。その他に、スピンコート法、バーコート法、反転印刷法を用いることもできる。

[0053] 塗布組成物を塗布したままの状態では、塗布膜には溶媒や分散剤等の成分が含まれており、金属ナノ粒子を用いた場合には金属ナノ粒子が十分凝集されずバルク金属の構造には近づけられないため、その電気伝導度は低い。また、有機半導体材料や有機誘電体材料を用いた場合には、塗布膜に溶媒や分散剤等の成分が含まれていることや、有機半導体材料や有機誘電体材料が所望の構造になっていない等の理由で初期の特性が得難い。このため、塗布組成物が塗布されて形成された塗布膜に対し、本実施形態に従って電磁波照射により電磁波加熱を行う。これにより、塗布膜の乾燥または改質、またはこれらの両方を行い、所期の導電性、半導体特性または誘電体特性を有する膜を形成する。電磁波は、少なくとも塗布パターンを構成する塗布膜に照射すればよいが、典型的には基板の全面に照射される。

[0054] 電磁波を照射すると、塗布組成物は電磁波を吸収して直接加熱され、例えば溶液状態の塗布膜内の物理化学作用を促進し、これにより溶媒の分解が進行し、または塗布組成物の改質が進行して所望の膜となる。このとき、基板

がプラスチック基板の場合は、プラスチックは電磁波を透過するため、基板はほとんど加熱されない。また、塗布組成物が有機ＥＬの画素の場合には、電磁波照射により平坦で均一な形状に乾燥させることができる。

[0055] このように塗布印刷された塗布膜に対し、本実施形態に従って電波吸収設計を用いた電磁波加熱を行うことにより、効率的な加熱を行うことができる。

[0056] 次に、塗布組成物として銀ナノ粒子インクを用いた場合の実験例について説明する。

図４Ａは銀ナノ粒子インク（ＡｇＮＰＩ－Ｒ）における、照射する電磁波の周波数を１００ｋＨｚ～１００ＧＨｚの間で変化させた際の複素比誘電率の変化を表すε′ ε″特性と、無反射曲線とを示すものであり、図４Ｂは図４Ａの一部を拡大して示す図である。これらの図に示すように、ε′ ε″特性（実測値）と無反射曲線（理論値）との交点が存在し、その交点を読むことにより、電磁波の周波数と加熱対象物の厚さを導くことができる。これに対し、図５に示すように、空気および基板を構成するプラスチック（ＰＥＴ、ＰＣ、アモルファスフッ素樹脂（Ｃｙｔｏｐ（商品名））はε′ ε″特性（実測値）と無反射曲線（理論値）との交点が存在せず、銀ナノ粒子インクの選択加熱が可能であることが把握された。

[0057] 図４Ａ、４Ｂから読み取った数値に基づいて、ＡｇＮＰＩ－Ｒについて電波吸収設計を行った結果、および同様にして他の銀ナノ粒子インク（ＡｇＮＰＩ－Ｊ）について電波吸収設計を行った結果について以下の表１に示す。

[0058] [表1]

材料	複素比誘電率（実測）から			無反射曲線（理論）から				備考（吸収量）
	ε′	ε″	f	ε′	ε″	d／λ	d [m]	
AgNPI-R	4.09	2.41	51GHz	4.28	2.46	0.127	7.5×10^{-4}	交点有り（99.9999%）
AgNPI-J	8.68	7.48	40GHz	7.95	3.46	0.091	6.8×10^{-4}	交点有り

[0059] 表１から、照射する電磁波の周波数が４０～５１ＧＨｚで厚み６８０～７５０μｍが無反射条件の設計値となることがわかる。

[0060] 上記電波吸収設計を指針とし、周波数２８ＧＨｚの電磁波で実験を行った。ここでは、銀ナノ粒子インク（ＡｇＮＰＩ－Ｒ、－Ｊ）、銀ナノペースト（ＡｇＮＰＰ）を用い、SiO_2、ＰＣ（ポリカーボネート）、ＰＣ／Ｃｕ（銅箔で裏打ちされたポリカーボネート）からなる基板上に配線を形成し、大気中で５分間照射した。その結果を表２に示す。

[0061] [表2]

No.	ｲﾝｸ種類	ｲﾝｸ液厚 d_0[cm]*	基板種類	基板温度 T_{max}[℃]		シート抵抗値 [Ω／□]	膜厚 d_1[cm]	抵抗率ρ [Ωcm]
1	AgNPI-R	7.50×10^{-2}	SiO_2	348	401	8.47×10^{-2}	1.00×10^{-4}	8.47×10^{-6}
2		1.00×10^{-2}		154	198	5.22×10^{-2}	1.00×10^{-4}	5.22×10^{-6}
3		8.00×10^{-4}		195	141	6.59×10^{-2}	1.00×10^{-4}	6.59×10^{-6}
4	AgNPI-J	7.50×10^{-2}	PC	64	211	3.94×10^{-3}	5.00×10^{-4}	1.97×10^{-6}
5		1.00×10^{-2}		123	113	3.44×10^{-3}	4.00×10^{-3}	1.38×10^{-5}
6		8.00×10^{-4}		95	107	5.44×10^{-3}	4.00×10^{-3}	2.18×10^{-5}
7	AgNPI-J	7.50×10^{-2}	PC/Cu	121	184	2.72×10^{-3}	2.50×10^{-3}	6.80×10^{-6}
8		1.00×10^{-2}		198	142	2.27×10^{-2}	1.00×10^{-3}	2.27×10^{-5}
9		8.00×10^{-4}		122	111	3.76×10^{4}	5.00×10^{-3}	1.88×10^{2}
10	AgNPP	1.50×10^{-2}	PC	122	92	7.89×10^{-3}	5.50×10^{-3}	4.34×10^{-5}
11		1.00×10^{-3}		126	176	3.45×10^{-2}	2.00×10^{-3}	6.90×10^{-5}
12		1.50×10^{-4}		141	93	6.21×10^{-2}	1.60×10^{-3}	9.94×10^{-5}

＊ 推測値

[0062] 表２に示すように、膜厚d_1＝１μｍと、設計で予想した以上に薄い膜を乾燥・改質することができた。これは予想以上に加熱できたためと考えられる。また、表２に示すように、５分間という短時間で（目標３０分間以下）、目標である温度１８０℃、抵抗率ρが1×10^{-5}Ωｃｍオーダー以下をクリアするものが複数得られた。また、銀バルクの抵抗率の４／３倍という極めて低い抵抗値を示したものも存在した（Ｎｏ．４；１．９７×10^{-6}Ωｃｍ

）。

[0063] ＜不純物活性化アニールへの応用＞

次に、本実施形態の電磁波加熱方法を不純物活性化アニールに適用した場合の例について説明する。

半導体装置の製造プロセスにおいては、半導体基板に不純物を注入した後に不純物活性化アニールを行って不純物拡散層を形成する工程がある。最近では、半導体素子のデザインルールの微細化にともない、極めて浅い拡散層（Ｕｌｔｒａ　Ｓｈａｌｌｏｗ　Ｊｕｎｃｔｉｏｎ；ＵＳＪ）のための不純物の熱拡散を抑制した低温でのアニール技術が求められている。また、不純物の拡散を抑制する技術として、不純物ドーピング領域をアモルファス化し、その領域に不純物ドーピングを行った後、低温でのアニールを行うことにより再結晶化と不純物活性化を行う固相エピタキシー（Ｓｏｌｉｄ　Ｐｈａｓｅ　Ｅｐｉｔａｘｙ：ＳＰＥ）も検討されている。

[0064] このような低温でのアニールを行える加熱手法として電磁波加熱が提案されているが、従来は、電磁波を用いて効率良く加熱する手法が確立されておらず、いまだ実用化に至っていない。

[0065] これに対し、本例では、半導体基板に不純物ドーピングを行った後、不純物活性化、または不純物活性化と再結晶化のために、本実施形態による電波吸収設計に基づいた電磁波加熱を行う。

[0066] 具体的には、電波吸収設計から得た厚さの基板（Ｓｉ基板）を準備し、これに不純物ドーピングを行った後、無反射条件を満たす周波数の電磁波を照射して不純物活性化、または不純物活性化と再結晶化のためのアニールを行い、所望の半導体特性を得られるように改質する。このとき、電磁波照射後に加熱対象物である基板が望ましい特性を示すように、基板の材質、温度、電磁波照射条件（電力・時間）等を最適化し、電磁波加熱を行う。

[0067] 不純物活性化、または不純物活性化と再結晶化の際に本実施形態に従って電波吸収設計を用いた電磁波加熱を行うことにより、電磁波を基板に効率良く吸収させることができ、所望の半導体特性を得ることができる。

[0068] 次に、加熱対象物である基板として不純物をドーピングしたＳｉ基板を用いた場合の実験例について説明する。

図６Ａは不純物をドーピングしたＳｉ基板（Si^+）における、照射する電磁波の周波数を１００ｋＨｚ～１００ＧＨｚの間で変化させた際の複素比誘電率の変化を表すε′ ε″特性と、無反射曲線とを示すものであり、図６Ｂは図６Ａの一部を拡大して示す図である。これらの図に示すように、ε′ ε″特性（実測値）と無反射曲線（理論値）との交点が存在し、その交点を読むことにより、電磁波の周波数と加熱対象物の厚さを導くことができる。これに対し、図７に示すように、SiO_2他の絶縁性材料には交点が存在せず、他の材料が共存している場合でもＳｉ基板を選択加熱できる可能性があることが確認された。

[0069] 図６Ａ、６Ｂから読み取った数値に基づいて、不純物ドーピングしたＳｉ基板（Si^+）について電波吸収設計を行った結果について以下の表３に示す。

[0070] [表3]

材料	複素比誘電率（実測）から			無反射曲線（理論）から				交点
	ε′	ε″	f	ε′	ε″	d／λ	d [m]	
Si^+	10.3	4.0	5.6GHz	13.2	4.52	0.07	3.8×10^{-3}	?
	11.4	7.4	30GHz	〃	〃	0.07	7.0×10^{-4}	交点有り
	11.3	5.6	40GHz	〃	〃	0.07	5.3×10^{-4}	交点有り
	11.4	4.4	50GHz	〃	〃	0.07	4.2×10^{-4}	交点有り
	11.2	2.1	100GHz	〃	〃	0.07	2.1×10^{-4}	交点有り

[0071] 表３から、照射する電磁波の周波数が３０ＧＨｚで厚み７００μｍが無反射条件の設計値の一つとなることがわかる。

なお、本例の場合、ε′ ε″特性および無反射曲線が、マクロ的に一本の線にはならず、これらの交点として複数の数値が読み取れるため、表３には

これら複数の数値を記載している。

[0072] 上記電波吸収設計を指針とし、周波数２８ＧＨｚの電磁波で実験を行った。ここでは、表４に示すようなＮｏ．１～３の仕様のＴＥＧ（Ｔｅｓｔ Ｅｌｅｍｅｎｔ Ｇｒｏｕｐ）を用いて、表４に示す条件で電磁波を照射して不純物拡散、または不純物拡散・再結晶化を行い、シート抵抗を測定した。

[0073]

[表4]

No.	Rs-TEG仕様	照射条件	ハンディ低抵抗率計		シート抵抗器 VR-120	表面観察
			Rs[Ω/□]小型プローブ	Rs[Ω/□]大型プローブ	Rs[Ω/□]	
1	(Ge 30keV 5×10^{14} B 5keV 3×10^{15})	イニシャル	測定不可	測定不可	測定不可	
		28GHz 5min後	141	136	144	
		28GHz 30min後	180	139	148	
2	(As 50keV 1×10^{15})	イニシャル	測定不可	測定不可	測定不可	
		28GHz 5min後	157	150	211	面内で色むら有り
		28GHz 30min後	154	322	147	
3	(P 2keV 1×10^{15})	イニシャル	測定不可	測定不可	測定不可	
		28GHz 5min後	591	481	684	
		28GHz 30min後	346	503	682	

[0074] シート抵抗は、電磁波照射前の無限大（測定不可）から照射後には１４４～６８４Ω（Ω／□）に変化し、全てのＴＥＧにおいて活性化が確認された。

[0075] 表４のＮｏ．１のＴＥＧについて、図８Ａに５ｍｉｎ照射後の断面の透過型顕微鏡（ＴＥＭ）写真を示し、図８Ｂに３０ｍｉｎ照射後の断面のＴＥＭ写真を示す。本実施形態の電磁波照射により、結晶化と欠陥修復がなされていることが確認された。また欠陥修復に関しては電磁波照射時間が長くなるほど進んでいることが確認された。

[0076] 図９は、Ｎｏ．１のＴＥＧについて、電磁波照射による活性化後における二次イオン質量分析（ＳＩＭＳ）による深さ方向のＢ濃度の変化を示す図である。この図から、電磁波照射による活性化によりＢ（ボロン）がほとんど拡散していないことが確認された。

[0077] ＜電磁波加熱装置＞

次に、以上のような電磁波加熱方法を実現することができる電磁波加熱装置について説明する。

[0078] （電磁波加熱装置の第１の例）

図１０は、本実施形態の電磁波加熱方法を実現することができる電磁波加熱装置の第１の例の概略構成を示す断面図である。この電磁波加熱装置１００は、処理容器１０、載置台２０、電磁波供給部３０、センサユニット４０、および制御ユニット５０を有している。

[0079] 処理容器１０は、例えばアルミニウムにより内側壁部を鏡面処理して形成されており、接地されている。処理容器１０の天井壁の中央には、電磁波を透過する材料、例えば石英、窒化アルミニウム等の誘電体からなる天板１１が嵌め込まれている。処理容器１０の天井壁にはガス導入部１２が設けられており、このガス導入部１２から所定の処理ガスが導入される。処理ガスとしては、アルゴンガスや窒素ガス等の不活性ガスを好適に用いることができる。また、処理容器１０の底壁１３には排気口１４が設けられており、排気機構（図示せず）からこの排気口１４を介して処理容器１０内が排気されて

所定の圧力に維持される。

[0080] 載置台２０は、処理容器１０の底部に設けられており、その上には基板Ｓが載置される。基板Ｓとしては、表面に加熱対象物となる塗布膜が形成されたものであってもよいし、基板Ｓ自体が加熱対象物であってもよい。載置台２０の内部には、基板を加熱および／または冷却する温度調節機構２１が設けられている。

[0081] 電磁波供給部３０は、処理容器１０の天井壁の上方に設けられており、電磁波発生源３１と、導波管３２とを有し、電磁波発生源３１で発生した電磁波を導波管３２および処理容器１０の天板１１を介して処理容器１０内に導く。電磁波発生源３１は周波数可変であり、制御ユニット５０からの指令により周波数が制御される。電磁波発生源３１としては、ＲＦ電源、マグネトロン、クライストロン、ジャイロトロン等を用いることができる。なお、照射する電磁波の周波数レンジが広い場合には、電磁波発生源３１として周波数レンジが異なる複数のものを設置し、周波数によってそれらを切り替えられるようにすることが好ましい。照射する電磁波の周波数の可変範囲は、０．１ｋＨｚ～１０ＴＨｚの中の一部分の帯域であることが好ましい。

[0082] センサユニット４０は、電磁波強度計４１と、ガス濃度計４２と、温度計４３とを有している。電磁波強度計４１は、処理容器１０内の空間内の電磁波強度を計測するものであり、ガス濃度計４２は、処理容器１０内のガス濃度を計測するものであり、温度計４３は、載置台２０上の基板Ｓの温度を計測するものである。なお、これらを全て含まなくてもよい。

[0083] 制御ユニット５０は、マイクロプロセッサ（コンピュータ）を備えており、例えばセンサユニット４０からの所定の信号を受けて、電磁波加熱装置１００における各構成部を制御するようになっている。例えば、温調器５１を介して温度調節機構２１に指令を送り、基板温度を制御する。制御ユニット５０は、電磁波加熱装置１００のプロセスシーケンスおよび制御パラメータであるプロセスレシピ等を記憶した記憶部や、入力手段およびディスプレイ等を備えており、選択されたプロセスレシピに従って電磁波加熱装置１００

の各構成部を制御するようになっている。

[0084] また、制御ユニット５０は、上述した本実施形態の電磁波加熱方法を実施するための制御アルゴリズムを備えている。

[0085] すなわち、制御ユニット５０は、加熱対象物である基板Ｓ表面の塗布膜または基板Ｓ自体の、照射する電磁波の周波数を変化させた際のε′ ε″特性を複素平面に描き、さらに、同じ複素平面に加熱対象物の無反射曲線を描き、ε′ ε″特性と無反射曲線との交点から導かれる値に基づいて、電磁波の周波数と加熱対象物の厚みを決定し、それらの値に基づいて電磁波加熱を行うように制御する。

[0086] 具体的には、加熱対象の厚みが決まっていて電磁波の周波数を変化させることができる場合には、複素平面上のε′ ε″特性と無反射曲線との交点において、無反射曲線から読み取った厚み／波長比（ｄ／λ）に、加熱対象物の厚みｄの値を入れて波長λを算出し、波長λから電磁波の周波数ｆを求める。そして電磁波発生源３１の周波数の中心値がｆになるように制御して電磁波加熱を行う。また、電磁波の周波数が決まっていて加熱対象物の厚みを変化させることができる場合には、交点においてε′ ε″特性から周波数ｆを求め、その周波数と、交点において無反射曲線から導かれるｄ／λの値とから加熱対象物の厚みｄを求める。そして加熱対象物の厚みがｄになるように、電磁波発生源３１の出力を制御して電磁波加熱を行う。

[0087] このとき、電磁波加熱する加熱対象物について、ε′ ε″特性、および無反射曲線を同じ複素平面に描いたデータをあらかじめ求めておき、それを制御ユニット５０に記憶させておくことができる。これらのデータから、交点において、無反射曲線から読み取った厚み／波長比（ｄ／λ）に、加熱対象物の厚みｄの値を入れて波長λを算出し、波長λから電磁波の周波数ｆを求める。あるいは、交点においてε′ ε″特性から周波数ｆを求め、その周波数と、交点において無反射曲線から導かれるｄ／λの値とから厚みｄを求める。

[0088] このようにすることにより、電磁波の周波数および加熱対象物の厚みを決

定して電波吸収設計を満たす電磁波加熱を実現することができる。

[0089] ただし、実際の処理においては、電波吸収設計を満たす周波数ｆから若干ずれた周波数において最適な電磁波加熱が行われる場合がある。その際には、所定のパラメータが最適になるように電磁波の周波数を補正することが好ましい。

[0090] この場合、具体的には、制御ユニット５０により以下の制御を行う。電磁波発生源３１からの電磁波の周波数を中心値である周波数ｆから変化させていき、電磁波強度計４１が計測する反射強度が最低となる周波数になるように、電磁波の周波数を補正する。または、電磁波発生源３１からの電磁波の周波数を中心値である周波数ｆから変化させていき、温度計４３の基板温度の設定値と、基板温度の測定値がほぼ一致する周波数になるように、電磁波の周波数を補正する。または、電磁波発生源３１からの電磁波の周波数を中心値である周波数ｆから変化させていき、ガス濃度計４２が検出する所定のガスの濃度、例えば塗布膜を構成するインク成分の濃度の設定値と測定値がほぼ一致する測定値となるように、電磁波の周波数を補正する。

[0091] これにより、成膜工程全体で、塗布膜の厚み差、基板温度差、処理容器内における塗布膜（インク）成分の濃度差があっても、これらをフィードバックして制御することができるので、処理のばらつきを抑制することができる。このため、工程時間短縮や高歩留まりを実現することができるので、総合的に生産性を向上させることができる。

[0092] （電磁波加熱装置の第２の例）

図１１は、本実施形態の電磁波加熱方法を実現することができる電磁波加熱装置の第２の例の概略構成を示す断面図である。この電磁波加熱装置２００は、処理容器１１０、載置台１２０、電磁波供給部１３０、センサユニット１４０、および制御ユニット１５０を有している。

[0093] 処理容器１１０は、ステンレススチール（ＳＵＳ）やアルミニウム等の電磁波シールド機能をもつ材料で構成されている。処理容器１１０の天井部１１１にはガス導入部１１２が設けられており、このガス導入部１１２から所

定の処理ガスが導入される。処理ガスとしては、アルゴンガスや窒素ガス等の不活性ガスを好適に用いることができる。また、処理容器１１０の底壁１１３には排気口１１４が設けられており、排気機構（図示せず）からこの排気口１１４を介して処理容器１１０内が排気されて所定の圧力に維持される。

[0094] 載置台１２０は、処理容器１１０の底部に設けられており、その上には基板Ｓが載置される。基板Ｓとしては、表面に加熱対象物となる塗布膜が形成されたものであってもよいし、基板Ｓ自体が加熱対象物であってもよい。載置台１２０の内部には、基板を加熱および／または冷却する温度調節機構１２１が設けられている。載置台１２０は、ノンドープシリコン、窒化アルミニウム（ＡｌＮ）、炭化珪素（ＳｉＣ）、アルミナ（Al_2O_3）等からなる冷却板として構成されていてもよい。

[0095] 電磁波供給部１３０は、交流電源１３１と、パルス／デューティ制御部１３２と、マッチング装置１３３と、送信アンテナ１３４と、受信アンテナ１３５とを有している。送信アンテナ１３４は、リング状をなし、処理容器１１０内の上部に載置台１１０に対向するように設けられている。この送信アンテナ１３４には、マッチング装置１３３を介して交流電源１３１から例えば１００Ｈｚ～５０ｋＨｚ程度の周波数の交流電流が供給されるようになっている。交流電源１３１は、周波数可変であり、制御ユニット１５０からの指令により周波数が制御される。また、送信アンテナ１３４に給電するための給電線１３６には整合負荷１３７が接続されている。パルス／デューティ制御部１３２は、交流電源１３１から出力される交流電流を所定のデューティ比のパルス状のものとすることができるようになっている。受信アンテナ１３５は、リング状をなし、載置台１２０の下方の送信アンテナ１３４と対応する位置に設けられている。受信アンテナ１３５には接地線１３８が接続され、接地線１３８には整合負荷１３９が接続されている。

[0096] センサユニット１４０および制御ユニット１５０は、第１の例のセンサユニット４０および制御ユニット５０と同様に構成されている。すなわち、セ

ンサユニット１４０は、電磁波強度計と、ガス濃度計と、温度計とを有している。なお、必ずしもこれらを全て含まなくてもよい。また、制御ユニット１５０は、電磁波加熱装置２００の各構成部を制御するようになっており、また、上述した本実施形態の電磁波加熱方法を実施するための制御アルゴリズムを備えている。例えば、基板温度は、温調器１５１を介して温度調節機構１２１に指令を送り、基板温度を制御する。

[0097] このような電磁波加熱装置２００においては、載置台１１０上に基板Ｓを載置した状態で、交流電源１３１からマッチング装置１３３を介して送信アンテナ１３４に例えば１００Ｈｚ～５０ｋＨｚ程度の周波数の交流電流を供給する。これにより、送信アンテナ１３４および受信アンテナ１３５を貫く磁界が発生し、電磁誘導により交流電源１３１の周波数の電磁波が基板Ｓに照射される。このとき、パルス／デューティ制御部１３２により、交流電源１３１から出力される交流電流を所定のデューティ比のパルス状のものとして基板Ｓの冷却制御を行うようにしてもよい。

[0098] 本例においても、第１の例と同様に、制御ユニット１５０により、ε′ε″特性と無反射曲線との交点から導かれる値に基づいて、電磁波の周波数と加熱対象物の厚みを決定し、それらの値に基づいて電磁波加熱を行うように制御する。これにより、電磁波の周波数および加熱対象物の厚みを決定して電波吸収設計を満たす電磁波加熱を実現することができる。また、第１の例と同様に、所定のパラメータが最適になるように電磁波の周波数を補正してもよい。

[0099] なお、受信アンテナ１３５は必須ではなく、受信アンテナ１３５を設けなくとも送信アンテナ１３４から磁界が発生し、基板Ｓに電磁波を照射することができる。

[0100] （電磁波加熱装置の第３の例）

図１２は、本実施形態の電磁波加熱方法を実現することができる電磁波加熱装置の第３の例の概略構成を示す断面図である。この電磁波加熱装置３００は、図１０と同様の原理で電磁波加熱を行う装置をより具体的に示したも

のであり、処理容器２１０、載置台２２０、電磁波供給部２３０、ガス導入機構２４０、排気機構２５０、センサユニット２６０、制御ユニット２７０を有している。

[0101] 処理容器２１０は、例えばステンレススチール、アルミニウム、アルミニウム合金等で形成されており、接地されている。処理容器２１０の天井部は開口されており、この開口部にはシール部材２１１を介して、天板２１２が気密に設けられている。天板２１２は、電磁波を透過する材料、例えば石英、窒化アルミニウム等の誘電体で構成されている。処理容器２１０底部の周縁部には、排気機構２５０と接続される排気口２１４が設けられている。処理容器２１０の側壁には、基板Ｓを搬入出するための搬入出口２１５が形成されており、搬入出口２１５はゲートバルブ２１６により開閉可能となっている。

[0102] 載置台２２０は、処理容器２１０の底部に形成された開口に、シール部材２１３を介在させて気密に取り付けられている。載置台２２０は接地されている。載置台２２０は、載置台本体２２１と、熱電変換素子２２２と、載置板２２３とを含む。載置台本体２２１の上に熱電変換素子２２２が、熱電変換素子２２２の上に載置板２２３が配置される。載置板２２３の上には、基板Ｓが載置するようになっている。熱電変換素子２２２には熱電変換素子給電部２２８から給電されて基板Ｓを加熱可能となっている。載置台本体２２１内には冷媒流路２２４が形成されている。冷媒流路２２４は、冷媒導入管２２５と冷媒排出管２２６とを介して、冷媒を循環させる冷媒循環器２２７に接続されている。冷媒循環器２２７が動作することにより、冷媒が冷媒流路２２７を流通循環し、プラスチック基板Ｓを冷却することができる。

[0103] 電磁波供給部２３０は、処理容器２１０の天板２１２の上方に設けられている。電磁波供給部２３０は、電磁波発生源２３１、導波管２３２および入射アンテナ２３３を含む。電磁波発生源２３１は導波管２３２の一端と接続され、導波管２３２の他端は入射アンテナ２３３と接続されている。電磁波発生源２３１は周波数可変であり、制御ユニット２７０からの指令により周

波数が制御される。電磁波発生源２３１としては、ＲＦ電源、マグネトロン、クライストロン、ジャイロトロン等を用いることができる。なお、照射する電磁波の周波数レンジが広い場合には、電磁波発生源２３１として周波数レンジが異なる複数のものを設置し、周波数によってそれらを切り替えられるようにすることが好ましい。

[0104] ガス導入機構２４０は、処理容器２１０の側壁を貫通する例えば２本のガスノズル２４１、２４２を有しており、図示しないガス供給源から処理に必要なガスを処理容器２１０内に供給する。ここでのガスは、例えばアルゴンや窒素等からなる不活性ガスである。なお、ガスノズルの本数は、２本に限るものではなく、適宜増減してもよい。

[0105] 排気機構２５０、排気が流通する排気通路２５１、排気圧力を制御する圧力制御弁２５２および処理容器２１０内部の雰囲気を排出する排気ポンプ２５３を含む。排気ポンプ２５３は、排気通路２５１および圧力制御弁２５２を介して、処理容器２１０内の雰囲気を、所定の真空度まで排気するようになっている。なお処理容器２１０内の雰囲気を排気せずに、その雰囲気を大気圧としてもよい。

[0106] センサユニット２６０および制御ユニット２７０は、第１の例のセンサユニット４０および制御ユニット５０と同様に構成されている。すなわち、センサユニット２６０は、電磁波強度計と、ガス濃度計と、温度計とを有している。なお、必ずしもこれらを全て含まなくてもよい。また、制御ユニット２７０は、電磁波加熱装置３００の各構成部を制御するようになっており、また、上述した本実施形態の電磁波加熱方法を実施するための制御アルゴリズムを備えている。例えば、基板温度は、温調器２７１を介して熱電変換素子給電部２２８および冷媒循環器２２７に指令を送り、基板温度を制御する。

[0107] このように構成される電磁波加熱装置３００においては、載置台２１０上に基板Ｓを載置した状態で、電磁波供給部２３０から処理容器２１０内に電磁波を供給することにより、加熱対象物である基板Ｓを電磁波加熱する。

[0108] 本例においても、第１の例と同様に、制御ユニット２７０により、ε′ ε″特性と無反射曲線との交点から導かれる値に基づいて、電磁波の周波数と加熱対象物の厚みを決定し、それらの値に基づいて電磁波加熱を行うように制御する。これにより、電磁波の周波数および加熱対象物の厚みを決定して電波吸収設計を満たす電磁波加熱を実現することができる。また、第１の例と同様に、所定のパラメータが最適になるように電磁波の周波数を補正してもよい。

[0109] （電磁波加熱装置の第４の例）

図１３は、本実施形態の電磁波加熱方法を実現することができる電磁波加熱装置の第４の例の概略構成を示す断面図である。この電磁波加熱装置３００′は、図１２に示す第３の例とほぼ同様の構成であるが、加熱対象がロールに巻き取られたシート状基板Ｓ′を加熱対象としたものである点のみが電磁波加熱装置３００とは異なっている。したがって、図１３において、図１２と同じものには同じ符号を付して説明を省略する。

[0110] 本例において、加熱対象となる基板Ｓ′は、例えばプラスチックシートの上に塗布膜（例えば配線パターン）が形成されてなる。この場合は、実際の加熱対象は塗布膜である。

[0111] 処理容器２１０の側面には、電磁波照射前の基板Ｓ′を搬入する搬入口２１７と、電磁波照射後の基板Ｓ′を搬出する搬出口２１８とが、相対向するように設けられている。搬入口２１７および搬出口２１８には、それぞれシャッタ２１７ａ、２１８ａが設けられている。シャッタ２１７ａ、２１８ａは、搬送機構（図示せず）が基板Ｓ′の搬送を停止し、電磁波が照射されている際に、処理容器２１０内部の電磁波およびガスが外部へ漏れないように、それぞれ搬入口２１７および搬出口２１８を閉じる機能を有する。また、シャッタ２１７ａ、２１８ａは、軟らかい金属、例えばインジウム、銅等からなり、基板Ｓ′が停止した際に基板Ｓ′を圧接するようになっている。基板Ｓ′は繰り出しロール（図示せず）に巻回した状態とされ、この繰り出しロールから繰り出された基板Ｓ′が処理容器２１０内に搬入され、反対側に

設けられた巻き取りロール（図示せず）に巻き取られるようになっている。

[0112] 本例では、繰り出ロール（図示せず）から繰り出した基板Ｓ′を、搬入口２１７から搬入し、その所定部分を載置台２２０に載置させる。減圧雰囲気を形成する場合には、シャッタ２１７ａ、２１８ａにより搬入口２１７および搬出口２１８を閉じる。この状態で電磁波加熱を行う。基板Ｓ′の端部に塗布膜が形成されていないリード材を接続し、リード材が巻き取りロール（図示せず）に取り付けられた状態とすることにより、基板Ｓ′の最初の部分に対する電磁波照射が可能となる。基板Ｓ′の所定部分の電磁波加熱が終了したら、基材Ｓ′を所定長さ巻き取り、次の部分の電磁波加熱を行う。

[0113] 本例においても、制御ユニット２７０により、ε′ ε″特性と無反射曲線との交点から導かれる値に基づいて、電磁波の周波数と加熱対象物の厚みを決定し、それらの値に基づいて電磁波加熱を行うように制御する。これにより、電磁波の周波数および加熱対象物の厚みを決定して電波吸収設計を満たす電磁波加熱を実現することができる。また、第１の例と同様に、所定のパラメータが最適になるように電磁波の周波数を補正してもよい。

[0114] （電磁波加熱装置の第５の例）

図１４は、本実施形態の電磁波加熱方法を実現することができる電磁波加熱装置の第５の例の概略構成を示す断面図である。この電磁波加熱装置４００は、複数の基板Ｓに対して電磁波加熱を行うことができるバッチ式の電磁波加熱装置であり、処理容器３１０、基板保持具３２０、電磁波供給部３３０、ガス導入機構３４０、排気機構３５０、センサユニット３６０、制御ユニット３７０を有している。

[0115] 処理容器３１０は、例えばステンレススチール、アルミニウム、アルミニウム合金等からなり、鉛直方向を長手方向とする縦長の筒状をなしている。処理容器３１０の天井部は開口されており、この開口部にはシール部材３１１を介して、天板３１２が気密に設けられている。処理容器３１０の底部も開口されていて搬出入口３１３となっている。処理容器３１０の側壁には排気口３１４が設けられている。

[0116] 基板保持具３２０は、複数の基板Ｓを水平状態で、所定の間隔を隔てて垂直方向に保持し、処理容器３１０内に挿脱可能に設けられている。この基板保持具３２０は、電磁波を透過する材料、例えば石英により形成されている。具体的には、この基板保持具３２０は、上下に設けられた石英製の天板３２１と底板３２２とを有し、これらの間に、例えば４本の石英製の支柱３２３（２本のみ図示）が掛け渡されている。そして、各支柱３２３に所定のピッチで段部状に係合溝を設けて、この係合溝に基板Ｓの周辺部を挿入することにより基板Ｓが所定のピッチで支持される。この場合、図示しない搬送アームを用いて基板保持具３１０に対して水平方向から基板Ｓを出し入れできるように、４本の支柱３２３は、基板Ｓの略半円弧の領域に所定の間隔で配置されている。

[0117] 処理容器３１０の下端の搬出入口３１３には、処理容器３１０の構成材料と同じ金属よりなる開閉蓋３１５がＯリング等のシール部材３１６を介して着脱可能に取り付けられる。開閉蓋３１５の中心部には、磁性流体シール３１７を介在させて回転軸３１８が気密に貫通させて設けられており、この回転軸３１８の上端部に載置台３１９を設け、この載置台３１９の上面に基板保持具３２０を載置した状態で処理容器３１０内に保持される。

[0118] 処理容器３１０の下方には、基板保持具３２０を処理容器３１０に対して搬入または搬出させる搬入・搬出機構３８０が設けられている。搬入・搬出機構３８０は、回転軸３１８の下端を回転可能に支持する昇降アーム３８１と、昇降アーム３８１を昇降する昇降エレベータ（図示せず）とを有している。昇降アーム３８１には、回転軸を回転するモータ３８２が取り付けられており、これにより載置台３１９とともに基板保持具３２０が回転される。

[0119] 昇降エレベータを駆動して昇降アーム３８１を昇降させることによって開閉蓋３１５と基板保持具３２０とを一体的に上下方向へ移動させて、処理容器３１０に対して複数の基板Ｓをロード及びアンロードできるようになっている。なお、基板保持具３２０を回転させないで基板Ｓに対して電磁波加熱を施すこともでき、この場合には、上記回転モータ３８２や磁性流体シール

３１７を設ける必要はない。

[0120] 処理容器３１０の周囲には、処理容器３１０内で基板保持具３２０により保持された基板Ｓを加熱または冷却して温度調節する温度調節機構３２５が設けられている。

[0121] 電磁波供給部３３０は、処理容器３１０の天板３１２の上方に設けられている。電磁波供給部３３０は、電磁波発生源３３１、導波管３３２および入射アンテナ３３３を含む。電磁波発生源３３１は導波管３３２の一端と接続され、導波管３３２の他端は入射アンテナ３３３と接続されている。電磁波発生源３３１は周波数可変であり、制御ユニット３７０からの指令により周波数が制御される。電磁波発生源３３１としては、ＲＦ電源、マグネトロン、クライストロン、ジャイロトロン等を用いることができる。なお、照射する電磁波の周波数レンジが広い場合には、電磁波発生源３３１として周波数レンジが異なる複数のものを設置し、周波数によってそれらを切り替えられるようにすることが好ましい。

[0122] ガス導入機構３４０は、処理容器３１０の側壁を貫通する例えば２本のガスノズル３４１、３４２を有しており、図示しないガス供給源から処理に必要なガスを処理容器３１０内に供給する。ここでのガスは、例えばアルゴンや窒素等からなる不活性ガスである。なお、ガスノズルの本数は、２本に限るものではなく、適宜増減してもよい。

[0123] 排気機構３５０、排気が流通する排気通路３５１、排気圧力を制御する圧力制御弁３５２および処理容器３１０内部の雰囲気を排出する排気ポンプ３５３を含む。排気ポンプ３５３は、排気通路３５１および圧力制御弁３５２を介して、処理容器３１０内の雰囲気を、所定の真空度まで排気するようになっている。なお処理容器３１０内の雰囲気を排気せずに、その雰囲気を大気圧としてもよい。

[0124] センサユニット３６０および制御ユニット３７０は、第１の例のセンサユニット４０および制御ユニット５０と同様に構成されている。すなわち、センサユニット３６０は、電磁波強度計と、ガス濃度計と、温度計とを有して

いる。なお、必ずしもこれらを全て含まなくてもよい。また、制御ユニット３７０は、電磁波加熱装置４００の各構成部を制御するようになっており、また、上述した本実施形態の電磁波加熱方法を実施するための制御アルゴリズムを備えている。例えば、基板温度は、温調器３７１を介して温度調節機構３２５に指令を送り、基板温度を制御する。

[0125] このように構成される電磁波加熱装置４００においては、基板保持具３２０に複数の基板Ｓを保持した状態で、電磁波供給部３３０から処理容器３１０内に電磁波を供給することにより、加熱対象物である基板Ｓを電磁波加熱する。本実施形態では、複数の基板Ｓを一括して電磁加熱することができるので効率的に電磁加熱を行うことができる。

[0126] 本例においても、第１の例と同様に、制御ユニット３７０により、ε′ ε″特性と無反射曲線との交点から導かれる値に基づいて、電磁波の周波数と加熱対象物の厚みを決定し、それらの値に基づいて電磁波加熱を行うように制御する。これにより、電磁波の周波数および加熱対象物の厚みを決定して電波吸収設計を満たす電磁波加熱を実現することができる。また、第１の例と同様に、所定のパラメータが最適になるように電磁波の周波数を補正してもよい。

[0127] なお、第５の例では、複数の基板Ｓを水平状態にして上下方向に配置した縦型の装置としたが、複数の基板Ｓを垂直状態にして横方向に配置した横型の装置であってもよい。

[0128] ＜他の適用＞

なお、本発明は上記実施形態に限定されることなく種々変形可能である。例えば、上記実施形態における適用例は単なる例示であって、本発明は電磁波を照射することにより物体を加熱する場合の全般に適用可能である。

[0129] また、電磁波加熱装置の例をいくつか示したが、これらは単なる例示に過ぎず、本発明の電磁波加熱方法を実現できるものであれば、その構成は上記例に限定されないことはいうまでもない。

符号の説明

[0130] １…電波吸収体、２…金属板、３…電磁波（平面波）、１００，２００，３００，３００′，４００…電磁波加熱装置、１０，１１０，２１０，３１０…処理容器、２０，１２０，２２０…載置台、３０，１３０，２３０，３３０…電磁波供給部、４０，１４０，２６０，３６０…センサユニット、５０，１５０，２７０，３７０…制御ユニット、３２０…基板保持具、Ｓ，Ｓ′…基板

請求の範囲

[請求項1] 加熱対象物に電磁波を照射して加熱する電磁波加熱装置であって、

加熱対象を収容する容器と、

前記容器内の加熱対象に電磁波を照射する発振周波数が可変の電磁波照射部と、

電磁波による加熱を制御する制御部と

を具備し、

前記制御部は、

照射する電磁波の周波数を変化させた際の前記加熱対象物の複素比誘電率の変化を表す複素比誘電率特性を複素平面に描き、

さらに、同じ複素平面に無反射曲線を描き、

前記複素比誘電率特性と、前記無反射曲線との交点から導かれる値に基づいて、電磁波の周波数と加熱対象物の厚みを決定し、それらの値に基づいて電磁波加熱を行う、電磁波加熱装置。

[請求項2] 前記制御部は、前記交点において前記無反射曲線から読み取った厚み／波長比（ｄ／λ）に、加熱対象物の厚みｄの値を入れて波長λを算出し、波長λから電磁波の周波数ｆを求める、請求項１に記載の電磁波加熱装置。

[請求項3] 前記制御部は、前記交点において前記複素比誘電率特性から周波数を求め、その周波数と、前記交点において前記無反射曲線から導かれる厚み／波長比（ｄ／λ）とに基づいて加熱対象物の厚みを求める、請求項１に記載の電磁波加熱装置。

[請求項4] 前記制御部は、照射する電磁波の周波数を変化させた際の前記加熱対象物の複素比誘電率の変化を表す複素比誘電率特性を複素平面に描いたデータ、および、同じ複素平面に無反射曲線を描いたデータをあらかじめ記憶している、請求項２に記載の電磁波加熱装置。

[請求項5] 前記電磁波照射部から照射された電磁波の強度を測定する電磁波強度計をさらに具備し、

前記制御部は、

求めた周波数の中心値を前記周波数ｆに設定し、中心値である前記周波数ｆから周波数を変化させていき、前記電磁波強度計の反射強度が最低となる周波数になるように、前記電磁波照射部の周波数を補正する、請求項２に記載の電磁波加熱装置。

[請求項6] 加熱対象物の温度を測定する温度計をさらに具備し、

前記制御部は、

求めた周波数の中心値を前記周波数ｆに設定し、中心値である前記周波数ｆから周波数を変化させていき、前記温度計による加熱対象物の温度の測定値が設定値と一致するように、前記電磁波照射部の周波数を補正する、請求項２に記載の電磁波加熱装置。

[請求項7] 前記処理容器内の所定のガスのガス濃度を測定するガス濃度計をさらに具備し、

前記制御部は、

求めた周波数の中心値を前記周波数ｆに設定し、中心値である前記周波数ｆから周波数を変化させていき、前記ガス濃度計による所定のガス濃度の測定値が設定値と一致するように、前記電磁波照射部の周波数を補正する、請求項２に記載の電磁波加熱装置。

[請求項8] 前記電磁波照射部の発振周波数の可変範囲は、０．１ｋＨｚ～１０ＴＨｚの中の一部分の帯域である、請求項１に記載の電磁波加熱装置。

[請求項9] 前記電磁波加熱は、基板上に形成した塗布膜の乾燥または改質に用いられる、請求項１に記載の電磁波加熱装置。

[請求項10] 前記電磁波加熱は、半導体基板を形成するための基板に不純物を導入した後の不純物活性化、または不純物活性化および再結晶化のためのアニールに用いられる、請求項１に記載の電磁波加熱装置。

[請求項11] 加熱対象物に電磁波を照射して加熱する電磁波加熱方法であって、

照射する電磁波の周波数を変化させた際の前記加熱対象物の複素比

誘電率の変化を表す複素比誘電率特性を複素平面に描き、

さらに、同じ複素平面に無反射曲線を描き、

前記複素比誘電率特性と、前記無反射曲線との交点から導かれる値に基づいて、電磁波の周波数と加熱対象物の厚みを決定し、それらの値に基づいて電磁波加熱を行う、電磁波加熱方法。

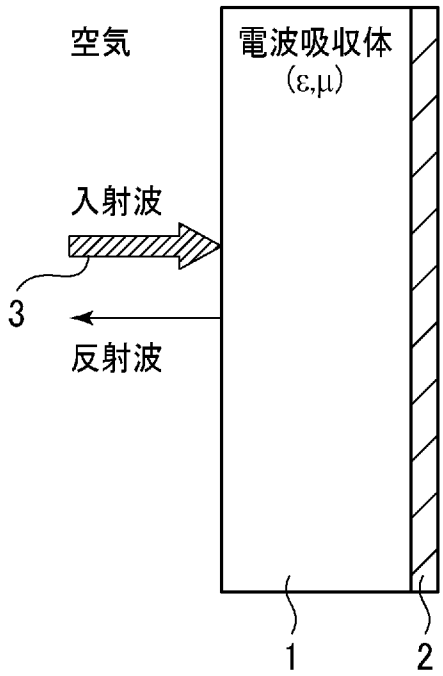
[請求項12] 前記交点において前記無反射曲線から読み取った厚み／波長比（ｄ／λ）に、加熱対象物の厚みｄの値を入れて波長λを算出し、波長λから電磁波の周波数ｆを求める、請求項１１に記載の電磁波加熱方法。

[請求項13] 前記交点において前記複素比誘電率特性から周波数を求め、その周波数と、前記交点において前記無反射曲線から導かれる厚み／波長比（ｄ／λ）とに基づいて加熱対象物の厚みを求める、請求項１１に記載の電磁波加熱方法。

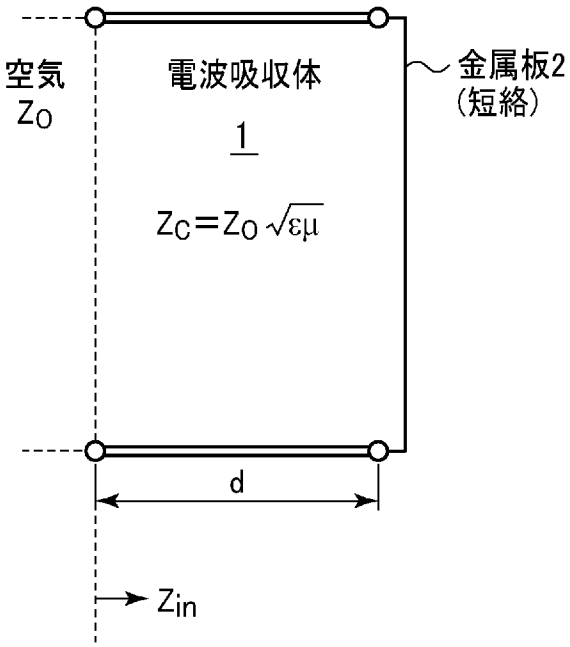
[請求項14] 前記電磁波加熱は、基板上に形成した塗布膜の乾燥または改質に用いられる、請求項１１に記載の電磁波加熱方法。

[請求項15] 前記電磁波加熱は、半導体基板を形成するための基板に不純物を導入した後の不純物活性化、または不純物活性化および再結晶化のためのアニールに用いられる、請求項１１に記載の電磁波加熱方法。

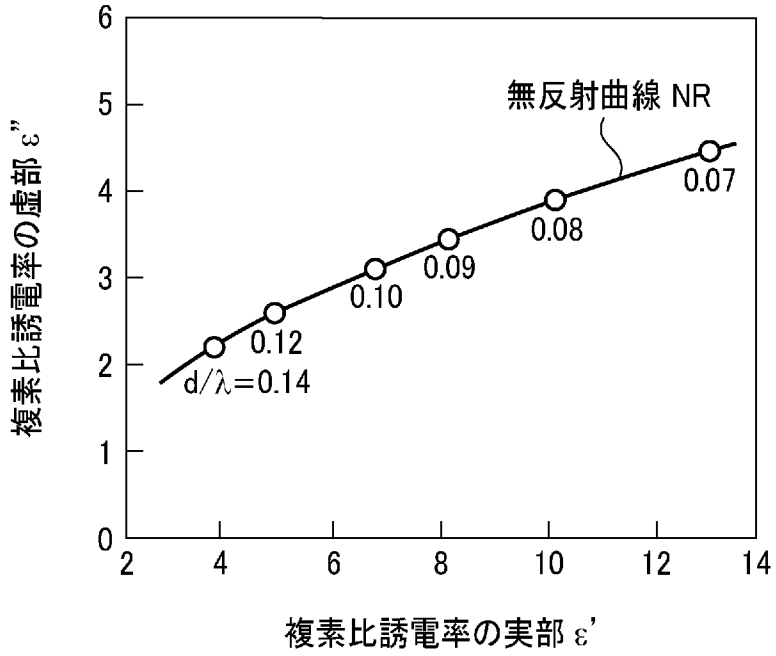
[図1A]



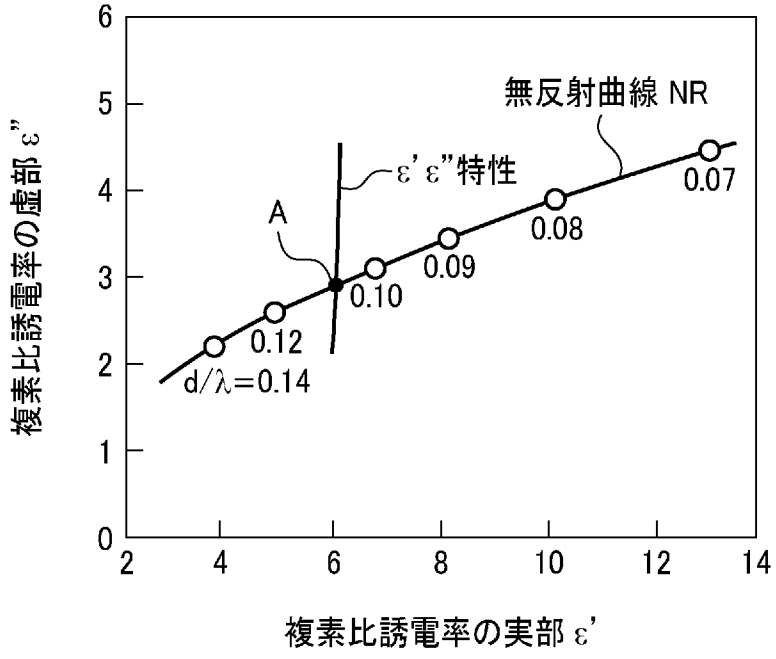
[図1B]



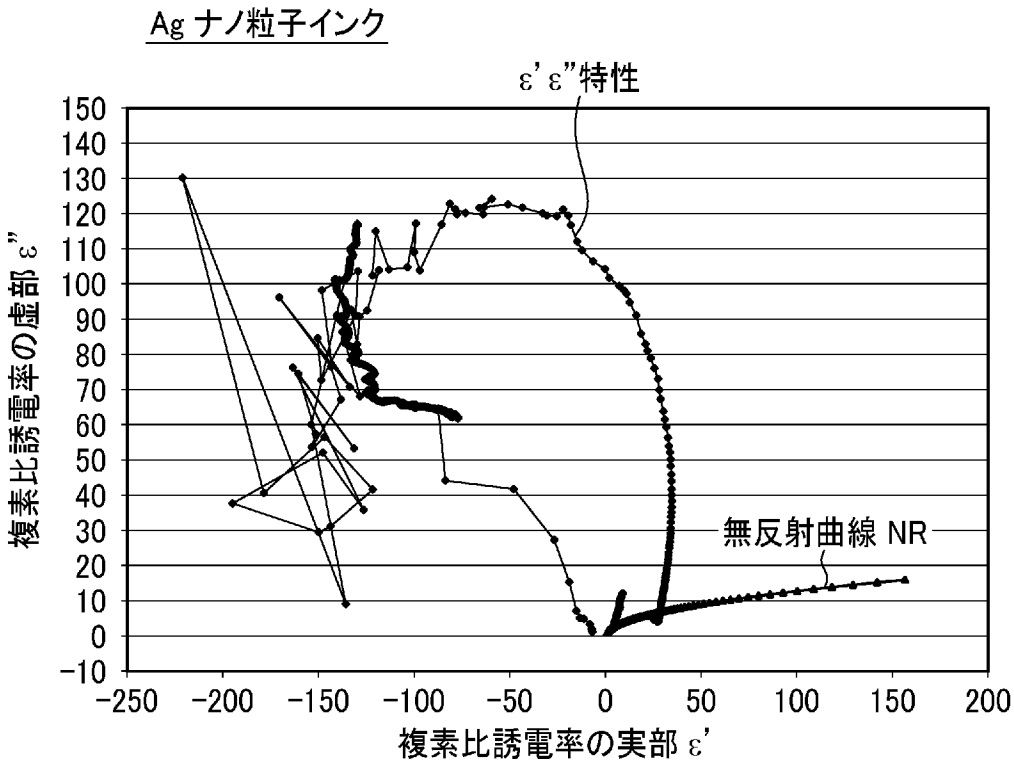
[図2]


無反射曲線 NR
0.07
0.08
0.09
0.10
0.12
d/λ=0.14
複素比誘電率の虚部 ε”
複素比誘電率の実部 ε’
0
1
2
3
4
5
6
2
4
6
8
10
12
14

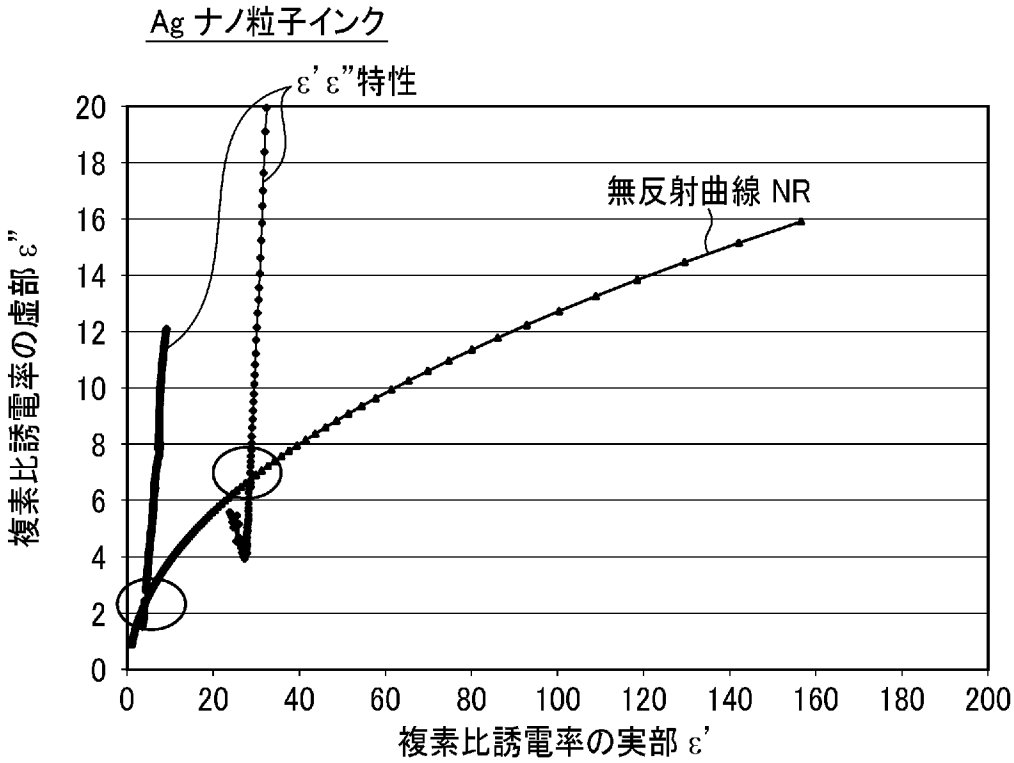
[図3]


無反射曲線 NR
ε’ε”特性
A
0.07
0.08
0.09
0.10
0.12
d/λ=0.14
複素比誘電率の虚部 ε”
複素比誘電率の実部 ε’
0
1
2
3
4
5
6
2
4
6
8
10
12
14

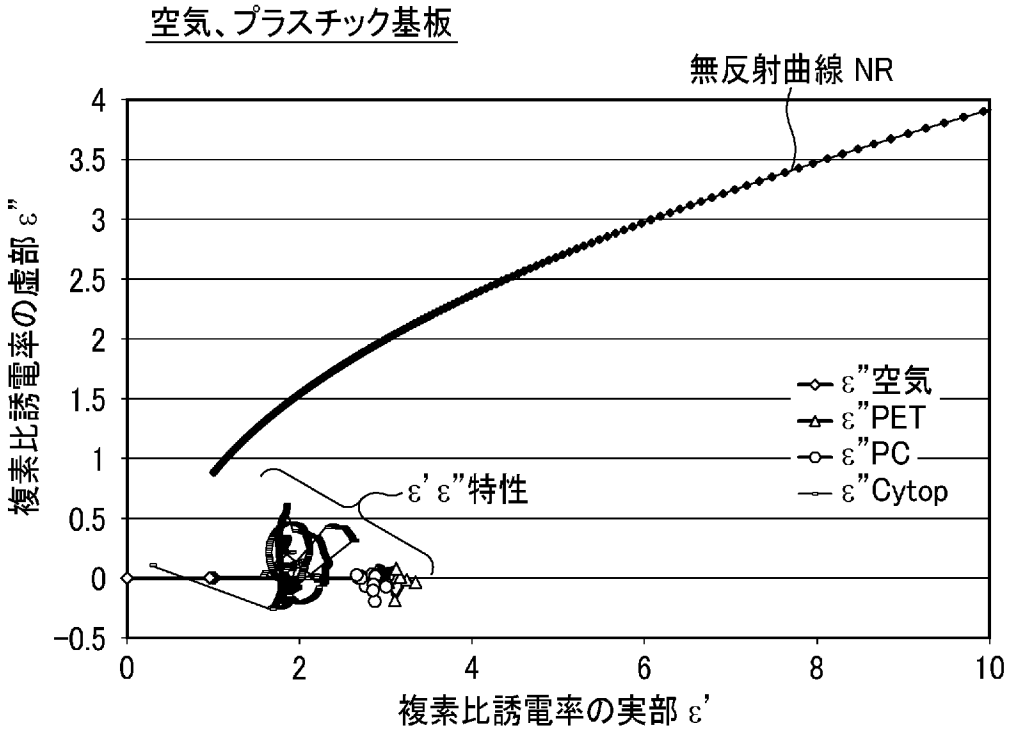
[図4A]


Ag ナノ粒子インク
ε'ε"特性
無反射曲線 NR
複素比誘電率の虚部 ε"
複素比誘電率の実部 ε'
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
-250
-200
-150
-100
-50
0
50
100
150
200

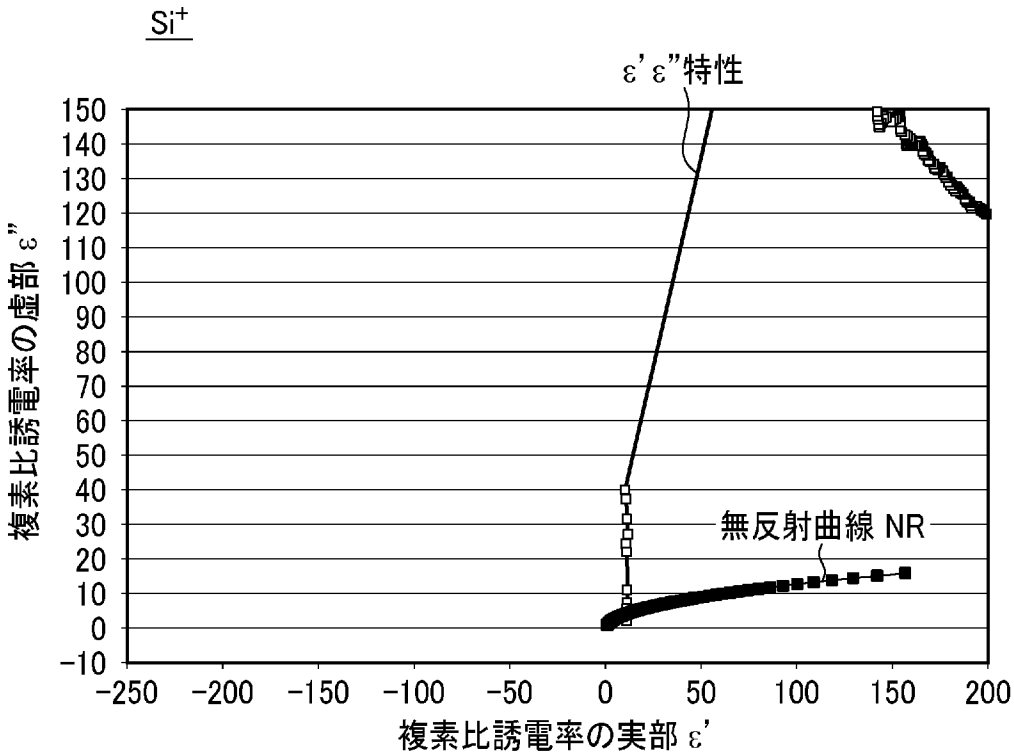
[図4B]


Ag ナノ粒子インク
ε'ε"特性
無反射曲線 NR
複素比誘電率の虚部 ε"
複素比誘電率の実部 ε'
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200

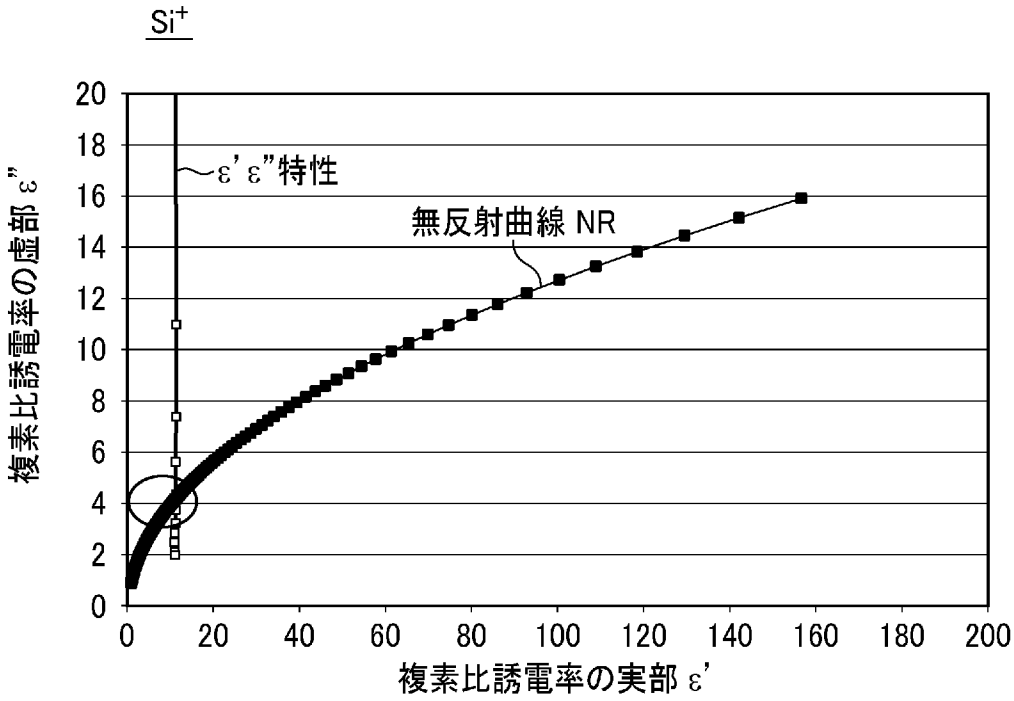
[図5]


空気、プラスチック基板
無反射曲線 NR
ε'ε"特性
ε"空気
ε"PET
ε"PC
ε"Cytop
複素比誘電率の虚部 ε"
複素比誘電率の実部 ε'
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
0
2
4
6
8
10

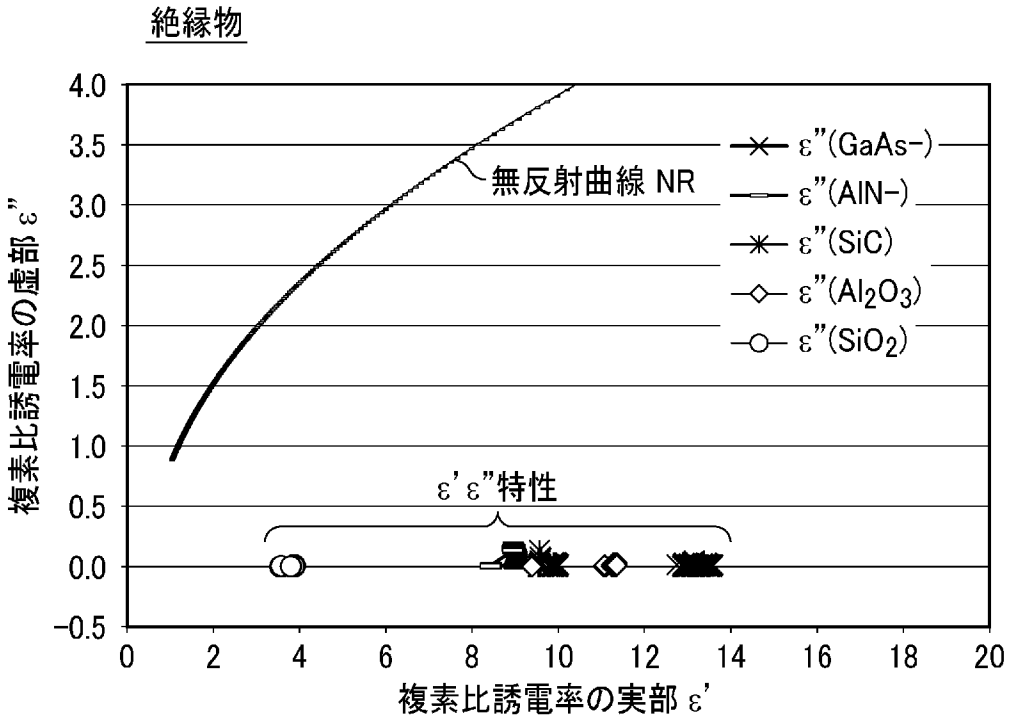
[図6A]


Si+
ε'ε"特性
無反射曲線 NR
複素比誘電率の虚部 ε"
複素比誘電率の実部 ε'
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
-250
-200
-150
-100
-50
0
50
100
150
200

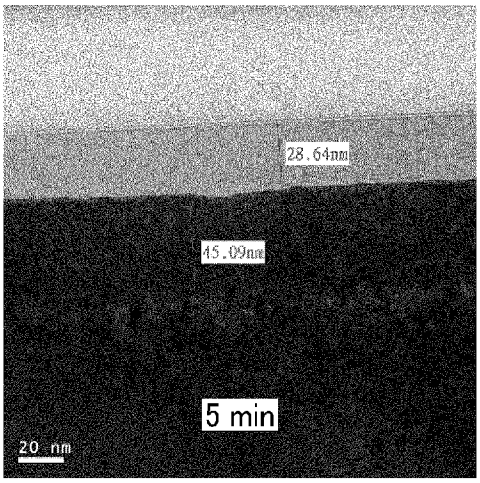
[図6B]


Si+
ε'ε"特性
無反射曲線 NR
複素比誘電率の虚部 ε"
複素比誘電率の実部 ε'
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200

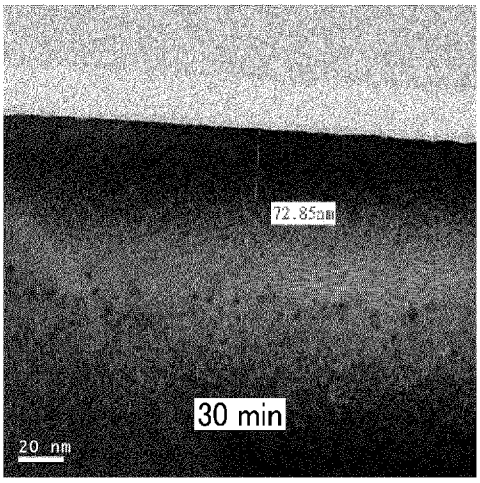
[図7]


絶縁物
無反射曲線 NR
ε"(GaAs-)
ε"(AlN-)
ε"(SiC)
ε"(Al2O3)
ε"(SiO2)
ε'ε"特性
複素比誘電率の虚部 ε"
複素比誘電率の実部 ε'
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
-0.5
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20

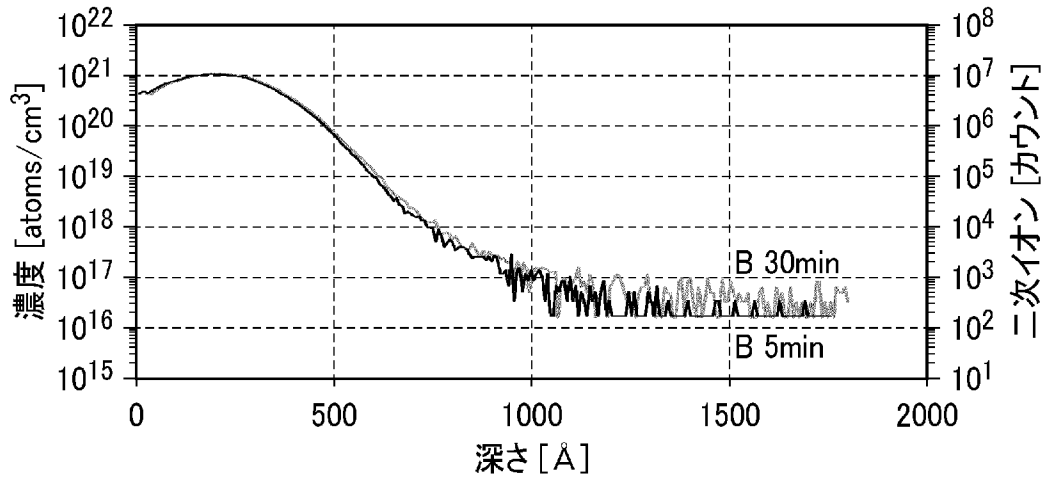
[図8A]



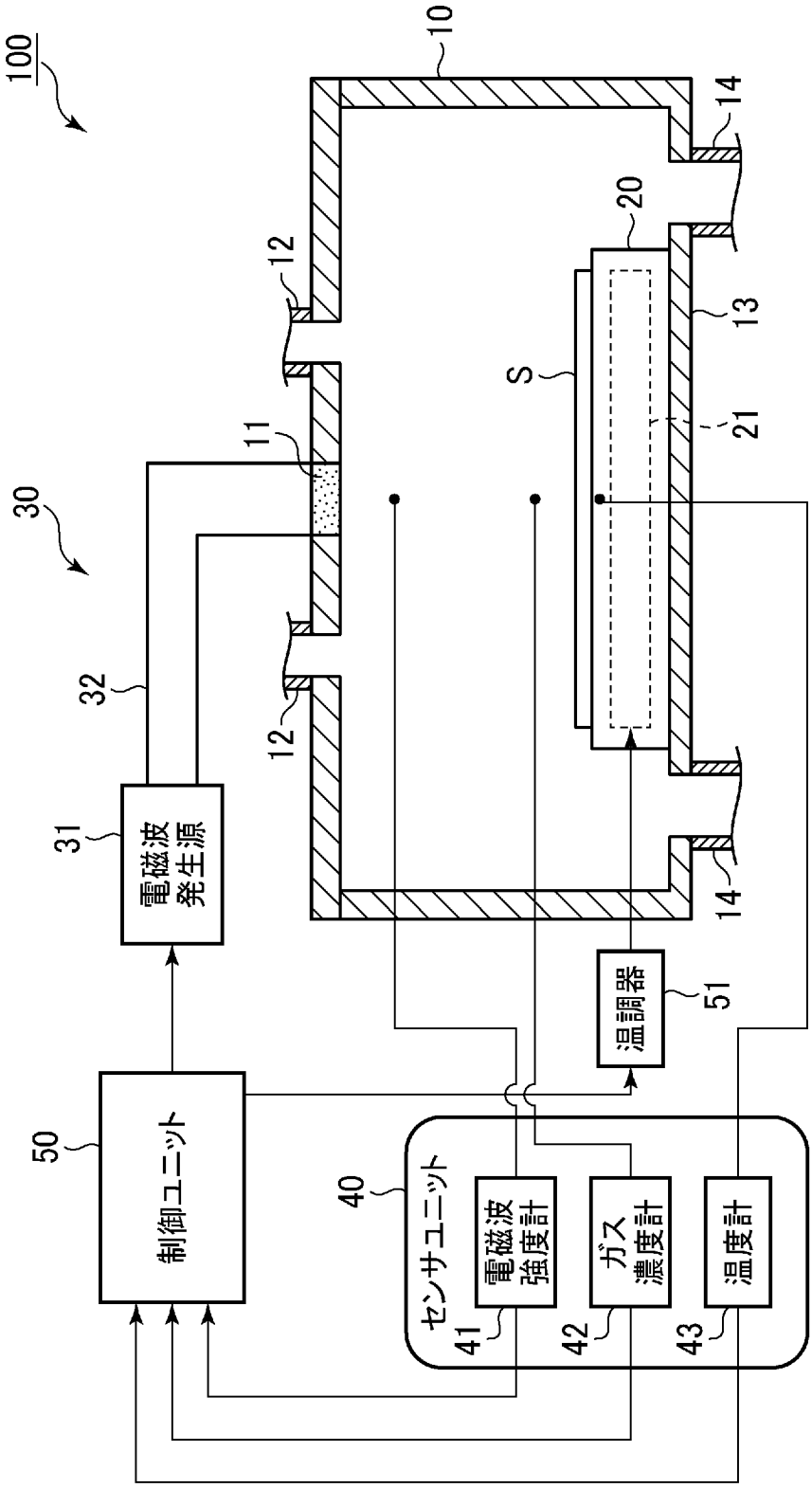
[図8B]



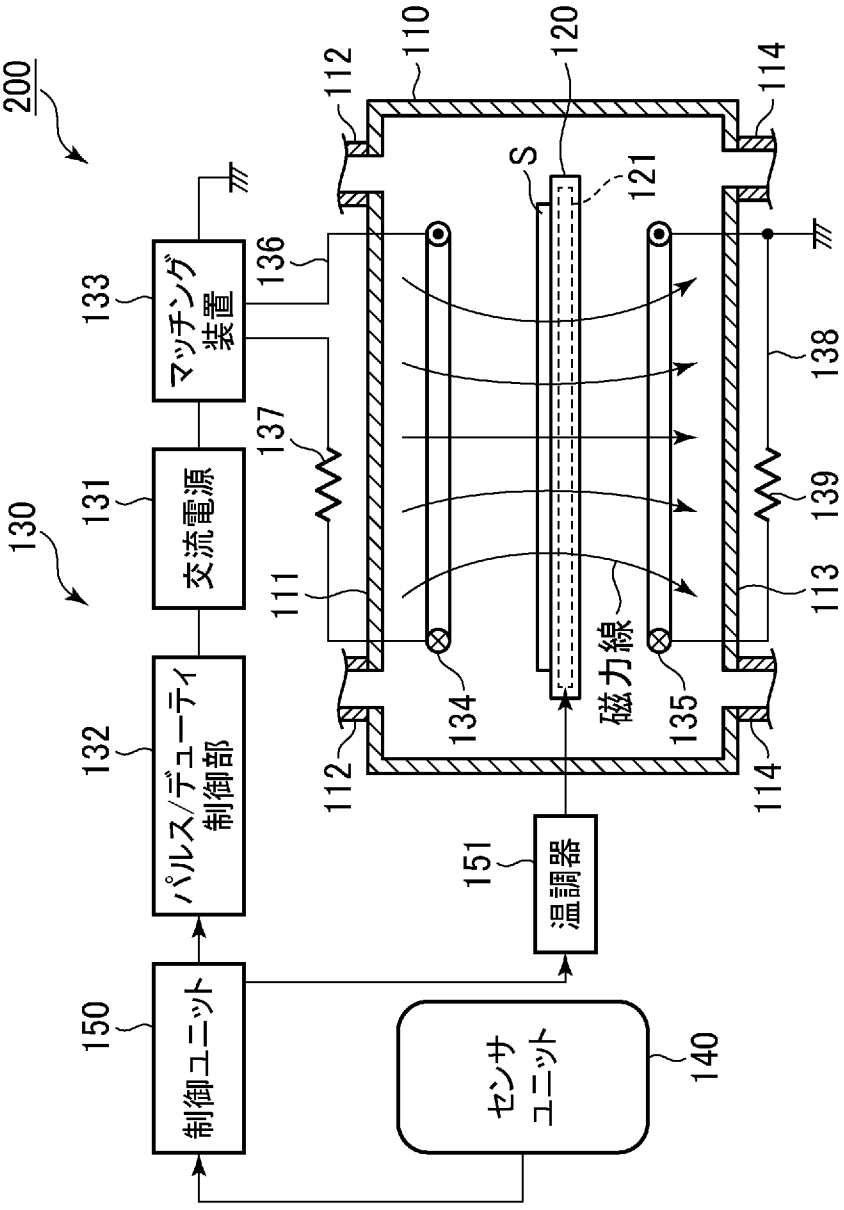
[図9]


濃度 [atoms/cm3]
二次イオン [カウント]
深さ [Å]
B 30min
B 5min
10^22
10^21
10^20
10^19
10^18
10^17
10^16
10^15
10^8
10^7
10^6
10^5
10^4
10^3
10^2
10^1
0
500
1000
1500
2000

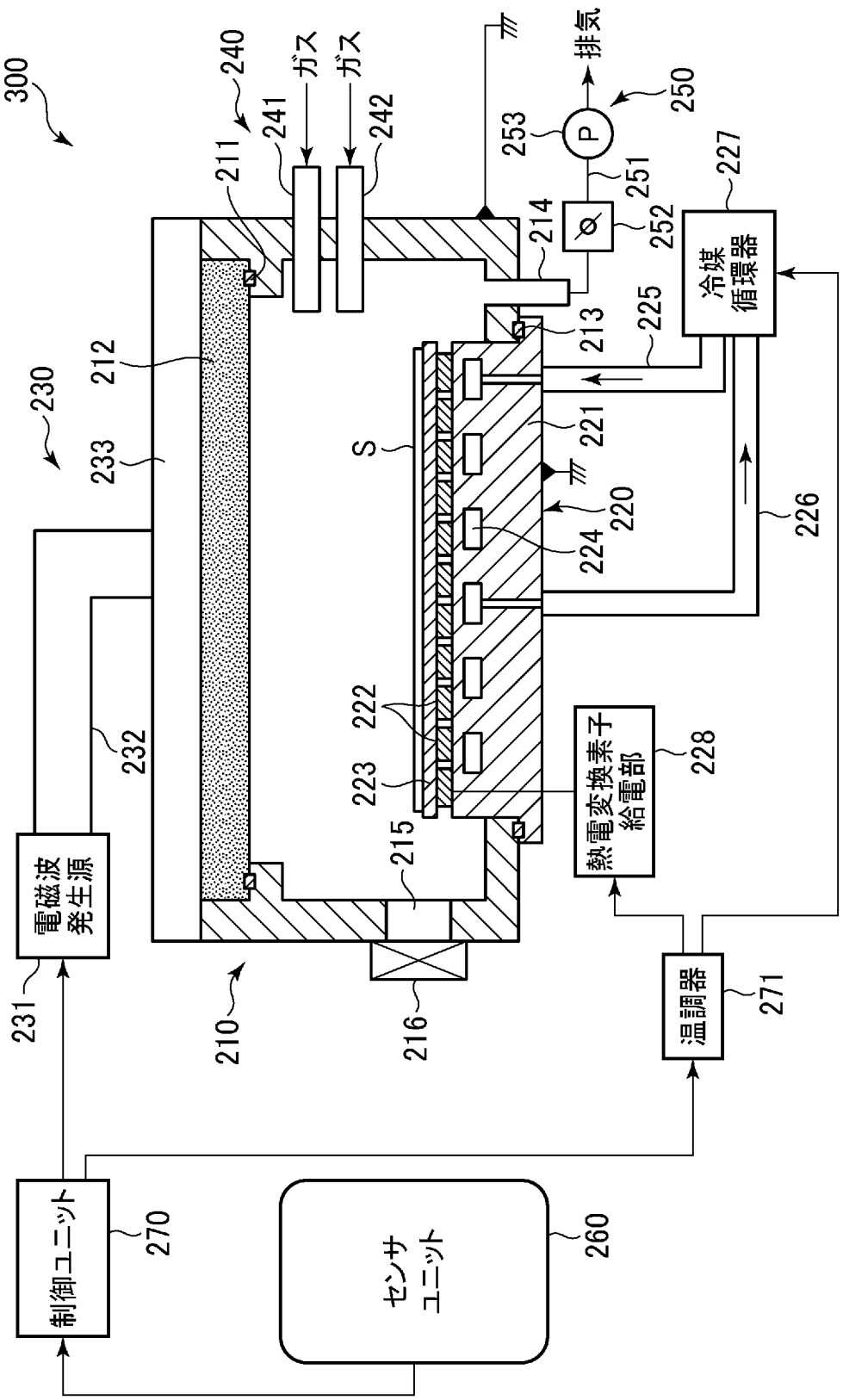
[図10]


100
10
14
20
12
13
S
21
11
30
32
12
14
31
電磁波
発生源
温調器
51
50
制御ユニット
40
センサユニット
電磁波
強度計
ガス
濃度計
温度計
41
42
43

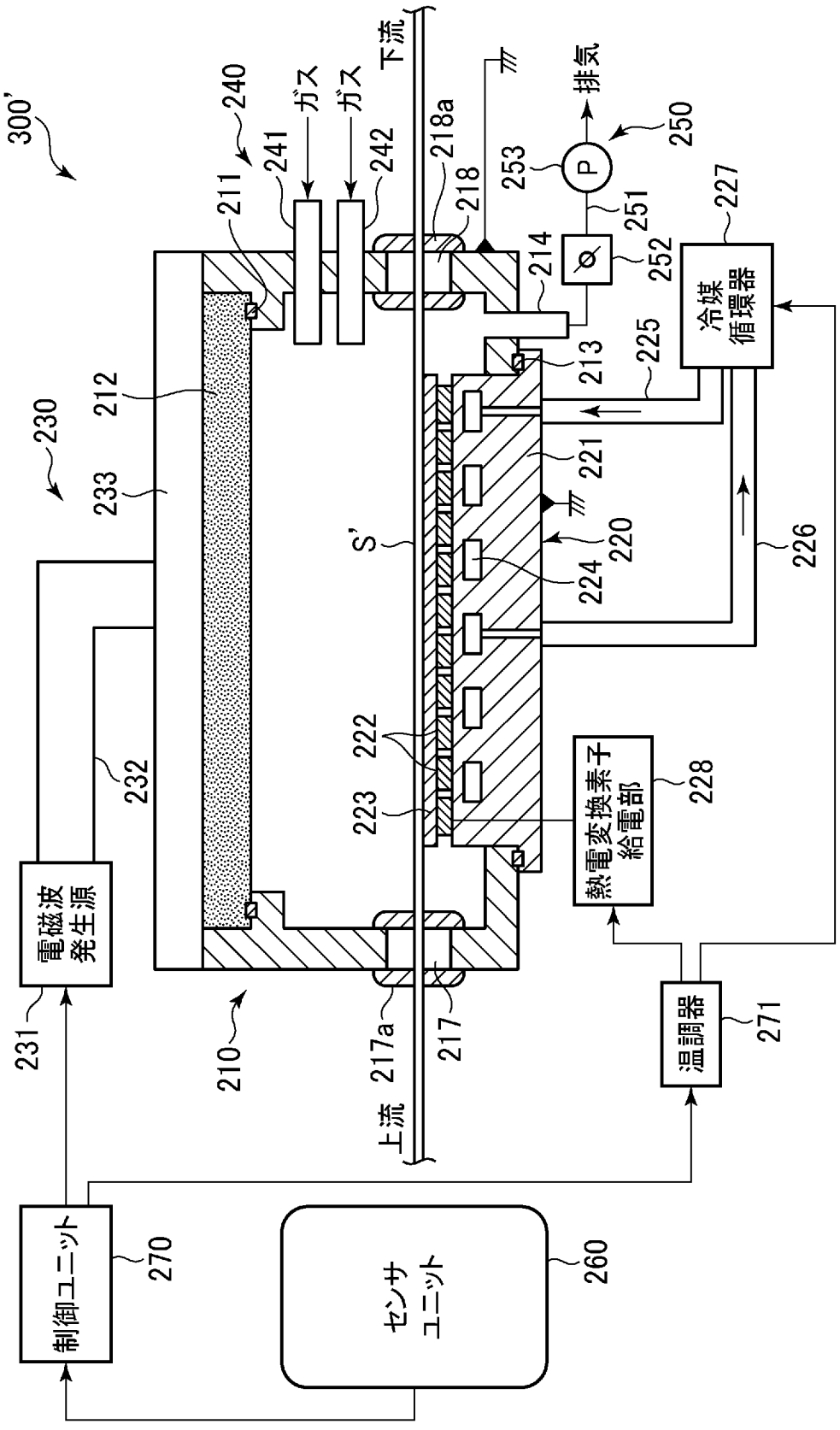
[図11]


200
130
131
交流電源
133
マッチング装置
132
パルス/デューティ制御部
150
制御ユニット
151
温調器
140
センサユニット
110
111
112
113
114
120
121
S
磁力線
134
135
136
137
138
139

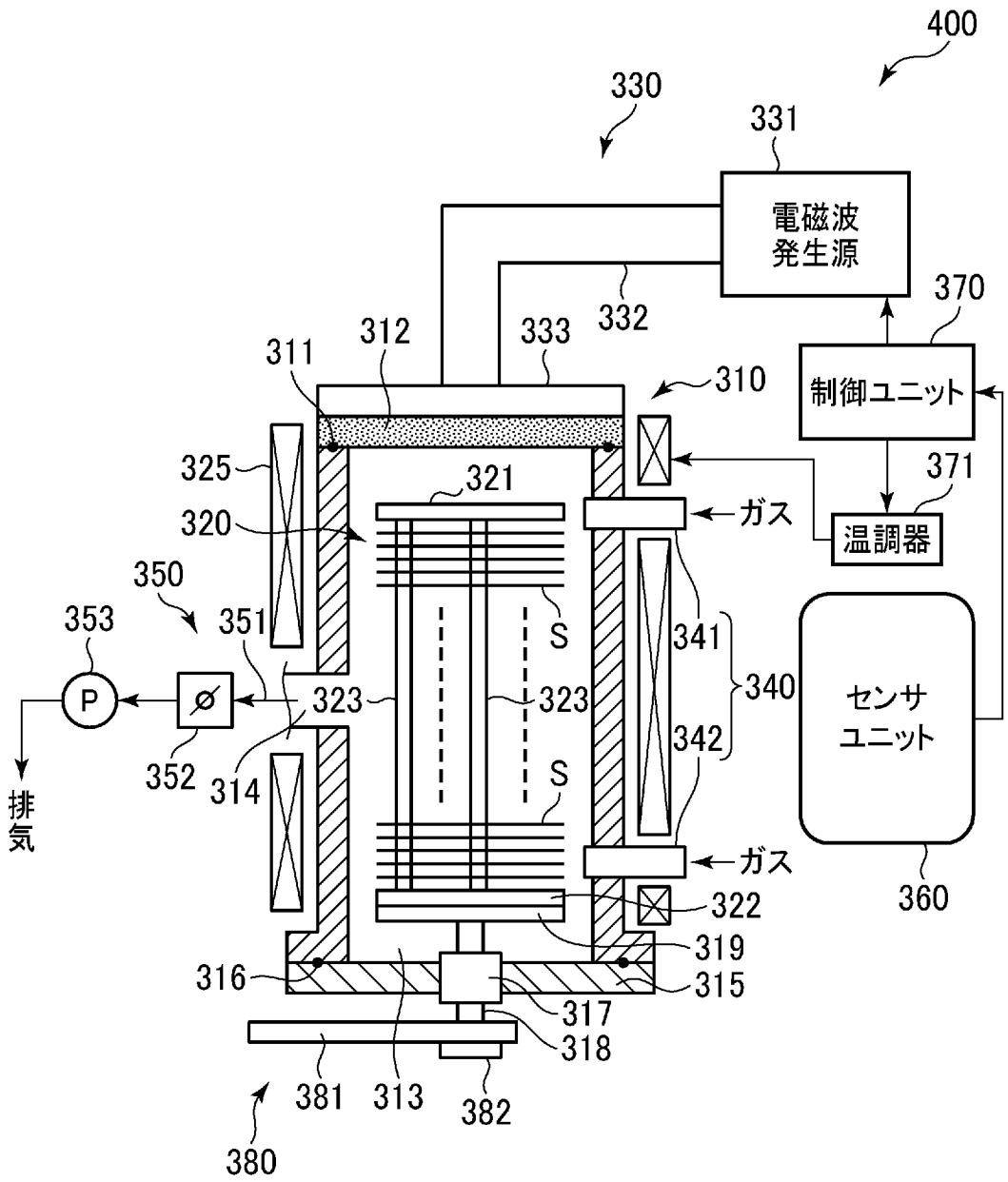
[図12]


300
240
241
ガス
ガス
242
211
排気
253
P
250
251
227
214
252
冷媒
循環器
213
225
212
230
233
S
221
220
224
226
222
223
熱電変換素子
給電部
228
232
215
電磁波
発生源
231
210
216
温調器
271
制御ユニット
270
センサ
ユニット
260

[図13]


300'
240
241
ガス
ガス
242
下流
218a
218
211
253
P
排気
250
227
冷媒
循環器
214
252
251
225
213
212
230
233
221
S'
220
224
226
222
223
232
熱電変換素子
給電部
228
電磁波
発生源
231
210
217a
217
上流
温調器
271
制御ユニット
270
センサ
ユニット
260

[図14]


400
330
331
電磁波
発生源
332
333
312
311
310
370
制御ユニット
325
321
320
ガス
371
温調器
350
353
351
S
341
340
センサ
ユニット
P
323
323
342
352
314
S
排
気
ガス
322
360
319
316
315
317
318
381
313
382
380

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2013/082540

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H05B6/66(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H05B6/66

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2013 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2013

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2011-249614 A (Nitto Denko Corp.), 08 December 2011 (08.12.2011), paragraph [0047]; fig. 2 & US 2013/0120959 A1 & EP 2579699 A1 & WO 2011/149039 A1 & CN 102907193 A	1-15
A	JP 2008-277363 A (Kuraray Co., Ltd.), 13 November 2008 (13.11.2008), paragraphs [0014] to [0017]; fig. 1 (Family: none)	1-15
A	WO 2011/118198 A1 (Panasonic Corp.), 29 September 2011 (29.09.2011), paragraph [0144] & US 2013/0008894 A1 & EP 2552177 A1	1-15

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
20 December, 2013 (20.12.13)	14 January, 2014 (14.01.14)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１３／０８２５４０

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H05B6/66(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H05B6/66

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１３年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 2011-249614 A（日東電工株式会社）2011.12.08, 段落【００４７】，第２図 & US 2013/0120959 A1 & EP 2579699 A1 & WO 2011/149039 A1 & CN 102907193 A	1-15
A	JP 2008-277363 A（株式会社クラレ）2008.11.13, 段落【００１４】－【００１７】，第１図（ファミリーなし）	1-15
A	WO 2011/118198 A1（パナソニック株式会社）2011.09.29, 段落【０１４４】 & US 2013/0008894 A1 & EP 2552177 A1	1-15

☐　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー

「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献

「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
２０．１２．２０１３	１４．０１．２０１４

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　３Ｌ　３７３９
土屋　正志
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３３７