

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7535438号
(P7535438)

(45)発行日 令和6年8月16日(2024.8.16)

(24)登録日 令和6年8月7日(2024.8.7)

(51)国際特許分類

F I

H 0 5 H	1/46 (2006.01)	H 0 5 H	1/46	R
H 0 1 L	21/3065(2006.01)	H 0 1 L	21/302	1 0 1 B
H 0 1 L	21/31 (2006.01)	H 0 1 L	21/302	1 0 1 C
		H 0 1 L	21/302	1 0 1 D
		H 0 1 L	21/31	C

請求項の数 7 (全15頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2020-182790(P2020-182790)
 (22)出願日 令和2年10月30日(2020.10.30)
 (65)公開番号 特開2021-141050(P2021-141050 A)
 (43)公開日 令和3年9月16日(2021.9.16)
 審査請求日 令和5年5月16日(2023.5.16)
 (31)優先権主張番号 特願2020-33167(P2020-33167)
 (32)優先日 令和2年2月28日(2020.2.28)
 (33)優先権主張国・地域又は機関 日本国(JP)

(73)特許権者 000219967
東京エレクトロン株式会社
東京都港区赤坂五丁目3番1号
 (74)代理人 100088155
弁理士 長谷川 芳樹
 (74)代理人 100113435
弁理士 黒木 義樹
 (74)代理人 100122507
弁理士 柏岡 潤二
 (72)発明者 輿水 地塩
宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番
東京エレクトロン宮城株式会社内
 審査官 小林 幹

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

プラズマ処理チャンバと、
 前記プラズマ処理チャンバ内に配置され、電極を含む基板支持器と、
 前記電極に結合され、1周期内の第1の期間において第1の電圧レベルを有し、該1周期内の第2の期間及び該第2の期間の後の第3の期間において第2の電圧レベルを有する電気バイアスを発生するように構成されたバイアス電源であり、該第1の電圧レベルの絶対値は該第2の電圧レベルの絶対値よりも大きい、バイアス電源と、
 前記プラズマ処理チャンバに結合され、前記1周期内の前記第1の期間において第1の電力レベルを有し、前記1周期内の前記第2の期間において第2の電力レベルを有し、前記1周期内の前記第3の期間において第3の電力レベルを有し、前記1周期内の前記第2の期間と前記第3の期間との間の第4の期間において第4の電力レベルを有する高周波電力を発生するように構成された高周波電源であり、前記第2の電力レベルは前記第3の電力レベルよりも大きく、前記第3の電力レベルは前記第1の電力レベルよりも大きく、前記第4の電力レベルは前記第1の電力レベルと前記第3の電力レベルとの間のレベルである、該高周波電源と、
 を備える、プラズマ処理装置。

【請求項2】

前記電気バイアスは、矩形、台形、三角形、又はこれらの組み合わせのパルス波形を有する、請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 3】

前記電気バイアスは、整形パルスを有する、請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 4】

前記第 1 の電圧レベルは、負の極性を有する、請求項 1 ~ 3 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 5】

前記第 2 の電圧レベルは、ゼロ電圧レベルである、請求項 1 ~ 4 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 6】

前記第 1 の電力レベルは、ゼロ電力レベルである、請求項 1 ~ 5 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

10

【請求項 7】

プラズマ処理装置で使用するプラズマ処理方法であって、前記プラズマ処理装置は、プラズマ処理チャンバと、前記プラズマ処理チャンバ内に配置され、下部電極を含む基板支持器と、前記下部電極の上方に配置された上部電極とを備え、該プラズマ処理方法は、

前記基板支持器上に基板を載置する工程と、

電気バイアスを前記下部電極に供給する工程であり、該電気バイアスは、1 周期内の第 1 の期間において第 1 の電圧レベルを有し、該 1 周期内の第 2 の期間及び該第 2 の期間の後の第 3 の期間において第 2 の電圧レベルを有し、該第 1 の電圧レベルの絶対値は該第 2 の電圧レベルの絶対値よりも大きい、該工程と、

20

高周波電力を前記上部電極又は前記下部電極に供給する工程であり、該高周波電力は、前記 1 周期内の前記第 1 の期間において第 1 の電力レベルを有し、前記 1 周期内の前記第 2 の期間において第 2 の電力レベルを有し、前記 1 周期内の前記第 3 の期間において第 3 の電力レベルを有し、前記 1 周期内の前記第 2 の期間と前記第 3 の期間との間の第 4 の期間において第 4 の電力レベルを有し、前記第 2 の電力レベルは前記第 3 の電力レベルよりも大きく、前記第 3 の電力レベルは前記第 1 の電力レベルよりも大きく、前記第 4 の電力レベルは前記第 1 の電力レベルと前記第 3 の電力レベルとの間のレベルである、該工程と、を含む、プラズマ処理方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】**

30

【0001】

本開示の例示的实施形態は、プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法に関するものである。

【背景技術】**【0002】**

プラズマ処理装置が基板に対する加工のために用いられている。一種のプラズマ処理装置は、チャンバ、載置台、第 1 の高周波電源、及び第 2 の高周波電源を備える。載置台は、チャンバ内で基板を支持するように構成されている。載置台は、下部電極を含む。第 1 の高周波電源は、チャンバ内でガスからプラズマを生成するための高周波電力を発生するように構成されている。第 2 の高周波電源は、プラズマからのイオンを基板に引き込むための高周波バイアス電力を発生するように構成されている。高周波バイアス電力は、下部電極に供給される。下記の特許文献 1 は、高周波電力及び高周波バイアス電力のうち少なくとも一方をパルス状の電力として供給するように構成されたプラズマ処理装置を開示している。

40

【先行技術文献】**【特許文献】****【0003】**

【文献】特開 2016 - 157735 号公報

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】**

50

【0004】

本開示は、プラズマの径方向の密度分布の均一性を高め、プラズマの密度の低下又は消失を抑制する技術を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0005】

一つの例示的实施形態において、プラズマ処理装置が提供される。プラズマ処理装置は、プラズマ処理チャンバ、基板支持器、バイアス電源、及び高周波電源を備える。基板支持器は、プラズマ処理チャンバ内に配置され、電極を含む。バイアス電源は、電極に結合され、第1の周波数を有するバイアス電力を発生するように構成されている。高周波電源は、プラズマ処理チャンバに結合され、第1の周波数よりも高い第2の周波数を有する高周波電力を発生するように構成されている。高周波電力は、バイアス電力の1周期内の第1の期間に第1の電力レベルを有し、バイアス電力の1周期内の第2の期間に第1の電力レベルよりも低い第2の電力レベルを有する。

10

【発明の効果】

【0006】

一つの例示的实施形態によれば、プラズマの径方向の密度分布の均一性を高め、プラズマの密度の低下又は消失を抑制することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理装置を概略的に示す図である。

20

【図2】一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理装置で用いられる高周波電力及び電気バイアスの一例のタイミングチャートである。

【図3】一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理装置で用いられる高周波電力及び電気バイアスの別の例のタイミングチャートである。

【図4】一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理装置で用いられる電気バイアスの更に別の例のタイミングチャートである。

【図5】別の例示的实施形態に係るプラズマ処理装置を概略的に示す図である。

【図6】図5に示すプラズマ処理装置において用いられ得る一例のエッジリングを示す図である。

【図7】エッジリングの別の例を示す図である。

30

【図8】一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理方法の流れ図である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

以下、種々の例示的实施形態について説明する。

【0009】

一つの例示的实施形態において、プラズマ処理装置が提供される。プラズマ処理装置は、プラズマ処理チャンバ、基板支持器、バイアス電源、及び高周波(RF; Radio Frequency)電源を含む。基板支持器は、プラズマ処理チャンバ内に配置され、下部電極を含む。バイアス電源は、下部電極に結合され、第1の周波数を有するバイアス電力を発生するように構成される。高周波電源は、プラズマ処理チャンバに結合され、第1の周波数よりも高い第2の周波数を有する高周波電力を発生するように構成される。一実施形態において、高周波電源は、二つの対向する電極、例えば上部電極及び下部電極のうち少なくともいずれかに結合される。高周波電力は、バイアス電力の1周期内の第1の期間に第1の電力レベルを有し、バイアス電力の1周期内の第2の期間に第1の電力レベルよりも低い第2の電力レベルを有する。バイアス電力の1周期は、第1の周波数により規定される固有周期である。即ち、固有周期は、第1の周波数の逆数である。例えば、第1の周波数が400kHzの場合、固有周期は2.5µsである。第1の期間は、第2の期間と異なる。第2の期間は、第1の期間の前であってもよく、第1の期間の後であってもよい。

40

【0010】

50

一つの例示的实施形態において、バイアス電力は、1周期内に少なくとも一つのバイアスパルスを含む。少なくとも一つのバイアスパルスは、矩形、台形、三角形、又はこれらの組み合わせのパルス波形を有してもよく、US 2018/0166249 A1に開示されているような整形(Shaped)パルス(テーラード(Tailored)パルスとも呼ばれる)を有してもよい。少なくとも一つのバイアスパルスは、正又は負の極性を有する。また、少なくとも一つのバイアスパルスは、正及び/又は負の極性を有する複数のバイアスパルスを含んでもよい。一実施形態において、バイアス電力は、1周期内に少なくとも一つの正バイアスパルスと少なくとも一つの負バイアスパルスとを含む。

【0011】

一つの例示的实施形態において、バイアス電力は、第1の周波数を有する高周波バイアス電力である。一実施形態において、バイアス電源は、高周波バイアス電力を連続的に発生するように構成される。この場合、高周波バイアス電力は、Off期間を含まない。

10

【0012】

別の例示的实施形態において、プラズマ処理装置が提供される。プラズマ処理装置は、チャンバ、基板支持器、バイアス電源、及び高周波電源を備える。基板支持器は、下部電極を含み、チャンバ内で基板を支持するように構成されている。バイアス電源は、基板にイオンを引き込むための電気バイアスを発生するように構成されており、下部電極に電氣的に接続されている。電気バイアスは、第1の周波数で規定される周期内で基板の電位を変動させる。高周波電源は、チャンバ内でガスからプラズマを生成するための第2の周波数を有する高周波電力を発生するように構成されている。高周波電源は、第1の期間において高周波電力の第1のパルスを供給し、第2の期間において高周波電力の第2のパルスを供給するように構成されている。第1の期間は、第1の周波数で規定される周期と少なくとも部分的に重複し、該周期の時間長よりも短い時間長を有する。第2の期間は、第1の周波数で規定される周期と少なくとも部分的に重複し、該周期の時間長よりも短い時間長を有する。第2のパルスは、第1のパルスの電力レベルよりも低い電力レベルを有する。

20

【0013】

高周波電力が連続的に供給される場合、即ち高周波電力の連続波が供給される場合には、チャンバ内のプラズマの密度は、中央で高くなり径方向外側において低くなる。上記実施形態では、高周波電力は、第1のパルスとして供給される。したがって、上記実施形態によれば、プラズマの径方向の密度分布の均一性が高くなる。また、上記実施形態では、第1のパルスの供給後に、比較的低い電力を有する高周波電力の第2のパルスが供給される。したがって、上記実施形態によれば、プラズマの密度の低下又は消失を抑制することが可能となる。

30

【0014】

一つの例示的实施形態において、電気バイアスは、第1の周波数で規定される周期で周期的に発生されるパルス波であってもよい。パルス波は、負の直流電圧のパルスを含む。

【0015】

一つの例示的实施形態において、第1の期間及び第2の期間の各々は、第1の周波数で規定される周期内でバイアス電源からの負の直流電圧のパルスが供給されていない期間内の期間であってもよい。この実施形態によれば、第1のパルス及び第2のパルスの各々に対する反射が低減される。

40

【0016】

一つの例示的实施形態において、高周波電源は、第1の期間と第2の期間との間の期間において、第1のパルスの電力レベル及び第2のパルスの電力レベルよりも低く、0Wよりも大きい電力レベルを有する高周波電力を供給するように構成されていてもよい。

【0017】

一つの例示的实施形態において、第1の期間は、バイアス電源からの負の直流電圧のパルスが供給されている期間と重複してもよい。第2の期間は、周期内でバイアス電源からの負の直流電圧のパルスが供給されていない期間内の期間であってもよい。

【0018】

50

一つの例示的实施形態において、高周波電源は、第1の周波数で規定される周期内の第2の期間と当該周期の終了時点との間の期間において、高周波電力を供給するように構成されていてもよい。第2の期間と当該周期の終了時点との間の期間において供給される高周波電力は、第1のパルスの電力レベル及び第2のパルスの電力レベルよりも低く、0 Wよりも大きい電力レベルを有する。

【0019】

一つの例示的实施形態において、電気バイアスは、第1の周波数を有する高周波バイアス電力であってもよい。

【0020】

一つの例示的实施形態において、プラズマ処理装置は、バイアス電源と下部電極との間で接続された整合器を更に備えていてもよい。第1のパルス及び第2のパルスは、バイアス電源に対する負荷のインピーダンスが略整合状態にあるときに供給されてもよい。

10

【0021】

更に別の例示的实施形態においては、プラズマ処理方法が提供される。プラズマ処理方法は、プラズマ処理装置のチャンバ内に設けられた基板支持器上に基板を準備する工程を含む。プラズマ処理装置は、バイアス電源及び高周波電源を備える。バイアス電源は、第1の周波数で規定される周期内で基板の電位を変動させる電気バイアスを発生するように構成されている。高周波電源は、第2の周波数を有する高周波電力を発生するように構成されている。プラズマ処理方法は、基板支持器の下部電極にバイアス電源からの電気バイアスを供給する工程を含む。プラズマ処理方法は、第1の期間において、高周波電源から高周波電力の第1のパルスを供給する工程を更に含む。第1の期間は、第1の周波数で規定される周期と少なくとも部分的に重複し、該周期の時間長よりも短い時間長を有する。プラズマ処理方法は、第1の周波数で規定される周期内の第2の期間において、高周波電源から高周波電力の第2のパルスを供給する工程を更に含む。第2の期間は、第1の周波数で規定される周期と少なくとも部分的に重複し、該周期の時間長よりも短い時間長を有する。第2のパルスは、第1のパルスの電力レベルよりも低い電力レベルを有する。

20

【0022】

以下、図面を参照して種々の例示的实施形態について詳細に説明する。なお、各図面において同一又は相当の部分に対しては同一の符号を附すこととする。

【0023】

図1は、一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理装置を概略的に示す図である。図1に示すプラズマ処理装置1は、容量結合型のプラズマ処理装置である。プラズマ処理装置1は、プラズマ処理チャンバ10を備えている。チャンバ10は、その中に内部空間10sを提供している。内部空間10sの中心軸線は、鉛直方向に延びる軸線AXである。一実施形態において、チャンバ10は、チャンバ本体12を含んでいる。チャンバ本体12は、略円筒形状を有している。内部空間10sは、チャンバ本体12の中に提供されている。チャンバ本体12は、例えばアルミニウムから構成されている。チャンバ本体12は、電氣的に接地されている。チャンバ本体12の内壁面、即ち内部空間10sを画成する壁面には、耐プラズマ性を有する膜が形成されている。この膜は、陽極酸化処理によって形成された膜又は酸化イットリウムから形成された膜といったセラミック製の膜であり得る。

30

【0024】

チャンバ本体12の側壁には通路12pが形成されている。基板Wは、内部空間10sとチャンバ10の外部との間で搬送されるときに、通路12pを通過する。この通路12pの開閉のために、ゲートバルブ12gがチャンバ本体12の側壁に沿って設けられている。

【0025】

プラズマ処理装置1は、基板支持器16を更に備える。基板支持器16は、チャンバ10の中で、その上に載置された基板Wを支持するように構成されている。基板Wは、略円盤形状を有する。基板支持器16は、支持部17によって支持されている。支持部17は

50

、チャンバ本体 12 の底部から上方に延在している。支持部 17 は、略円筒形状を有している。支持部 17 は、石英といった絶縁材料から形成されている。

【0026】

基板支持器 16 は、下部電極 18 及び静電チャック 20 を有する。下部電極 18 及び静電チャック 20 は、チャンバ 10 の中に設けられている。下部電極 18 は、アルミニウムといった導電性材料から形成されており、略円盤形状を有している。

【0027】

下部電極 18 内には、流路 18f が形成されている。流路 18f は、熱交換媒体用の流路である。熱交換媒体としては、液状の冷媒、或いは、その気化によって下部電極 18 を冷却する冷媒（例えば、フロン）が用いられる。流路 18f には、熱交換媒体の供給装置（例えば、チラーユニット）が接続されている。この供給装置は、チャンバ 10 の外部に設けられている。流路 18f には、供給装置から配管 23a を介して熱交換媒体が供給される。流路 18f に供給された熱交換媒体は、配管 23b を介して供給装置に戻される。

10

【0028】

静電チャック 20 は、下部電極 18 上に設けられている。基板 W は、内部空間 10s の中で処理されるときに、静電チャック 20 上に載置され、静電チャック 20 によって保持される。

【0029】

静電チャック 20 は、本体及び電極を有している。静電チャック 20 の本体は、酸化アルミニウム又は窒化アルミニウムといった誘電体から形成されている。静電チャック 20 の本体は、略円盤形状を有している。静電チャック 20 の中心軸線は、軸線 AX に略一致している。静電チャック 20 の電極は、本体内に設けられている。静電チャック 20 の電極は、膜形状を有している。静電チャック 20 の電極には、直流電源がスイッチを介して電氣的に接続されている。直流電源からの電圧が静電チャック 20 の電極に印加されると、静電チャック 20 と基板 W との間で静電引力が発生する。発生した静電引力により、基板 W は静電チャック 20 に引き付けられ、静電チャック 20 によって保持される。

20

【0030】

静電チャック 20 は、基板載置領域を含んでいる。基板載置領域は、略円盤形状を有する領域である。基板載置領域の中心軸線は、軸線 AX に略一致している。基板 W は、チャンバ 10 内で処理されるときには、基板載置領域の上面の上に載置される。

30

【0031】

一実施形態において、静電チャック 20 は、エッジリング載置領域を更に含んでもよい。エッジリング載置領域は、静電チャック 20 の中心軸線の周りで基板載置領域を囲むように周方向に延在している。エッジリング載置領域の上面の上には、エッジリング ER が搭載される。エッジリング ER は、環形状を有している。エッジリング ER は、軸線 AX にその中心軸線が一致するように、エッジリング載置領域上に載置される。基板 W は、エッジリング ER によって囲まれた領域内に配置される。即ち、エッジリング ER は、基板 W のエッジを囲むように配置される。エッジリング ER は、導電性を有し得る。エッジリング ER は、例えばシリコン又は炭化ケイ素から形成されている。エッジリング ER は、石英といった誘電体から形成されていてもよい。

40

【0032】

プラズマ処理装置 1 は、ガス供給ライン 25 を更に備え得る。ガス供給ライン 25 は、ガス供給機構からの伝熱ガス、例えば He ガスを、静電チャック 20 の上面と基板 W の裏面（下面）との間の間隙に供給する。

【0033】

プラズマ処理装置 1 は、絶縁領域 27 を更に備え得る。絶縁領域 27 は、支持部 17 上に配置されている。絶縁領域 27 は、軸線 AX に対して径方向において下部電極 18 の外側に配置されている。絶縁領域 27 は、下部電極 18 の外周面に沿って周方向に延在している。絶縁領域 27 は、石英といった絶縁体から形成されている。エッジリング ER は、絶縁領域 27 及びエッジリング載置領域上に載置される。

50

【 0 0 3 4 】

プラズマ処理装置 1 は、上部電極 3 0 を更に備えている。上部電極 3 0 は、基板支持器 1 6 の上方に設けられている。即ち、上部電極 3 0 は、下部電極 1 8 の上方に設けられている。上部電極 3 0 は、部材 3 2 と共にチャンバ本体 1 2 の上部開口を閉じている。部材 3 2 は、絶縁性を有している。上部電極 3 0 は、この部材 3 2 を介してチャンバ本体 1 2 の上部に支持されている。

【 0 0 3 5 】

上部電極 3 0 は、天板 3 4 及び支持体 3 6 を含んでいる。天板 3 4 の下面は、内部空間 1 0 s を画成している。天板 3 4 には、複数のガス吐出孔 3 4 a が形成されている。複数のガス吐出孔 3 4 a の各々は、天板 3 4 を板厚方向（鉛直方向）に貫通している。この天板 3 4 は、限定されるものではないが、例えばシリコンから形成されている。或いは、天板 3 4 は、アルミニウム製の部材の表面に耐プラズマ性の膜を設けた構造を有し得る。この膜は、陽極酸化処理によって形成された膜又は酸化イットリウムから形成された膜といったセラミック製の膜であり得る。

10

【 0 0 3 6 】

支持体 3 6 は、天板 3 4 を着脱自在に支持している。支持体 3 6 は、例えばアルミニウムといった導電性材料から形成されている。支持体 3 6 の内部には、ガス拡散室 3 6 a が設けられている。ガス拡散室 3 6 a からは、複数のガス孔 3 6 b が下方に延びている。複数のガス孔 3 6 b は、複数のガス吐出孔 3 4 a にそれぞれ連通している。支持体 3 6 には、ガス導入ポート 3 6 c が形成されている。ガス導入ポート 3 6 c は、ガス拡散室 3 6 a に接続している。ガス導入ポート 3 6 c には、ガス供給管 3 8 が接続されている。

20

【 0 0 3 7 】

ガス供給管 3 8 には、ガスソース群 4 0 が、バルブ群 4 1、流量制御器群 4 2、及びバルブ群 4 3 を介して接続されている。ガスソース群 4 0、バルブ群 4 1、流量制御器群 4 2、及びバルブ群 4 3 は、ガス供給部を構成している。ガスソース群 4 0 は、複数のガスソースを含んでいる。バルブ群 4 1 及びバルブ群 4 3 の各々は、複数のバルブ（例えば開閉バルブ）を含んでいる。流量制御器群 4 2 は、複数の流量制御器を含んでいる。流量制御器群 4 2 の複数の流量制御器の各々は、マスフローコントローラ又は圧力制御式の流量制御器である。ガスソース群 4 0 の複数のガスソースの各々は、バルブ群 4 1 の対応のバルブ、流量制御器群 4 2 の対応の流量制御器、及びバルブ群 4 3 の対応のバルブを介して、ガス供給管 3 8 に接続されている。プラズマ処理装置 1 は、ガスソース群 4 0 の複数のガスソースのうち選択された一以上のガスソースからのガスを、個別に調整された流量で、内部空間 1 0 s に供給することが可能である。

30

【 0 0 3 8 】

基板支持器 1 6 又は支持部 1 7 とチャンバ本体 1 2 の側壁との間には、バッフルプレート 4 8 が設けられている。バッフルプレート 4 8 は、例えば、アルミニウム製の部材に酸化イットリウム等のセラミックを被覆することにより構成され得る。このバッフルプレート 4 8 には、多数の貫通孔が形成されている。バッフルプレート 4 8 の下方においては、排気管 5 2 がチャンバ本体 1 2 の底部に接続されている。この排気管 5 2 には、排気装置 5 0 が接続されている。排気装置 5 0 は、自動圧力制御弁といった圧力制御器、及び、ターボ分子ポンプなどの真空ポンプを有しており、内部空間 1 0 s の圧力を減圧することができる。

40

【 0 0 3 9 】

プラズマ処理装置 1 は、高周波電源 6 1 を更に備えている。高周波電源 6 1 は、高周波電力 R F を発生する電源である。高周波電力 R F は、チャンバ 1 0 内のガスからプラズマを生成するために用いられる。高周波電力 R F は、第 2 の周波数を有する。第 2 の周波数は、1 3 ~ 2 0 0 M H z の範囲内の周波数、例えば 4 0 M H z 又は 6 0 M H z の周波数である。高周波電源 6 1 は、高周波電力 R F を下部電極 1 8 に供給するために、整合回路 6 3 を介して下部電極 1 8 に接続されている。整合回路 6 3 は、高周波電源 6 1 の負荷側（下部電極 1 8 側）のインピーダンスを、高周波電源 6 1 の出力インピーダンスに整合させ

50

るよう構成されている。なお、高周波電源 6 1 は、下部電極 1 8 に電氣的に接続されていなくてもよく、整合回路 6 3 を介して上部電極 3 0 に接続されていてもよい。

【 0 0 4 0 】

プラズマ処理装置 1 は、バイアス電源 6 2 を更に備えている。バイアス電源 6 2 は、下部電極 1 8 に回路 6 4 を介して接続されている。バイアス電源 6 2 は、電気バイアス（バイアス電力）E B を発生する。電気バイアス E B は、基板 W にイオンを引き込むために用いられる。電気バイアス E B は、静電チャック 2 0 上に載置された基板 W の電位を第 1 の周波数で規定される周期 C P 内で変動させるように設定されている。周期 C P は、第 1 の周波数の逆数である。第 1 の周波数は、第 2 の周波数よりも低い周波数であり得る。第 1 の周波数は、例えば 5 0 k H z 以上、2 7 M H z 以下の周波数である。

10

【 0 0 4 1 】

図 2 は、一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理装置で用いられる高周波電力及び電気バイアスの一例のタイミングチャートである。図 3 は、一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理装置で用いられる高周波電力及び電気バイアスの別の例のタイミングチャートである。一実施形態においては、図 2 又は図 3 に示すように、パルス波 P L W が、電気バイアス E B として用いられる。パルス波 P L W が電気バイアス E B として用いられる場合には、回路 6 4 は高周波電力 R F を遮断するか低減させるフィルタ回路を含む。パルス波 P L W は、パルス周期 C P で周期的に下部電極 1 8 に与えられる。パルス波 P L W は、少なくとも一つのバイアスパルスを含む。一実施形態では、パルス波 P L W は、負直流電圧パルス N P L を含む。パルス N P L も、周期 C P で周期的に下部電極 1 8 に与えられる。パルス N P L は、周期 C P 内の期間 P A において下部電極 1 8 に与えられる。周期 C P 内の期間 P A 以外の期間 P B では、パルス波 P L W の電圧レベルは、0 V であってもよい。或いは、パルス波 P L W の電圧レベルは、期間 P B においてパルス N P L の電圧の絶対値よりも小さい絶対値を有していてもよい。また、パルス波 P L W の電圧レベルは、期間 P B においてパルス N P L の電圧の値よりも小さい正の値を有していてもよい。なお、周期 C P の開始タイミング及び時間長、パルス波 P L W の電圧のレベル、並びに周期 C P において期間 P A が占める割合（即ち、デューティ比）は、後述する制御部 M C からの制御信号によりバイアス電源 6 2 に指定され得る。

20

【 0 0 4 2 】

プラズマ処理装置 1 においてプラズマエッチングが行われる場合には、内部空間 1 0 s にガスが供給される。そして、高周波電力 R F が供給されることにより、内部空間 1 0 s の中でガスが励起される。また、電気バイアス E B が下部電極 1 8 に与えられることにより、プラズマからのイオンが基板 W に引き込まれる。そして、プラズマからのイオン及び / 又はラジカルといった化学種により、基板 W が処理される。例えば、基板 W のプラズマエッチングが行われる。

30

【 0 0 4 3 】

プラズマ処理装置 1 において、高周波電源 6 1 は、図 2 又は図 3 に示すように、第 1 の期間 P 1 において、高周波電力 R F の第 1 のパルス R F P 1 を供給する。第 1 の期間 P 1 は、周期 C P の時間長よりも短い時間長を有し、周期 C P と少なくとも部分的に重複する。また、高周波電源 6 1 は、第 2 の期間 P 2 において高周波電力 R F の第 2 のパルス R F P 2 を供給する。第 2 の期間 P 2 は、第 1 の期間 P 1 とは別の期間である。第 2 の期間 P 2 は、周期 C P の時間長よりも短い時間長を有し、周期 C P と少なくとも部分的に重複する。第 2 のパルス R F P 2 の電力レベル（第 2 の電力レベル）は、第 1 のパルス R F P 1 の電力レベル（第 1 の電力レベル）よりも低い。第 1 の期間 P 1 及び第 2 の期間 P 2 並びに高周波電力 R F の電力レベルは、制御部 M C からの制御信号により高周波電源 6 1 に対して指定され得る。高周波電源 6 1 に対して指定され得る高周波電力 R F の電力レベルは、第 1 のパルス R F P 1 の電力レベル及び第 2 のパルス R F P 2 の電力レベルを含む。

40

【 0 0 4 4 】

一実施形態においては、図 2 に示すように、第 1 の期間 P 1 及び第 2 の期間 P 2 の各々は、周期 C P 内でパルス N P L が供給されていない期間（即ち、期間 P B ）内の期間であ

50

る。期間 P B では、シース（プラズマシース）の厚さが薄くなり、インピーダンスが小さくなる。したがって、第 1 のパルス R F P 1 及び第 2 のパルス R F P 2 の各々に対する反射が抑制される。この実施形態においては、図 2 に示すように、高周波電源 6 1 は、第 1 の期間 P 1 と第 2 の期間 P 2 との間の第 3 の期間 P 3 において高周波電力 R F を供給するように構成されていてもよい。期間 P 1 と期間 P 2 との間の期間 P 3 において供給される高周波電力 R F の電力レベルは、第 1 のパルス R F P 1 の電力レベル及び第 2 のパルス R F P 2 の電力レベルよりも低く、0 W よりも大きい第 3 の電力レベルを有し得る。なお、この実施形態では、期間 P A における高周波電力 R F の電力レベルは、0 W であってもよい。或いは、期間 P A における高周波電力 R F の電力レベルは、0 W よりも大きく、第 1 のパルスの電力レベル、第 2 のパルスの電力レベル、及び期間 P 3 における高周波電力 R F の電力レベルよりも低くてもよい。

10

【 0 0 4 5 】

一実施形態においては、図 3 に示すように、第 1 の期間 P 1 は、パルス N P L が供給されている期間 P A と重複する。この実施形態において、第 2 の期間 P 2 は、周期 C P 内でパルス N P L が供給されていない期間（即ち、期間 P B ）内の期間である。この実施形態においては、図 3 に示すように、高周波電源 6 1 は、第 2 の期間 P 2 とこれを含む周期 C P の終了時点（又は次の周期 C P の開始時点）との間の第 4 の期間 P 4 において、高周波電力 R F を供給するように構成されていてもよい。期間 P 2 の後の期間 P 4 において供給される高周波電力 R F の電力レベルは、第 1 のパルス R F P 1 の電力レベル及び第 2 のパルス R F P 2 の電力レベルよりも低く、0 W よりも大きい第 4 の電力レベルを有し得る。なお、この実施形態では、第 1 の期間 P 1 と第 2 の期間 P 2 との間の期間における高周波電力 R F の電力レベルは、0 W であってもよい。或いは、第 1 の期間 P 1 と第 2 の期間 P 2 との間の期間における高周波電力 R F の電力レベルは、0 W よりも大きく、第 1 のパルスの電力レベル、第 2 のパルスの電力レベル、及び期間 P 4 における高周波電力 R F の電力レベルよりも低くてもよい。

20

【 0 0 4 6 】

一実施形態において、プラズマ処理装置 1 は、図 1 に示すように、シース調整器 7 4 を更に備えていてもよい。シース調整器 7 4 は、基板 W のエッジに対するプラズマからのイオンの進行方向を垂直方向に補正するために、エッジリング E R の上方でのシースの上端位置を調整するように構成されている。シース調整器 7 4 は、エッジリング E R の上方でのシースの上端位置と基板 W の上方でのシースの上端位置との差を解消又は減少させるように、エッジリング E R の上方でのシースの上端位置を調整する。

30

【 0 0 4 7 】

一実施形態において、シース調整器 7 4 は、エッジリング E R に電圧 V_N を印加するように構成された電源である。電圧 V_N は、負の電圧であり得る。なお、電圧 V_N は、電気バイアス E B と同じ波形を有する電圧であってもよい。この実施形態において、シース調整器 7 4 は、フィルタ 7 5 及び導線 7 6 を介してエッジリング E R に接続されている。フィルタ 7 5 は、シース調整器 7 4 に流入する高周波電力を遮断するか又は低減させるためのフィルタである。

【 0 0 4 8 】

電圧 V_N のレベルは、エッジリング E R の上方でのシースの上端位置の調整量を定める。エッジリング E R の上方でのシースの上端位置の調整量、即ち電圧 V_N のレベルは、エッジリング E R の厚さを表すパラメータに応じて決定される。このパラメータは、光学的又は電氣的に測定されるエッジリング E R の厚さの測定値、光学的又は電氣的に測定されるエッジリング E R の上面の鉛直方向における位置、又はエッジリング E R がプラズマに晒された時間長であり得る。電圧 V_N のレベルは、かかるパラメータと電圧 V_N のレベルとの間の所定の関係を用いて決定される。例えば、パラメータと電圧 V_N のレベルとの間の所定の関係は、エッジリング E R の厚さが減少すると電圧 V_N の絶対値が増加するように、予め定められている。この関係は、関数又はテーブル形式のデータとして後述する制御部 M C の記憶装置に記憶されている。電圧 V_N のレベルは、制御部 M C によって決定さ

40

50

れて、シース調整器 7 4 に対して指定される。決定されたレベルを有する電圧 V_N がシース調整器 7 4 によってエッジリング E R に印加されると、エッジリング E R の上方でのシースの上端位置と基板 W の上方でのシースの上端位置との差が解消又は減少される。

【 0 0 4 9 】

なお、シース調整器 7 4 によってエッジリング E R に印加される電圧は、直流電圧又は高周波電圧であり得る。エッジリング E R に印加される電圧は、電気バイアス E B と同じ波形を有する電圧であってもよい。シース調整器 7 4 によってエッジリング E R に印加される電圧は、パルス状の高周波電圧又はパルス状の直流電圧であってもよい。即ち、電圧 V_N は、周期的にエッジリング E R に印加されてもよい。電圧 V_N は、例えば、周期 C P 内の期間 P A において又は期間 P A と重複する期間において、エッジリング E R に印加されてもよい。電圧 V_N としてパルス状の直流電圧が周期的にエッジリング E R に印加される場合には、電圧 V_N がエッジリング E R に印加されている期間において、電圧 V_N のレベルが変化してもよい。

10

【 0 0 5 0 】

制御部 M C は、プロセッサ、記憶装置、入力装置、表示装置等を備えるコンピュータであり、プラズマ処理装置 1 の各部を制御する。制御部 M C は、記憶装置に記憶されている制御プログラムを実行し、当該記憶装置に記憶されているレシピデータに基づいてプラズマ処理装置 1 の各部を制御する。制御部 M C による制御により、レシピデータによって指定されたプロセスがプラズマ処理装置 1 において実行される。後述する例示的实施形態に係るプラズマ処理方法は、制御部 M C によるプラズマ処理装置 1 の各部の制御により、プラズマ処理装置 1 において実行され得る。

20

【 0 0 5 1 】

高周波電力 R F が連続的に供給される場合、即ち高周波電力 R F の連続波が供給される場合には、チャンバ 1 0 内のプラズマの密度は、中央（即ち、軸線 A X 上の位置及びその近傍）で高くなり径方向外側において低くなる。プラズマ処理装置 1 では、高周波電力 R F は、第 1 のパルス R F P 1 として供給される。したがって、プラズマ処理装置 1 によれば、プラズマの径方向の密度分布の均一性が高くなる。また、プラズマ処理装置 1 では、第 1 のパルス R F P 1 の供給後に、比較的低い電力を有する高周波電力 R F の第 2 のパルス R F P 2 が供給される。したがって、プラズマ処理装置 1 によれば、プラズマの密度の低下又は消失を抑制することが可能となる。

30

【 0 0 5 2 】

以下、図 4 を参照する。図 4 は、一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理装置で用いられる電気バイアスの更に別の例のタイミングチャートである。図 4 に示すように、プラズマ処理装置 1 のバイアス電源 6 2 は、電気バイアス E B として、高周波（R F）バイアス電力を下部電極 1 8 に供給してもよい。高周波バイアス電力は、上述した第 1 の周波数を有する。この実施形態において、回路 6 4 は、整合回路であり、バイアス電源 6 2 の負荷側（下部電極 1 8 側）のインピーダンスを、バイアス電源 6 2 の出力インピーダンスと整合させるように構成されている。

【 0 0 5 3 】

高周波バイアス電力が電気バイアス E B として用いられる場合には、第 1 のパルス R F P 1 及び第 2 のパルス R F P 2 の各々は、バイアス電源 6 2 に対する負荷のインピーダンスが略整合状態にあるときに、供給され得る。即ち、第 1 の期間 P 1 及び第 2 の期間 P 2 の各々は、周期 C P 内においてバイアス電源 6 2 に対する負荷のインピーダンスがバイアス電源 6 2 の出力インピーダンスに対して略整合状態にある期間と重複し得る。なお、バイアス電源 6 2 に対する負荷は、チャンバ 1 0 内で生成されるプラズマを含む。

40

【 0 0 5 4 】

以下、図 5 及び図 6 を参照する。図 5 は、別の例示的实施形態に係るプラズマ処理装置を概略的に示す図である。図 6 は、図 5 に示すプラズマ処理装置において用いられ得る一例のエッジリングを示す図である。図 5 に示すプラズマ処理装置 1 B は、エッジリング E R ではなくエッジリング E R B を用いる点で、プラズマ処理装置 1 と異なっている。また

50

、プラズマ処理装置 1 B は、シース調整器 7 4 ではなく、シース調整器 7 4 B を備えている点で、プラズマ処理装置 1 と異なっている。その他の点において、プラズマ処理装置 1 B の構成は、プラズマ処理装置 1 の構成と同一であり得る。

【 0 0 5 5 】

図 6 に示すように、エッジリング E R B は、第 1 環状部 E R 1 及び第 2 環状部 E R 2 を有している。第 1 環状部 E R 1 及び第 2 環状部 E R 2 は、互いから分離されている。第 1 環状部 E R 1 は、環状且つ板状をなしており、軸線 A X の周りで延在するようにエッジリング載置領域上に載置される。基板 W は、そのエッジが第 1 環状部 E R 1 の上又は上方に位置するように基板載置領域上に載置される。第 2 環状部 E R 2 は、環状且つ板状をなしており、軸線 A X の周りで延在するようにエッジリング載置領域上に載置される。第 2 環状部 E R 2 は、径方向において第 1 環状部 E R 1 の外側に位置している。

10

【 0 0 5 6 】

シース調整器 7 4 B は、第 2 環状部 E R 2 の上面の鉛直方向における位置を調整するために第 2 環状部 E R 2 を上方に移動させるように構成されている。一例において、シース調整器 7 4 B は、駆動装置 7 4 a 及びシャフト 7 4 b を含む。シャフト 7 4 b は、第 2 環状部 E R 2 を支持しており、第 2 環状部 E R 2 から下方に延在している。駆動装置 7 4 a は、シャフト 7 4 b を介して第 2 環状部 E R 2 を鉛直方向に沿って移動させるための駆動力を発生するように構成されている。

【 0 0 5 7 】

シース調整器 7 4 B は、基板 W のエッジに対するプラズマからのイオンの進行方向を垂直方向に補正するために、エッジリング E R B の上方でのシースの上端位置の調整量、即ち第 2 環状部 E R 2 の上面の鉛直方向における位置を調整するように構成されている。シース調整器 7 4 B は、第 2 環状部 E R 2 の上面の鉛直方向における位置を静電チャック 2 0 上での基板 W の上面の鉛直方向における位置に一致させるように、第 2 環状部 E R 2 を鉛直方向に沿って移動させる。

20

【 0 0 5 8 】

エッジリング E R B の上方でのシースの上端位置の調整量、即ち第 2 環状部 E R 2 の移動量は、エッジリング E R B の厚さ、即ち第 2 環状部 E R 2 の厚さを反映するパラメータに応じて決定される。このパラメータは、光学的又は電氣的に測定される第 2 環状部 E R 2 の厚さの測定値、光学的又は電氣的に測定される第 2 環状部 E R 2 の上面の鉛直方向における位置、又はエッジリング E R B がプラズマに晒された時間長であり得る。第 2 環状部 E R 2 の移動量は、かかるパラメータと第 2 環状部 E R 2 の移動量との間の所定の関係を用いて決定される。例えば、パラメータと第 2 環状部 E R 2 の移動量との間の所定の関係は、第 2 環状部 E R 2 の厚さが減少すると第 2 環状部 E R 2 の移動量が増加するように、予め定められている。決定された移動量だけ第 2 環状部 E R 2 が上方に移動されると、エッジリング E R B 上でのシースの上端位置と基板 W の上方でのシースの上端位置との差が解消又は減少される。

30

【 0 0 5 9 】

プラズマ処理装置 1 B において、制御部 M C は、上述したように第 2 環状部 E R 2 の移動量を決定し得る。上述したパラメータと第 2 環状部 E R 2 の移動量との間の所定の関係は、関数又はテーブル形式のデータとして、制御部 M C の記憶装置に格納されていてもよい。制御部 M C は、決定した移動量だけ第 2 環状部 E R 2 を上方に移動させるよう、シース調整器 7 4 B を制御し得る。

40

【 0 0 6 0 】

図 7 は、エッジリングの別の例を示す図である。図 7 に示すエッジリング E R B では、第 1 環状部 E R 1 は、内周部及び外周部を有している。内周部の上面の鉛直方向における位置は、外周部の上面の鉛直方向における高さ方向の位置よりも低い。基板 W は、そのエッジが第 1 環状部 E R 1 の内周部上に位置するように基板載置領域上に載置される。第 2 環状部 E R 2 は、基板 W のエッジを囲むように、第 1 環状部 E R 1 の内周部上に配置される。即ち、図 7 に示すエッジリング E R B では、第 2 環状部 E R 2 は、第 1 環状部 E R 1

50

の外周部の内側に配置される。図 7 に示すエッジリング E R B が用いられる場合には、シース調整器 7 4 B のシャフト 7 4 b は、第 1 環状部 E R 1 の内周部に形成された貫通孔を通過して、第 2 環状部 E R 2 の下面に到達し得る。

【 0 0 6 1 】

以下、図 8 を参照する。図 8 は、一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理方法の流れ図である。図 8 に示すプラズマ処理方法（以下、「方法 M T」という）は、上述したプラズマ処理装置 1、プラズマ処理装置 1 B といった種々の実施形態に係るプラズマ処理装置の何れかを用いて実行される。

【 0 0 6 2 】

方法 M T は、工程 S T 1 で開始する。工程 S T 1 では、チャンバ 1 0 内に基板 W が準備される。チャンバ 1 0 内で、基板 W は、静電チャック 2 0 上に載置される。方法 M T の工程 S T 2、工程 S T 3、及び工程 S T 4 は、基板 W が静電チャック 2 0 上に載置された状態で実行される。方法 M T では、ガスがガス供給部からチャンバ 1 0 内に供給される。そして、チャンバ 1 0 内の圧力が指定された圧力に排気装置 5 0 によって設定される。

10

【 0 0 6 3 】

工程 S T 2 では、電気バイアス E B が下部電極 1 8 に供給される。工程 S T 3 では、高周波電力 R F の第 1 のパルス R F P 1 が、第 1 の期間 P 1 において供給される。工程 S T 4 では、高周波電力 R F の第 2 のパルス R F P 2 が、第 2 の期間 P 2 において供給される。

【 0 0 6 4 】

工程 S T 5 では、終了条件が満たされるか否かが判定される。終了条件は、周期 C P の繰り返し回数が所定回数に達している場合に満たされる。工程 S T 5 において終了条件が満たされないと判定されると、工程 S T 2、工程 S T 3、及び工程 S T 4 が再び実行される。一方、工程 S T 5 において終了条件が満たされていると判定されると、方法 M T の実行が終了する。

20

【 0 0 6 5 】

以上、種々の例示的实施形態について説明してきたが、上述した例示的实施形態に限定されることなく、様々な追加、省略、置換、及び変更がなされてもよい。また、異なる実施形態における要素を組み合わせることで他の実施形態を形成することが可能である。

【 0 0 6 6 】

別の実施形態において、プラズマ処理装置は、誘導結合型プラズマ処理装置、E C R（電子サイクロトロン共鳴）プラズマ処理装置、マイクロ波といった表面波を用いてプラズマを生成するプラズマ処理装置であってもよい。

30

【 0 0 6 7 】

以上の説明から、本開示の種々の実施形態は、説明の目的で本明細書で説明されており、本開示の範囲及び主旨から逸脱することなく種々の変更をなし得ることが、理解されるであろう。したがって、本明細書に開示した種々の実施形態は限定することを意図しておらず、真の範囲と主旨は、添付の特許請求の範囲によって示される。

【 符号の説明 】

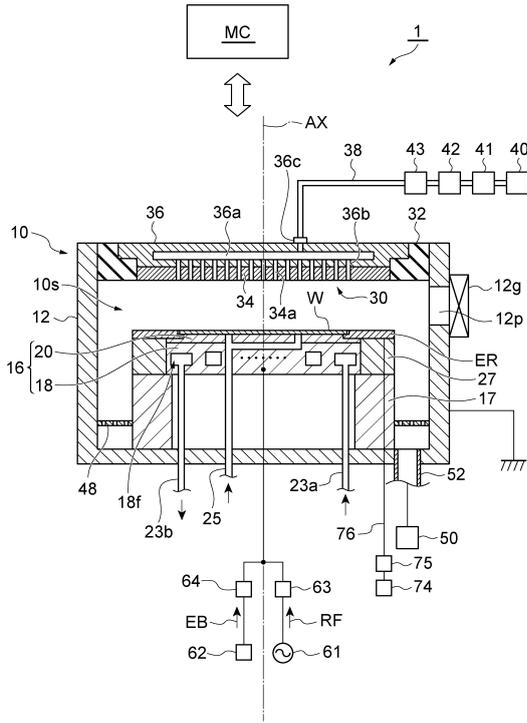
【 0 0 6 8 】

1 ... プラズマ処理装置、1 0 ... チャンバ、1 6 ... 基板支持器、1 8 ... 下部電極、6 1 ... 高周波電源、6 2 ... バイアス電源。

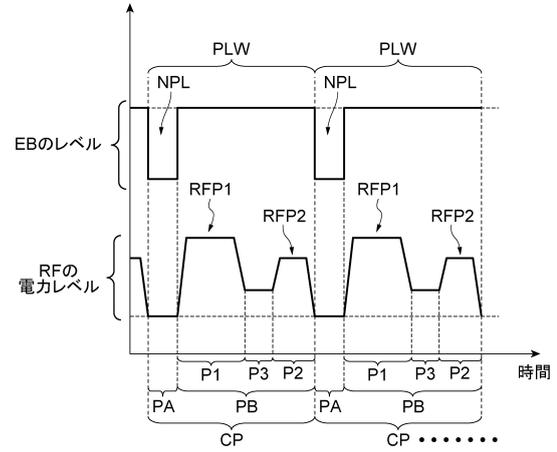
40

【図面】

【図1】



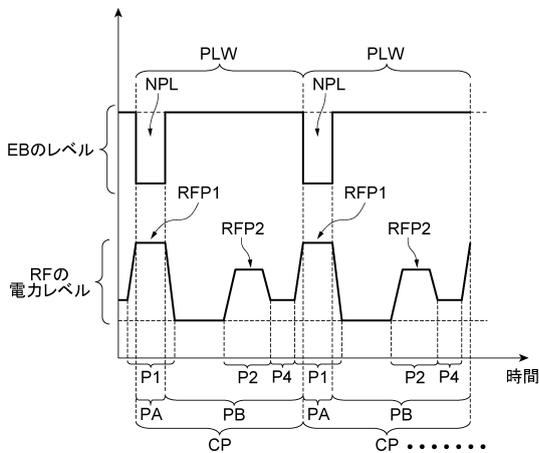
【図2】



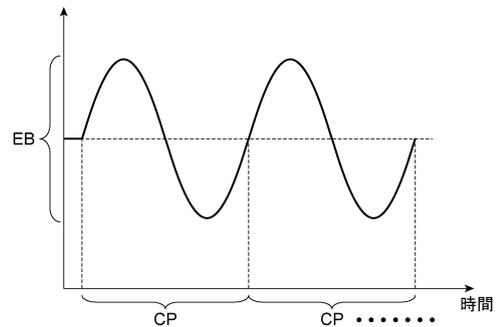
10

20

【図3】



【図4】



30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類 F I
H 0 5 H 1/46 M

(56)参考文献 特表 2 0 1 3 - 5 3 5 0 7 4 (J P , A)
特開 2 0 2 0 - 0 0 4 7 1 0 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
H 0 5 H 1 / 0 0 - 1 / 5 4
H 0 1 L 2 1 / 3 0 6 5
H 0 1 L 2 1 / 3 1