

①

## (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11月13日 i3.II.2014)

W I P O | P C T

(10) 国際公開番号

WO 2014/181837 A1

- (51) 国際特許分類 :  
H01L 21/027 (2006.01) G03F 7/38 (2006.01)
- (21) 国際出願番号 : PCT/JP2014/062384
- (22) 国際出願日 : 2014年5月8日 (08.05.2014)
- (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 2013-100693 2013年5月10日 (10.05.2013) 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 : 福岡 哲夫 (FUKUOKA Tetsuo); 〒8611116 熊本県合志市福原1-1 東京エレクトロン九州株式会社内 Kumamoto (JP). 木村 義雄 (KIMURA Yoshio); 〒8611116 熊本県合志市福原1-1 東京エレクトロン九州株式会社内 Kumamoto (JP). 白石 豪介 (HIRAISHI Gousuke); 〒8611116 熊本県合志市福原1-1 東京エレクトロン九州株式会社内 Kumamoto (JP).

(74) 代理人 : 勝沼 宏仁, 外 (KATSUNUMA Hirohito et al); 〒1000005 東京都千代田区丸の内1丁目6番6号 日本生命丸の内ビル 協和特許法律事務所 Tokyo (JP).

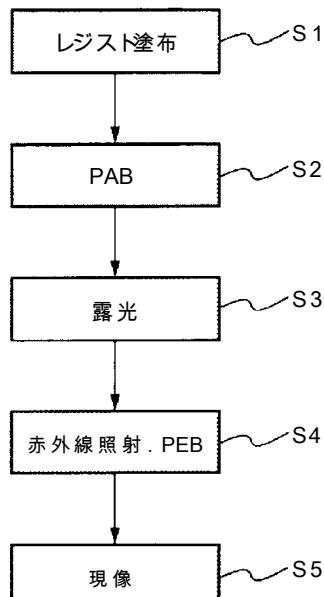
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可<sup>能</sup>): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, 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<sup>能</sup>): 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

[続葉有]

(54) Title: RESIST PATTERN FORMING METHOD, COATING AND DEVELOPING DEVICE, AND STORAGE MEDIUM

(54) 発明の名称 : レジストパターン形成方法、塗布、現像装置及び記憶媒体



- S 1 Resist coating  
S 3 Exposure  
S 4 Infrared light irradiation, PEB  
S 5 Development

(57) ADAbstract: This resist pattern forming method comprises: a step for coating a substrate with a chemically amplified resist; a subsequent step for forming a latent image of a pattern by exposing the resist film on the substrate; a subsequent step for irradiating the exposed resist film selectively with infrared light from a first heating source having a wavelength of 2.0-6.0  $\mu\text{m}$ ; a subsequent step for heating the substrate by means of a second heating source that is different from the first heating source for the purpose of diffusing an acid that is produced in the resist film by exposure; and a subsequent step for forming a pattern of the resist film by supplying a developer liquid to the substrate. Consequently, roughening of side walls of the resist pattern can be suppressed.

(57) 要約 : レジストパターン形成方法は、基板に化学增幅型のレジストを塗布する工程と、その後に前記基板上のレジスト膜を露光してパターンの潜像を形成する工程と、その後に露光後のレジスト膜に、第1の加熱源から波長が2.0  $\mu\text{m}$ ~6.0  $\mu\text{m}$ の赤外線を選択的に照射する工程と、その後に露光により生じたレジスト膜中の酸を拡散させるために、前記第1の加熱源とは異なる第2の加熱源により、前記基板を加熱する工程と、その後に、基板に現像液を供給して前記レジスト膜にパターンを形成する工程と、を備える。これにより、レジストパターンの側壁の荒れを抑えることができる。

W 2014/181837 1



(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML,  
MR, NE, SN, TD, TG). 添付公開書類：  
- 國際調査報告 (条約第 21 条(3))

## 明 紹 書

## 発明の名称 :

レジス トパ テーン形成方法、塗布、現像装置及び記憶媒体

## 技術分野

[0001] 本発明は、基板にレジス ト塗布を行い、その基板を現像するレジス トパ テーン形成方法、塗布、現像装置、及び当該装置に用いられるコンピュータプロ グラムを格納した記憶媒体に関する。

## 背景技術

[0002] 半導体デバイスや L C D 基板等の製造プロセスにおいては、基板例えは半導体ウェハ(以下「ウェハ」という)表面にレジス ト膜を形成して露光した後、現像処理を行うことにより、前記レジス ト膜のパターンマスクを形成することが行われている。しかし、このパターンマスクにおけるレジス トパ テーンの側壁には荒れが存在しており、それによってパターンの線幅にバラッキが生じている。後の工程でエッチング処理を行うときに、この荒れ具合が大きいと、レジス ト膜の下層の膜におけるパターン線幅に悪影響を及ぼすおそれがある。

[0003] また、前記露光を行う露光装置では、微細なパターンを形成するために波長が比較的短い極端紫外光(E U V :ext reme ultrav iolet)を用いることが検討されている。このE U Vは、それまで当該露光装置に用いられていたA r F(フッ化アルゴン)エキシマレーザーなどに比べて減衰が起こりやすい。そのため、露光エネルギーが低くても高い解像度でレジス トパターンを形成する手法が求められている。

[0004] 特許文献1には、赤外線を放射する加熱ランプを備え、熱板に載置前の露光後のウェハの半面に赤外線を照射し、ウェハの面内に温度分布を形成する加熱装置について記載されている。また、特許文献2にはシリコンであるウェハを加熱するために波長0.85 μm～1.1 μmの範囲の波長の赤外線を照射してPEBを行う加熱装置について記載されている。しかし、これら特許

文献 1、2 は、上記の問題を解決できるものではない。

## 先行技術文献

### 特許文献

[0005] 特許文献1 :特開2008-177300号公報

特許文献2 :特開2011-165693号公報

### 発明の概要

[0006] 本発明の目的は、レジストパターンの側壁の荒れを抑える技術を提供することである。

[0007] 本発明の好適な一実施形態に係るレジストパターン形成方法は、基板に化学增幅型のレジストを塗布する工程と、前記レジストを塗布する工程の後に、前記基板上に形成されたレジスト膜を露光してパターンの潜像を形成する工程と、前記レジスト膜を露光する工程の後に、前記レジスト膜に、第1の加熱源から波長が $2.0\text{ }\mu\text{m} \sim 6.0\text{ }\mu\text{m}$ の赤外線を選択的に照射する工程と、前記赤外線をレジスト膜に照射する工程の後に、露光により生じたレジスト膜中の酸を拡散させるために、前記第1の加熱源とは異なる第2の加熱源により、前記基板を加熱する工程と、前記基板を加熱する工程の後に、基板に現像液を供給して前記レジスト膜にパターンを形成する工程と、を備えたことを特徴とする。

[0008] 本発明の他の好適な一実施形態に係るレジストパターン形成方法は、基板にレジストを塗布する工程と、前記レジストを塗布する工程の後に、前記基板上に形成されたレジスト膜に、第1の加熱源から波長が $2.0\text{ }\mu\text{m} \sim 6.0\text{ }\mu\text{m}$ の赤外線を選択的に照射するとともに、前記レジスト膜を乾燥させるために、前記第1の加熱源とは異なる第2の加熱源により、前記赤外線が照射されている基板を加熱する工程と、前記基板に赤外線を照射するとともに前記赤外線が照射されている基板を加熱する工程の後に、前記基板上のレジスト膜を露光してパターンの潜像を形成する工程と、前記レジスト膜を露光する工程の後に、露光後の基板を加熱する工程と、前記露光後の基板を加熱する工程の後に、基板に現像液を供給して前記レジスト膜にパターンを形成

する工程と、を備えたことを特徴とする。

[0009] 露光後の化学增幅型のレジスト膜に第1の加熱源から波長が2.0μm～6.0μmの赤外線を選択的に照射し、続いて第2の加熱源により加熱することにより、後の評価試験で示すように、レジストパターンの側壁の荒れが抑えられる。そして、パターンを解像するために、露光領域に供給する露光エネルギーを低減化させることができる。これは、上記の波長の赤外線により、露光により発生した酸がレジスト膜内を流動したことによると考えられる。

また、露光前のレジスト膜に第1の加熱源から波長が2.0μm～6.0μmの赤外線を選択的に照射しているときに、第2の加熱源により基板を加熱して、レジスト膜を乾燥させることによって、後の評価試験で示すように、レジストパターンの側壁の荒れが抑えられる。これは、上記の波長の赤外線により、第2の加熱源に起因するレジスト膜の温度分布のばらつきが抑えられ、レジストの粒子の凝集が防がれたためであると考えられる。

## 図面の簡単な説明

[0010] [図1]本発明の塗布、現像方法を行う塗布、現像装置の平面図である。

[図2]前記塗布、現像装置の概略斜視図である。

[図3]前記塗布、現像装置の概略縦断側面図である。

[図4]前記塗布、現像装置に設けられる加熱モジュールの縦断側面図である。

[図5]前記加熱モジュールの横断平面図である。

[図6]第1の実施形態に係るウェハの処理のフロー図である。

[図7]レジスト膜の状態を示す模式図である。

[図8]レジスト膜の状態を示す模式図である。

[図9]レジスト膜の状態を示す模式図である。

[図10]レジスト膜の状態を示す模式図である。

[図11]レジスト膜の状態を示す模式図である。

[図12]レジスト膜の状態を示す模式図である。

[図13]赤外線を照射しない場合のレジスト膜の状態を示す模式図である。

[図14] 赤外線を照射しない場合のレジスト膜の状態を示す模式図である。

[図15] 加熱モジュールの作用図である。

[図16] 加熱モジュールの作用図である。

[図17] 加熱モジュールの作用図である。

[図18] 第2の実施形態に係るウェハの処理のフロー図である。

[図19] 赤外線を照射しない場合のレジスト膜の状態を示す模式図である。

[図20] 赤外線を照射しない場合のレジストパターンの模式図である。

[図21] レジスト膜の状態を示す模式図である。

[図22] レジストパターンの模式図である。

[図23] 対照試験により形成されたレジストパターンの模式図である。

[図24] 評価試験により形成されたレジストパターンの模式図である。

[図25] 評価試験により形成されたレジストパターンの模式図である。

[図26] 評価試験により形成されたレジストパターンの模式図である。

[図27] 評価試験の結果を示すグラフである。

[図28] 評価試験の結果を示すグラフである。

## 発明を実施するための形態

### [0011] (第1の実施形態)

本発明の第1の実施形態に係るレジストパターン形成方法を実行するための、塗布、現像装置1について説明する。図1、図2、図3は、夫々当該塗布、現像装置1の平面図、斜視図、概略縦断側面図である。この塗布、現像装置1は、キャリアプロックD1と、処理プロックD2と、インターフェイスプロックD3と、を直線状に接続して構成されている。インターフェイスプロックD3にはさらに露光装置D4が接続されている。以降の説明では、プロックD1～D3の配列方向(図1中Y方向)を前後方向とする。キャリアプロックD1は、ウェハWを複数枚含むキャリアCを塗布、現像装置1に搬入出する役割を有し、キャリアCの載置台11と、開閉部12と、開閉部12を介してキャリアCからウェハWを搬送するための移載機構13とを備えている。

[001 2] 処理 プロック D 2 は、ウェハ W に液処理を行う第 1 ～ 第 6 の単位 プロック E 1 ～ E 6 が、下から順に積層されて構成されている。説明の便宜上 ウェハ W に下層側の反射防止膜を形成する処理を「B C T」、ウェハ W にレジスト膜を形成する処理を「C O T」、露光後のウェハ W にレジストパターンを形成するための処理を「D E V」と夫々表現する場合がある。この例では、図 2 に示すように下から B C T 層、C O T 層、D E V 層が 2 層ずつ積み上げられている。同じ単位 プロックにおいて互いに並行してウェハ W の搬送及び処理が行われる。

[001 3] ここでは単位 プロックのうち、代表して単位 プロック E 5 を、図 1 を参照しながら説明する。キャリア プロック D 1 からインターフェイス プロック D 3 へ向かう搬送領域 14 の左右の一方側には棚ユニット U が設けられている。この棚ユニット U は、例えば上下に 2 段に積層された加熱モジュールの積層体を、前後方向に 6 つ配列して構成されている。前記加熱モジュールのうち、P E B (Post Exposure Bake) と呼ばれる露光後、現像前のウェハ W に対する加熱処理を行う加熱モジュールを 2 、現像後のウェハ W の加熱処理を行う加熱モジュールを 2 0 で示している。加熱モジュール 2 の構成については後述する。加熱モジュール 2 0 は、後述の赤外線ランプ及びフィルタが設けられないことを除いて、加熱モジュール 2 と略同様に構成される。

[0014] 前記搬送領域 14 の左右の他方側には、現像モジュール 3 が前後方向に 2 つ配列されて設けられている。各現像モジュール 3 は、前後方向に配列されたカップ 3 1 、3 1 を備えており、カップ 3 1 内のチャック 3 2 にウェハ W が載置される。カップ 3 1 、3 1 間を図示しないノズルが移動し、ノズルから各カップ 3 1 内のウェハ W 表面に現像液を供給して、ウェハ W 表面のレジスト膜の現像が行われる。

[001 5] 前記搬送領域 14 には、ウェハ W の搬送機構である搬送アーム F 5 が設けられている。搬送アーム F 5 は、カップ 3 1 と、加熱モジュール 2 と、後述のタワー T 1 、T 2 において単位 プロック E 5 の高さに設けられる受け渡しモジュール T R Sとの間でウェハ W を受け渡すことができる。

[001 6] 単位プロックE6は、単位プロックE5と同様の構成である。単位プロックE1、E2は、現像モジュール3の代わりに反射防止膜形成モジュールが設けられること、棚ユニットUの加熱モジュールが全て加熱モジュール20により構成されること、を除いて単位プロックE5と同様の構成である。反射防止膜形成モジュールについては、ノズルから現像液の代わりに反射防止膜形成用の薬液が供給されることを除いて、現像モジュール3と同様の構成である。

[001 7] 単位プロックE3、E4においては、現像モジュール3の代わりにレジスト塗布モジュールが設けられる。このレジスト塗布モジュールは、現像液の代わりにノズルから化学增幅型且つポジ型のレジストが供給されることを除いて、現像モジュール3と同様の構成である。また、単位プロックE3、E4の棚ユニットUの加熱モジュールは、この第1の実施形態においては、全て加熱モジュール20により構成される。このような差異を除いて単位プロックE3、E4は、単位プロックE5と同様の構成である。単位プロックE3、E4の加熱モジュール20は、ウェハWに形成されたレジスト膜に含まれる溶剤を、ウェハWを加熱することにより揮発させて除去し、それによつて、当該レジスト膜を乾燥させる露光前の加熱処理(Pre applied Bake PAB)を行う。また、図3では、単位プロックE5の搬送アームF5に相当する、各単位プロックE1～E4及びE6の搬送アームをF1～「4及び「6として示している。

[001 8] 処理プロックD2におけるキャリアプロックD1側には、各単位プロックE1～E6に跨って上下に伸びるタワーT1と、タワーT1に対してウェハWの受け渡しを行うための昇降自在な受け渡し機構である受け渡しアーム15とが設けられている。タワーT1は、互いに積層された複数のモジュールにより構成されており、単位プロックE1～E6の各高さに設けられるモジュールは、当該単位プロックE1～E6の各搬送アームF1～F6との間でウェハWを受け渡すことができる。これらのモジュールとしては、実際には各単位プロックの高さ位置に設けられた受け渡しモジュールTRS、ウェハ

w の温度調整を行う温調モジュール、複数枚のウェハWを一時的に保管するバッファモジュール、及びウェハWの表面を疎水化する疎水化処理モジュールなどが含まれている。説明を簡素化するために、前記疎水化処理モジュール、温調モジュール、前記バッファモジュールについての図示は省略している。

[0019] インターフェイスプロックD3は、単位プロックE1～E6に跨って上下に伸びるタワーT2、T3、T4を備えており、タワーT2とタワーT3に対してウェハWの受け渡しを行うための昇降自在な受け渡し機構であるインターフェイスアーム16と、タワーT2とタワーT4に対してウェハWの受け渡しを行うための昇降自在な受け渡し機構であるインターフェイスアーム17と、タワーT2と露光装置D4の間でウェハWの受け渡しを行うためのインターフェイスアーム18が設けられている。

[0020] タワーT2は、受け渡しモジュールTRS、露光処理前の複数枚のウェハWを格納して滞留させるバッファモジュール、露光処理後の複数枚のウェハWを格納するバッファモジュール、及びウェハWの温度調整を行う温調モジュールなどが互いに積層されて構成されているが、ここでは、バッファモジュール及び温調モジュールの図示は省略する。この塗布、現像装置1においては、ウェハWが載置される場所をモジュールと記載する。なお、タワーT3、T4にも夫々モジュールが設けられているが、ここでは説明を省略する。例えば露光装置D4は、所定のパターンに沿って開口部が形成されたマスクを介してウェハWのレジスト膜を露光する。

[0021] 続いて、PEBを行う加熱モジュール2の構成について、図4の縦断側面図及び図5の横断平面図を用いて説明する。図中21は筐体であり、搬送領域14に面するようにウェハWの搬送口22を備えている。図中23は、搬送口22を開閉するシャツタである。図中24は水平な冷却プレートであり、図示しない駆動機構により筐体21内を、搬送口22に対して進退自在に構成される。冷却プレート24には、図示しない冷却水の流路が形成され、加熱処理後に冷却プレート24に載置されたウェハWが冷却される。搬送ア

ームF5(F6)の昇降動作により、冷却プレート24と前記搬送アームF5(F6)との間でウェハWが受け渡される。

[0022] 筐体21内の奥側には、ウェハWが載置される熱板(加熱プレート)25が設けられている。図中26はヒータであり、熱板25を加熱する。ウェハWは、冷却プレート24から所定の温度に加熱された熱板25に受け渡されて、加熱処理される。この例では、熱板25は第2の加熱源を構成する。図中27は昇降ピンであり、昇降機構28により昇降し、熱板25と、熱板25上に移動した冷却プレート24との間でウェハWを受け渡す。

[0023] 热板25の上方には、赤外線の照射部である赤外線ランプ34が、例えば複数設けられている。赤外線ランプ34は、赤外線、即ち波長が $0.75\mu m \sim 1mm$ の光をウェハWに照射するように構成されている。図中35は、赤外線ランプ34の側周及び上側を被覆するカバーであり、その内周面は赤外線ランプ34からの赤外線を反射させて、下方に照射する。赤外線ランプ34の下方にはフィルタ36が設けられている。フィルタ36は、例えば板状のガラスと、アンチモンドープ酸化スズからなる膜とを積層して構成され、熱板24に載置されたウェハW全体を覆うように形成されている。そして、赤外線ランプ34からウェハWに向けて照射された赤外線について、その波長が $2.0\mu m \sim 6.0\mu m$ である赤外線は透過させ、 $2.0\mu m \sim 6.0\mu m$ 以外の波長の赤外線については遮断するように、フィルタ36が構成されている。このように $2.0\mu m \sim 6.0\mu m$ の波長の赤外線を、選択的にウェハWに照射できる構成とする理由については後述する。フィルタ36と赤外線ランプ34とは、第1の加熱源を構成する。

[0024] 塗布、現像装置1には、コンピュータからなる制御部10が設けられる。制御部10は、不図示のプログラム格納部を有している。このプログラム格納部には、後述の作用で説明する塗布、現像処理が行われるように命令が組まれた例えばソフトウェアからなるプログラムが格納される。このプログラムが制御部10に読み出されることで、制御部10は塗布、現像装置1の各部に制御信号を出力し、各搬送アームの動作、各モジュールにおけるウェハ

の処理、ウェハへの現像液及びレジストの供給などを制御して、後述のようにウェハWに塗布、現像処理を行うことができる。このプログラムは、例えばハードディスク、コンパクトディスク、マグネットオプティカルディスクまたはメモリードなどの記憶媒体に収納された状態でプログラム格納部に格納される。

- [0025] 図6は、この塗布、現像装置1及び露光装置D4からなるシステムのウェハWの処理工程の概略を示したフロー図である。この図6及び上記の図1、図3を参照しながら、塗布、現像装置1におけるウェハWの搬送経路について説明する。ウェハWは、キャリアCから移載機構13により、処理プロックD2におけるタワーT1の受け渡しモジュールTRS0に搬送される。
- [0026] この受け渡しモジュールTRS0からウェハWは、単位プロックE1、E2に振り分けられて搬送される。例えばウェハWを単位プロックE1に受け渡す場合には、タワーT1の受け渡しモジュールTRSのうち、単位プロックE1に対応する受け渡しモジュールTRS1(搬送アームF1によりウェハWの受け渡しが可能な受け渡しモジュール)に対して、前記TRS0からウェハWが受け渡される。またウェハWを単位プロックE2に受け渡す場合には、タワーT1の受け渡しモジュールTRSのうち、単位プロックE2に対応する受け渡しモジュールTRS2に対して、前記TRS0からウェハWが受け渡される。これらのウェハWの受け渡しは、受け渡しアーム15により行われる。
- [0027] このように振り分けられたウェハWは、TRS1(TRS2)→反射防止膜形成モジュール→加熱モジュール20→TRS1(TRS2)の順に搬送され、続いて受け渡しアーム15により単位プロックE3に対応する受け渡しモジュールTRS3と、単位プロックE4に対応する受け渡しモジュールTRS4とに振り分けられる。
- [0028] このようにTRS3、TRS4に振り分けられたウェハWは、TRS3(TRS4)からレジスト塗布モジュールに搬送されて、前記反射防止膜上にレジストが塗布され、ウェハW表面にレジスト膜が形成される(図6中、ス

ステップS 1)。その後、ウェハWは、加熱モジュール20に搬送され、当該加熱モジュール20の熱板25上に載置されて、加熱処理(PAB)が行われた後(ステップS2)、タワーT2の受け渡しモジュールTRSに搬送される。前記受け渡しモジュールTRSに搬送されたウェハWは、インターフェイスアーム16、18により、タワーT3を介して露光装置D4へ搬入され、前記レジスト膜が露光され、レジストパターンの潜像が形成される(ステップS3)。

[0029] 露光後のウェハWは、インターフェイスアーム16、17によりタワーT2、T4間を搬送されて、単位プロックE5、E6に対応するタワーT2の受け渡しモジュールTRS5、TRS6に夫々搬送される。然る後、ウェハWは加熱モジュール2に搬送され、赤外線の照射と、加熱処理(PEB)とを受ける(ステップS4)。このステップS4の処理の詳細は後述する。然る後、ウェハWは現像モジュール3に搬送されて現像処理を受け(ステップS5)、レジスト膜にレジストパターンが形成される。その後、加熱モジュール20にて加熱された後、タワーT1の受け渡しモジュールTRSに搬送され、移載機構13を介してキャリアCに戻される。

[0030] 続いて、ステップS3～S5においてウェハWの表面が変化する様子を、図7～図12の模式図を参照しながら説明する。図7は、ステップS3にて、露光されるウェハWを示している。図中4\_1はレジスト膜であり、このレジスト膜4\_1中の現像液に不溶な樹脂を4\_2で示している。図中4\_3は、露光装置D4のマスクであり、マスク4\_3には所定のパターンに沿って開口部4\_4が形成されている。図中、マスク4\_3において光を遮蔽する部分を遮蔽部4\_5として示している。

[0031] マスク4\_3の開口部4\_4を透過した光により、レジスト膜4\_1における当該開口部4\_4の下方の露光領域5\_1では、レジスト膜4\_1に含まれる酸発生剤(不図示)から酸4\_7が生じ、酸4\_7により樹脂4\_2が分解される。具体的には、当該樹脂4\_2を現像液に不溶にするための保護基(図7中Rで表示)が樹脂4\_2から外れ、その代りに水酸基を有するように樹脂4\_2が変化し

、この水酸基により現像液に可溶となる。このように現像液に可溶になった樹脂を4 8として図8に示している。このように、レジスト膜4 1において、パターンの潜像が形成される。

[0032] ところで、レジスト膜4 1において、前記マスク4 3の遮蔽部4 5により光が遮蔽される領域を遮光領域（非露光領域）5 2とする。光は散乱するため、レジスト膜4 1において、マスク4 3の開口部4 4と遮蔽部4 5との境界の下方には、露光領域5 1に比べて光の照射量が少ない、即ち、酸4 7及び現像液に可溶な樹脂4 8が存在する割合が、遮光領域5 2に比べて多く、露光領域5 1に比べて少ない領域（便宜上、中間領域とする）5 3が形成される。

[0033] ここで本実施形態のレジスト膜の変化との比較のために、当該実施形態のように赤外線の照射を行わずに、このように露光領域5 1、遮光領域5 2、中間領域5 3が形成されたウェハWにPEBを行い、現像する場合について説明する。図13は、前記PEBを行った後のウェハWの模式図である。露光領域5 1では、PEBを行う前に比較的多くの酸4 7が発生し、それによつて樹脂4 2から樹脂4 8への変化が起きているため、前記PEB終了後には、樹脂4 8が存在する割合が高い。しかし、中間領域5 3では、PEBを行う前に発生する酸4 7の量は比較的少なく、樹脂4 2から樹脂4 8への変化が露光領域5 1に比べて起こりにくい。従って、PEB終了後において、中間領域5 3では樹脂4 2と樹脂4 8とが混在して存在しやすい。図14は、現像処理後のウェハWであり、この図14に示すように、前記樹脂4 2、4 8から、レジストパターン5 4の側壁に凸部、凹部が夫々形成され、レジストパターン5 4の側壁の荒れが大きくなる。

[0034] 第1の実施形態の説明に戻る。ステップS4を行うために露光後のウェハWは、加熱モジュール2に搬入され、冷却プレート2 4から例えば90°C～130°Cに加熱された熱板2 5に受け渡されて載置されると同時に、赤外線ランプ3 4から赤外線が照射され、波長2.0μm～6.0μmの赤外線がフィルタ3 6を透過してレジスト膜4 1に供給される。図15は、このよう

にウェハWの加熱及び赤外線の照射を行う加熱モジュール2を示している。

[0035] 前記波長 $2.0\text{ }\mu\text{m} \sim 6.0\text{ }\mu\text{m}$ の赤外線(IR)により、樹脂42においては、炭素と水素との間に形成された単結合についての伸縮振動が促進される。樹脂48においては、前記炭素と水素との間の単結合の伸縮振動及び水酸基における水素と酸素との結合の伸縮振動が促進される。即ち、樹脂42、48を構成する分子が振動する(図9)。このように分子が振動することにより、露光領域51及び中間領域53における酸47が、レジスト膜41中を流動すると本発明者は考えている。そして、流動した酸47は樹脂42に作用し、この樹脂42が樹脂48に変化する。それによつて、露光領域51及び中間領域53においては、樹脂42に対する樹脂48の割合が増加する(図10)。

[0036] そして、熱板25により次第にウェハWの温度が上昇し、この熱板25から受ける熱エネルギーによつて、酸47はレジスト膜41中を拡散する。即ち、PEBが行われる。それによつて、露光領域51及び中間領域53における樹脂42から樹脂48の変化が、さらに進行する。さらにウェハWの温度が上昇すると、酸47は揮発して、レジスト膜41から除去される。所定の時間、熱板25上にウェハWが載置されると、赤外線の照射が停止され、ウェハWは加熱モジュール2から搬出される。図11は、このようにPEBを終え、加熱モジュール2から搬出される時のウェハWを示している。

[0037] フィルタ36により上記のようにウェハWに照射する赤外線の波長を選択しているのは、当該赤外線によるレジスト膜41の温度の上昇を抑えながら、樹脂42から樹脂48への変化を起こすためである。即ち、ウェハWに照射される赤外線の波長の範囲が広いほど、その照射される赤外線の中に、レジスト膜41及びウェハWを構成するシリコンが吸収する波長の赤外線が含まれやすくなるので、ウェハWの温度が急速に上昇する。しかし、そのようにウェハWの温度が急速に高くなると、十分に酸47がレジスト膜41中を流動する前に揮発することになるため、前記樹脂48への変化が十分に行われなくなる。それを防ぐために、上記の波長の選択を行つている。

- [0038] 上記の赤外線の照射により酸4 7を流動させたことにより、P E B終了後には、中間領域5 3において、樹脂4 2、4 8の混在が防がれている。従つて、上記のステップS 5の現像処理時に、中間領域5 3はその全体が現像液により溶解されるので、中間領域5 3からレジストパターン5 4の側壁の凹凸が形成されることが防がれる。従つて、図12に示すように、レジストパターン5 4の側壁における荒れが抑えられる。
- [0039] この塗布、現像装置1によれば、上記のように露光済みのレジスト膜に、当該レジスト膜を構成する分子を振動させる波長の赤外線を選択的に照射し、P E Bを行うことにより、後述の評価試験で示すようにレジストパターン5 4の側壁における荒れの程度を抑えることができる。また、上記のように赤外線の照射により、露光領域5 1の酸4 7の流動を起こすことにより、露光装置D 4における露光によって生じる酸4 7が少量であっても、P E B後における露光領域5 1のレジスト膜4 1の樹脂を現像液に可溶な状態にすることができる。即ち、露光装置D 4においてウェハWに供給する光の強度を抑えても、レジストパターン5 4を解像することができる。既述のように波長が10 nm～15 nmであるEUVを用いてウェハWを露光する場合、高い強度の光をウェハWに供給しにくいので、本手法を用いることが有効である。ただし、露光装置D 4としては、KrFやArFを光源とするものを用いてもよい。
- [0040] また、上記の例ではウェハWを熱板2 5に載置し、温度を上昇させながらウェハWに赤外線を照射することで、スループットの向上を図っている。ただし、図16に示すように、フィルタ3 6の下方に位置する冷却プレート2 4に載置されたウェハWに赤外線を照射し、然る後、熱板2 5にウェハWを載置してP E Bを行ってもよい。この場合、熱板2 5にウェハWを移載した後も、ウェハWに赤外線照射を続けて行ってもよいし、熱板2 5にウェハWを移載後は、赤外線照射を停止させてもよい。また、この場合、冷却プレート2 4が、図中鎖線で示すようにモジュール2の手前側の熱板2 5から外れて位置した状態から、赤外線照射を開始し、図中実線で示すように熱板2 5

上に位置するまでの間、赤外線照射を行う。つまり、移動部である冷却プレート24により、ウェハWを熱板25に搬送中に赤外線照射を行ってもよい。

[0041] また図17に示すように、上記加熱モジュール2においてフィルタ36を筐体21内の手前側に移動させる駆動部38を設けてもよい。この場合、例えば熱板25の代わりに、例えばヒータ26を備えていないステージ39を設ける。前記ステージ39に載置されたウェハWについて、ステージ39上に配置したフィルタ36を介して赤外線を照射して、酸を流動させる。その後、図17に示すように、フィルタ36を前記ステージ39上から退避させて、赤外線ランプ34から $2.0\text{ }\mu\text{m} - 6.0\text{ }\mu\text{m}$ よりも広い範囲の波長の赤外線をウェハWに照射し、PEBを行ってもよい。このようにステージ39上から退避し、赤外線ランプ34からウェハWへの光路から外れた位置に位置するフィルタ36と、当該赤外線ランプ34とは、第2の加熱源を構成する。フィルタ36を移動させる代わりに、ステージ39及び赤外線ランプ34を移動させ、酸を流動させた後にPEBが行われるように構成してもよい。

[0042] (第2の実施形態)

第2の実施形態では、第1の実施形態と同様の塗布、現像装置1が用いられるが、単位プロックE3、E4の加熱モジュールとして、上記の加熱モジュール2が設けられる。また、例えば単位プロックE5、E6の加熱モジュールとしては、上記のフィルタ36及び赤外線ランプ34が設けられていない加熱モジュール20により構成される。

[0043] 図18は、第2の実施形態におけるフロー図である。この図18に示すように、第2の実施形態では、ステップS2が第1の実施形態と異なり、PABを行う際にウェハWに赤外線を照射する。具体的には、前記図15で示したように、ウェハWを加熱された熱板25上に載置し、この熱板25に載置されたウェハWにフィルタ36を介して $2.0\text{ }\mu\text{m} - 6.0\text{ }\mu\text{m}$ の赤外線を照射する。即ち、ウェハWが熱板25に載置されて加熱され、レジスト膜の

溶剤の除去が行われている間、赤外線の照射が行われる。また、この例ではステップS4において、赤外線の照射を行わない。

[0044] 上記のようにPABを行うと同時に、上記の波長の赤外線を照射する理由について説明するために、比較例として、当該赤外線照射を行わずにPABを行う場合におけるレジスト膜41について、その模式図である図19を参照しながら説明する。図19では、上記のレジスト膜41中の樹脂42について、便宜上、図7～図12とは異なる形状に示している。図19上段では、PABを行う前のレジスト膜41について示しており、レジスト膜41中の樹脂42が集まって構成されるレジストの粒子40で示している。PABを行う前においては、この粒子40は、レジスト膜41中に比較的均一性高く分散している。

[0045] 図19の中段は、熱板25にウェハWを載置してPABを行っている状態を示している。ウェハWは下方側から熱板25に加熱されることにより、レジスト膜41中においては温度勾配が形成される。そして、PABを行っている間、レジスト膜41には溶剤が残留していることから、前記粒子40の流動性は比較的高いので、粒子40は前記温度勾配に従って流動する。この流動中に複数の粒子40同士が凝集し、図19中下段に示すように粒子40の粒径が大きくなると考えられる。

[0046] 図20の上段は、目標とする形状のレジストパターン54を示している。このようにレジストパターンは側面視矩形状に形成されることを目標とするが、実際にはウェハW表面を流れる現像液や、現像液の供給後に当該現像液をウェハWから洗い流すために供給される洗浄液により、その上面及び側面は削られることになる。このとき、上記のように粒子40の径が大きいため、図20の下段に示すようにレジストパターン54から削られて脱離する粒子40の径も大きくなる。その結果として、レジストパターン54の側壁の凹凸は大きくなり、荒れが大きくなると考えられる。また、レジストパターン54の上部から脱離する粒子40の径も大きいため、レジストパターン54の高さとPAB終了時のレジスト膜41の膜厚との差分が大きくなると考

えられる。

- [0047] 第2の実施形態の説明に戻る。図21上段は、図19上段と同じくPABを行う前のウェハWを示している。上記のように、レジストの粒子40は、レジスト膜41中に均一性高く分散している。そして、図22中段は、図18のフローのステップS2として説明したように、前記ウェハWを熱板25に載置し、PABを行いながら2.0μm～6.0μmの波長の赤外線を照射している状態を示している。
- [0048] 前記赤外線は、樹脂42に吸収され、第1の実施形態で説明したように当該樹脂42の原子間結合の伸縮振動が促進される。赤外線は、レジスト膜41の表層から深部へと入射し、レジスト膜41全体で樹脂42の振動が起これり、この振動により、レジスト膜41が発熱する。この発熱により、熱板25により形成されるレジスト膜41中の温度勾配が抑えられ、粒子40の流動が抑えられると本発明者は考えている。その結果、図21下段に示すように、PAB終了後も粒子40はレジスト膜41中に均一性高く分散し、凝集が抑えられていると、本発明者は考えている。
- [0049] 従って、図22に示すように、現像液及び洗浄液によりレジストパターン54が削られるときに、削られて脱離する粒子40の径が小さくなる。そのため、レジストパターン54の側壁の凹凸が大きくなることが抑えられる。即ち、前記側壁の荒れが抑えられる。また、PAB終了後のレジスト膜41の膜厚に対して、レジストパターン54の高さが小さくなることが抑えられる。
- [0050] 上記の第1の実施形態と第2の実施形態とを互いに組み合わせてもよい。つまり、ウェハWにPABを行う際に上記の波長の赤外線を照射し、さらに当該ウェハWを露光後、上記の波長の赤外線照射を照射し、PEBを行うようにもよい。また、加熱モジュール2においては、上記のようにヒータ26を備えた熱板25によりウェハWを加熱することには限られない。例えばウェハWの裏面に光を照射するLEDを備えるように加熱モジュール2を構成する。このLEDから、ウェハWを構成するシリコンが吸収する波長の

光を照射してウェハWを加熱するようにしてもよい。

[0051] また、レジストとしては、ポジ型レジストを用いた例について説明したが、ネガ型レジストを用いてもよい。また、第2の実施形態においては、上記のように粒子の凝集を抑えることでパターンの荒れを防ぐため、化学増幅型レジストを用いることには限られない。つまり、酸発生剤を含まないレジストを用いてもよい。また、第1の実施形態においては、モジュールの省スペース化を図るため、赤外線照射を行うモジュールと、PEBとを行うモジュールを共通化して加熱モジュール2として構成しているが、赤外線照射を行うモジュールと、PEBを行うモジュールとを別個に設けてもよい。具体的に、単位プロックE5、E6の棚ユニットUのモジュールの一つを上記のステージ39、フィルタ36及び赤外線ランプ34を備えた赤外線照射モジュールとして構成し、この赤外線モジュールでウェハWに赤外線を照射した後、前記棚ユニットUの加熱モジュール20に搬送して、当該ウェハWにPEBを行ってもよい。

[0052] 評価試験

(評価試験1)

上記の第1の実施形態で示した手順に従って、複数枚のウェハWに処理を行った。ウェハWごとに露光装置D4における露光ビームのエネルギー量であるDose量( $\text{mJ}/\text{cm}^2$ )を変更して処理を行い、レジストパターン54の線幅であるCD(nm)と、レジストパターン54の側壁の荒れの指標であるLWR:Line Width Roughness(nm)について測定した。前記Dose量は $1\text{mJ}/\text{cm}^2$ 刻みで変更し、Dose量を夫々 $20.5\text{mJ}/\text{cm}^2$ 、 $19.5\text{mJ}/\text{cm}^2$ 、 $18.5\text{mJ}/\text{cm}^2$ 、 $17.5\text{mJ}/\text{cm}^2$ 、 $16.5\text{mJ}/\text{cm}^2$ としたものを、評価試験1-1、1-2、1-3、1-4、1\_5と記載する。前記LWRは、レジストパターン54の線幅の最大値—最小値であり、上記の図14に示すようにレジストパターン54が形成された場合、図中のL1とL2との差分である。このLWRの値が小さいほどレジストパターン54の側壁の荒れが抑えられており、好ましい。

[0053] この評価試験 1 では、既述の波長の赤外線照射と P E B とを異なるモジュールで行い、赤外線照射時においてはウェハW を冷却プレート上に載置し、35°C に温度調整した。P E B はウェハW を熱板 25 に載置することにより行い、この熱板 25 に載置している間にはウェハW への赤外線の照射は行わなかった。また、対照試験として、赤外線照射を行わない他は、評価試験 1\_1～1\_5 と同様に処理を行い、前記 C D 及び L W R を測定した。この対照試験では、前記 Dose 量を  $21.5 \text{ mJ/cm}^2$  に設定した。

[0054] 下記の表 1 は、この評価試験 1 の結果を示している。この表 1 に示すように評価試験 1\_1～1\_5 では、その Dose 量が対照試験の Dose 量に比べて小さいが、LWR 及び CD について、対照試験と同程度か、あるいは対照試験よりも小さくなっていることが確認された。また、評価試験 1\_1～1\_5 において、Dose 量を大きくするほど、CD が小さくなることが確認された。従って、この評価試験 1 の結果より、第 1 の実施形態に沿って処理を行うことで、レジストパターン 4 の荒れが抑えられると共に、所定の線幅の CD を得るために露光装置 D4 で照射する露光エネルギーを抑えることができる事が確認された。

[表 1]

	対照試験	評価試験 1-1	評価試験 1-2	評価試験 1-3	評価試験 1-4	評価試験 1-5
Dose 量 (mJ/cm <sup>2</sup> )	21.5	20.5	19.5	18.5	17.5	16.5
CD (nm)	47.1	45.0	46.9	46.4	47.0	48.5
LWR (nm)	2.7	2.4	2.4	2.8	2.7	2.5

[0055] (評価試験 2 )

続いて、評価試験 2\_1 として上記の第 2 の実施形態と同様の手順で処理を行った。つまり P A B を行う際にウェハW に赤外線を照射し、その後は赤外線の照射を行わずにウェハW にレジストパターン 5\_4 を形成した。評価試験 2\_2 として、評価試験 2\_1 と同様の手順で P A B を行い、レジストパターン 5\_4 を形成したが、露光後は第 1 の実施形態と同様にウェハW に赤外線を照射すると共にウェハW を加熱することで P E B を行った。評価試験 2

\_3として、評価試験1と同様に冷却プレート上のウェハWに赤外線を照射し、その後ウェハWを熱板25に載置してPEBを行い、ウェハWにレジストパターン54を形成した。この評価試験2—3では、PABを行う際に赤外線の照射を行っていない。また、この評価試験2—3において、前記赤外線の照射は評価試験2—2よりも長い時間、具体的には3分間行った。評価試験2—1～2—3で形成されたレジストパターン54の断面を観察し、その高さを測定した。また、対照試験としてレジスト塗布後からPEBを行うまでにウェハWに赤外線を照射せずにレジストパターン54を形成した。この対照試験においても、評価試験2—1～2—3と同様に、レジストパターン54の断面を観察し、その高さを測定した。

[0056] 図23～図26は、対照試験及び評価試験2—1～2—3のレジストパターン54を示しており、各図とも上側に上方から見たレジストパターン54の模式図を、下側にレジストパターン54の断面の模式図を夫々示している。レジストパターン54の高さH1は、対照試験が60nm、評価試験2—1及び評価試験2—2が80nm、評価試験2—3が50nmであった。評価試験2—1、2—2において、対照試験よりもレジストパターン54の高さが大きいのは、第2の実施形態で説明したようにPAB時に照射した赤外線により、レジスト膜41中における粒子40の偏り及び凝集が防がれたためと考えられる。また、評価試験2—3において対照試験よりもレジストパターンの高さが小さいのは、赤外線照射を長く行ったことで、過剰に酸が流動したものと考えられる。

[0057] (評価試験3)

評価試験3として、第1の実施形態に沿って処理を行い、PEBを行うために加熱中のウェハWに赤外線を照射して、レジストパターンを形成した。ウェハWごとに赤外線の照射時間は40秒～80秒の範囲で変更した。またこの評価試験3において、露光装置D4としてはArFを光源とする装置を用い、レジストに45nmのパターンを形成するように設定した。また、対照試験として露光後に赤外線を照射せずにウェハWに処理を行い、レジスト

パターンを形成した。P E B を行う際に熱板25にウェハWを載置する時間は、60秒とした。これら評価試験3と対照試験において、ウェハWの各所におけるレジストパターンのLWRを測定した。また、測定されたLWRについて、その平均を算出した。

[0058] 下記の表2に評価試験3の結果を示している。赤外線の照射時間が夫々60秒、70秒、80秒であるときに、対照試験に比べてLWRの平均値が小さくなっている。従って、この評価試験3より、上記の第1の実施形態の手法でLWRを小さくすることができる、即ちレジストパターン54の荒れを抑えることができることが示された。

[表2]

処理時間 (秒)	対照試験		評価試験3				
	60	40	50	60	70	80	
LWR(nm)	3.2	4.8	3.8	2.2	2.9	2.9	
	3.2	4.3	3.9	2.0	2.8	3.4	
	3.2	4.2	3.8	2.1	2.8	3.2	
	3.2	4.8	3.7	2.7	2.9	3.4	
	3.2	3.9	3.8	2.5	2.4	3.2	
	3.1	4.0	3.4	2.7	3.0	3.2	
	3.2	4.1	3.1	2.8	3.2	3.4	
	3.1	4.0	3.1	2.8	3.0	3.4	
	3.2	3.8	3.1	2.9	2.7	2.8	
	3.2	3.9	2.7	3.1	2.6	2.7	
平均値(nm)	3.17	4.17	3.44	2.57	2.83	3.14	

[0059] (評価試験4)

評価試験4として、第2の実施形態に沿って処理を行い、ウェハWにレジストパターン54を形成した。即ち、P A B を行うときに $2.0 \mu m - 6.0 \mu m$ の波長の赤外線をウェハWに照射した。露光後はウェハWに前記赤外線の照射を行っていない。この評価試験4では、ウェハWごとに赤外線の照射時間を50秒～70秒の範囲で変更した。また、対照試験としてP A B を行うときに前記赤外線の照射を行わないことを除いて、評価試験4と同様にウェハWにレジストパターンを形成した。つまり、この対照試験ではレジス

ト塗布からレジストパターンを形成するまでに、ウェハWに赤外線の照射を行っていない。この対照試験では、ウェハWの加熱時間は60秒とした。これら評価試験4—1—4—3及び対照試験を行ったウェハWについて、レジストパターンのCDとLWRとを測定した。

[0060] 下記の表3に評価試験4の結果を示している。赤外線の照射時間が50秒とした場合は、対照試験に対してLWRの平均値が大きいが、照射時間が60秒、70秒とした場合は、対照試験に対してLWRの平均値が小さい。従つて、この評価試験4の結果より、上記の第2の実施形態の手法を用いることでLWRを改善させることができることが示された。また、評価試験4においては赤外線の照射時間が長くなるに従つて、CDが小さくなることが確認された。

[表3]

	対照試験	評価試験4		
処理時間(秒)	60	50	60	70
CD(nm)	42.3	55.5	50.6	44.2
LWR(nm)	2.8	3.2	2.6	2.5
	2.6	3.5	2.8	3.0
	2.9	3.4	2.9	2.7
	2.7	3.2	2.3	2.4
	2.8	3.2	2.4	2.7
	2.8	3.3	2.2	2.5
	3.0	3.2	2.8	2.6
	3.0	3.5	2.6	2.5
	3.0	3.5	2.7	2.4
	3.1	3.3	2.3	2.7
平均値(nm)	2.87	3.27	2.55	2.59

[0061] (評価試験5)

評価試験5として、評価試験4と略同様の手順で処理を行った。評価試験4との差異として、第1の実施形態と同様に、PEBを行う際にもウェハWに上記の範囲の波長の赤外線を照射した。このPEB処理時の赤外線の照射時間は60秒に設定した。PABを行う際の赤外線の照射時間については、

評価試験4と同様にウェハWごとに変更した。評価試験4と同様に、ウェハWごとにPAB時における赤外線の照射時間を50秒～70秒の範囲で変更した。

[0062] 下記の表4に評価試験5の結果を示している。表中には、評価試験4で説明した対照試験の結果も示している。PABにおける赤外線の照射時間が50秒では前記対照試験に比べて、LWRの平均値が大きいが、照射時間が60秒、70秒では対照試験に比べてLWRの平均値が小さい。従って、この評価試験5の結果より、上記の第1及び第2の実施形態の手法を組合わせてもLWRを改善させることができることが示された。また、この評価試験5においてもPABを行う際の赤外線の照射時間が長くなるに従って、CDが小さくなることが確認された。

[表4]

	対照試験	評価試験5		
処理時間(秒)	60	50	60	70
CD(nm)	42.3	50.7	48.7	44.2
	2.8	3.3	2.6	2.4
	2.6	2.9	2.3	2.6
	2.9	3.3	2.4	2.7
	2.7	3.4	2.6	2.5
	2.8	3.3	2.7	2.6
	2.8	2.8	2.4	2.6
	3.0	3.3	2.7	2.7
	3.0	3.1	2.8	3.0
	3.0	3.0	2.5	2.9
LWR(nm)	3.1	2.8	2.9	3.1
	平均値(nm)	2.87	3.27	2.59
				2.71

[0063] (評価試験6)

評価試験6として、評価試験1と同様に、冷却プレートに載置した露光後のウェハWに赤外線を照射し、その後ウェハWを熱板25に移載してPEB

を行い、レジス トパターン 5 4 を形成した。ウェハWごとに前記赤外線の照射時間を 60 秒～300 秒の範囲で変更した。熱板 25 による加熱時間は 60 秒とした。評価試験 3～5 と同様に、形成されたレジス トパターンについて、ウェハW の各所における LWR を測定し、その平均値を算出した。また、このレジス トパターンの CD を測定した。

[0064] 下記の表 5 に評価試験 6 の結果を示している。表中には、評価試験 4 で説明した対照試験の結果も示している。赤外線の照射時間が 300 秒であるときには前記対照試験に対して LWR の平均値が大きいが、照射時間が 60 秒、180 秒であるときは対照試験に対して LWR の平均値が小さい。従って、この評価試験 6 の結果から、露光後のウェハWについて、適切な時間、赤外線の照射を行うことで、レジス トパターン 5 4 の荒れを抑えることができる事が示された。また、赤外線の照射時間が長くなるにつれて、CD が小さくなっていることから、長い時間赤外線の照射するほど、既述のようにレジス ト膜 4 1 中における酸の流動が進行するものと考えられる。また、この評価試験 6 及び評価試験 3 から、露光後に赤外線を照射する場合、ウェハW の加熱中に照射しても、加熱処理を行う前に照射してもよいことが示された。

[表 5]

処理時間(秒)	参照試験		評価試験6	
	60	60	180	300
CD(nm)	42.3	48.5	44.5	41.3
LWR(nm)	2.8	2.6	2.7	3.3
	2.6	2.2	2.6	4.1
	2.9	2.2	2.6	3.3
	2.7	2.5	2.8	4.0
	2.8	2.8	2.5	3.5
	2.8	2.8	2.6	3.3
	3.0	2.3	2.7	3.4
	3.0	2.9	2.9	4.3
	3.0	2.5	2.5	4.1
	3.1	2.8	2.7	3.6
平均値(nm)	2.87	2.55	2.64	3.72

[0065] (評価試験7)

評価試験7として、評価試験3と同様に露光後のウェハWについて、加熱中に上記の波長の赤外線を照射して、レジストパターン54を形成した。前記赤外線の照射時間については、ウェハWごとに、40秒～70秒の範囲において10秒刻みで変更した。この評価試験7では、露光装置D4としてKRFを光源とする装置を用い、レジストとしては、EUV露光用に開発されたレジストを用いた。また、この評価試験7では、同じウェハWの異なる箇所に、Dose量を変えて露光処理を行った。形成されたレジストパターン54については、CDとLWRとを測定し、レジストパターン54のCDが目標とする値となるDose量（適正Dose量とする）を調べた。対照試験として、前記赤外線を照射しないことを除いて、評価試験7と同様にウェハWに処理を行って、レジストパターン54を形成した。そして、評価試験7と同じくCD、LWR及び適正Dose量を調べた。

[0066] 下記の表6は、評価試験7の結果を示しており、この表6では、赤外線の照射時間ごとに適正Dose量と、感度改善率と、LWRの平均値と、LWRの

最小値と、を示している。感度改善率は、照射時間Xであるときの適正Dose量をY、前記対照試験の適性Dose量をZとした場合における、 $(Z - Y) / Y \times 100$ である。また、評価試験7の結果は、図27及び図28のグラフにも示している。図27のグラフは、縦軸に測定されたCDを示しており、横軸に露光時のDose量を示している。図28のグラフは、縦軸にLWRの平均値を示しており、横軸に前記Dose量を示している。

[表6]

	対照試験	赤外線照射時間(秒)			
		40	50	60	70
適正Dose量(mJ/cm <sup>2</sup> )	26.5	31.1	17.7	15.1	13.9
感度改善率(%)	0.0	-17.3	33.2	43.0	47.7
LWRの平均値(nm)	16.5	26.3	15.5	14.8	13.0
LWRの最小値(nm)	15.9	23.1	14.2	11.1	10.5

[0067] 表6及び図27, 28に示すように、照射時間が50秒、60秒、70秒である場合に感度改善率は高く、また、LWRの平均値及び最小値は、対照試験に比べて小さい。従ってこの評価試験7より、上記の第1の実施形態の手法でLWRを改善することができ、また、露光量に対するレジスト膜の感度を向上させることができることが示された。

#### 符号の説明

[0068] W ウエハ

- 1 塗布、現像装置
- 2 加熱モジュール
- 2 5 熱板
- 2 4 冷却プレート
- 3 4 赤外線ランプ
- 3 6 フィルタ
- 4 1 レジスト膜
- 5 1 露光領域
- 5 2 遮光領域

5 3 中間領域

## 請求の範囲

- [請求項 1] 基板に化学増幅型のレジストを塗布する工程と、  
前記レジストを塗布する工程の後に、前記基板上に形成されたレジ  
スト膜を露光してパターンの潜像を形成する工程と、  
前記レジスト膜を露光する工程の後に、前記レジスト膜に、第1の  
加熱源から波長が $2.0\text{ }\mu\text{m} \sim 6.0\text{ }\mu\text{m}$ の赤外線を選択的に照射す  
る工程と、  
前記赤外線をレジスト膜に照射する工程の後に、露光により生じた  
レジスト膜中の酸を拡散させるために、前記第1の加熱源とは異なる  
第2の加熱源により、前記基板を加熱する工程と、  
前記基板を加熱する工程の後に、基板に現像液を供給して前記レジ  
スト膜にパターンを形成する工程と、  
を備えたことを特徴とするレジストパターン形成方法。
- [請求項 2] 前記第2の加熱源は、基板が載置される加熱プレートであることを  
特徴とする請求項1記載のレジストパターン形成方法。
- [請求項 3] 前記赤外線をレジスト膜に照射する工程は、基板を前記加熱プレー  
トに載置して加熱しながら行うことを特徴とする請求項2記載のレジ  
ストパターン形成方法。
- [請求項 4] 前記赤外線をレジスト膜に照射する工程は、基板を前記加熱プレー  
トに搬送するために移動する移動部に載置された基板に対して行われ  
ることを特徴とする請求項2記載のレジストパターン形成方法。
- [請求項 5] 前記第1の加熱源は、赤外線の照射部と、前記照射部から基板へ向  
かう赤外線の光路に位置する赤外線のフィルタと、により構成され、  
前記第2の加熱源は、前記赤外線のフィルタが前記光路から外れた  
位置に移動した状態における前記赤外線の照射部により構成され、  
前記光路に対して前記フィルタを相対的に移動させることにより、  
前記第1の加熱源による赤外線の照射から前記第2の加熱源による加  
熱に移行させる工程を含むことを特徴とする請求項1記載のレジスト

パターン形成方法。

[請求項6]

基板にレジストを塗布する工程と、

前記レジストを塗布する工程の後に、前記基板上に形成されたレジスト膜に、第1の加熱源から波長が $2.0\text{ }\mu\text{m} \sim 6.0\text{ }\mu\text{m}$ の赤外線を選択的に照射するとともに、前記レジスト膜を乾燥させるために、前記第1の加熱源とは異なる第2の加熱源により、前記赤外線が照射されている基板を加熱する工程と、

前記基板に赤外線を照射するとともに前記赤外線が照射されている基板を加熱する工程の後に、前記基板上のレジスト膜を露光してパターンの潜像を形成する工程と、

前記レジスト膜を露光する工程の後に、露光後の基板を加熱する工程と、

前記露光後の基板を加熱する工程の後に、基板に現像液を供給して前記レジスト膜にパターンを形成する工程と、  
を備えたことを特徴とするレジストパターン形成方法。

[請求項7]

前記第2の加熱源は、基板が載置される加熱プレートであることを特徴とする請求項6記載のレジストパターン形成方法。

[請求項8]

前記赤外線をレジスト膜に照射する工程は、基板を前記加熱プレートに載置して前記加熱プレートにより加熱しながら行うことを特徴とする請求項7記載のレジストパターン形成方法。

[請求項9]

前記赤外線をレジスト膜に照射する工程は、基板を前記加熱プレートに搬送するために移動する移動部に載置された基板に対して行われることを特徴とする請求項7記載のレジストパターン形成方法。

[請求項10]

基板に化学增幅型のレジストを塗布してレジスト膜を形成するためのレジスト塗布モジュールと、

露光されてパターンの潜像が形成された前記レジスト膜に、波長が $2.0\text{ }\mu\text{m} \sim 6.0\text{ }\mu\text{m}$ の赤外線を選択的に照射する第1の加熱源を備える赤外線照射モジュールと、

前記第1の加熱源により赤外線が照射された基板を加熱し、露光により生じた酸を拡散させるための第1の加熱源とは異なる第2の加熱源を備えた露光後加熱モジュールと、

前記露光後加熱モジュールにて加熱された基板に現像液を供給して前記レジスト膜にパターンを形成するための現像モジュールと、を備えたことを特徴とする塗布、現像装置。

[請求項11] 前記赤外線照射モジュールと露光後加熱モジュールとは、共通のモジュールであることを特徴とする請求項10記載の塗布、現像装置。

[請求項12] 基板にレジストを塗布してレジスト膜を形成するためのレジスト塗布モジュールと、

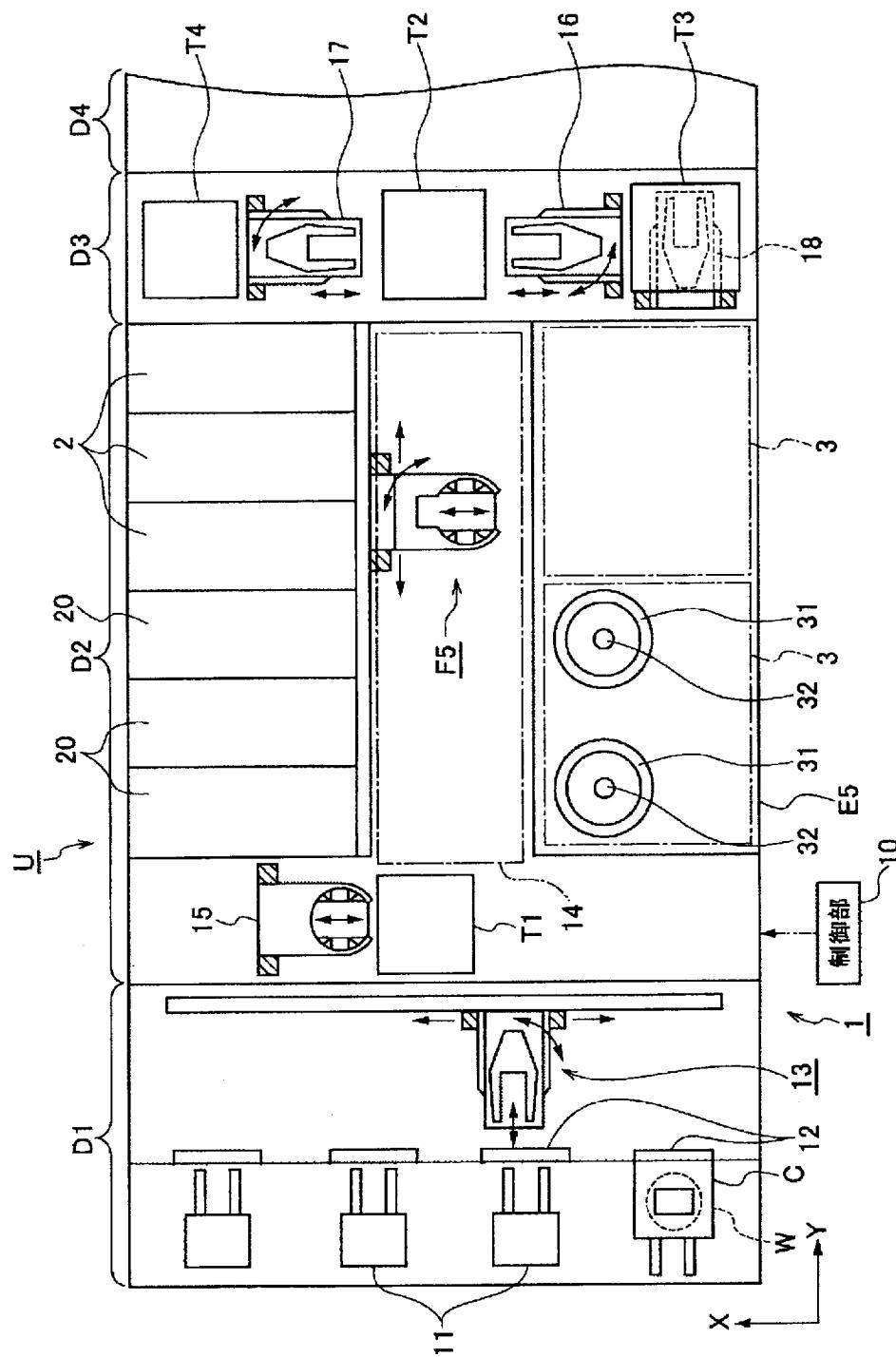
基板のレジスト膜に、波長が $2.0\text{ }\mu\text{m} \sim 6.0\text{ }\mu\text{m}$ の赤外線を選択的に照射する第1の加熱源と、露光前の前記レジスト膜を乾燥させるために前記赤外線が照射されている基板を加熱する、前記第1の加熱源とは異なる第2の加熱源と、を備えた露光前加熱モジュールと、

露光して前記レジスト膜にパターンの潜像が形成された基板を加熱する露光後加熱モジュールと、

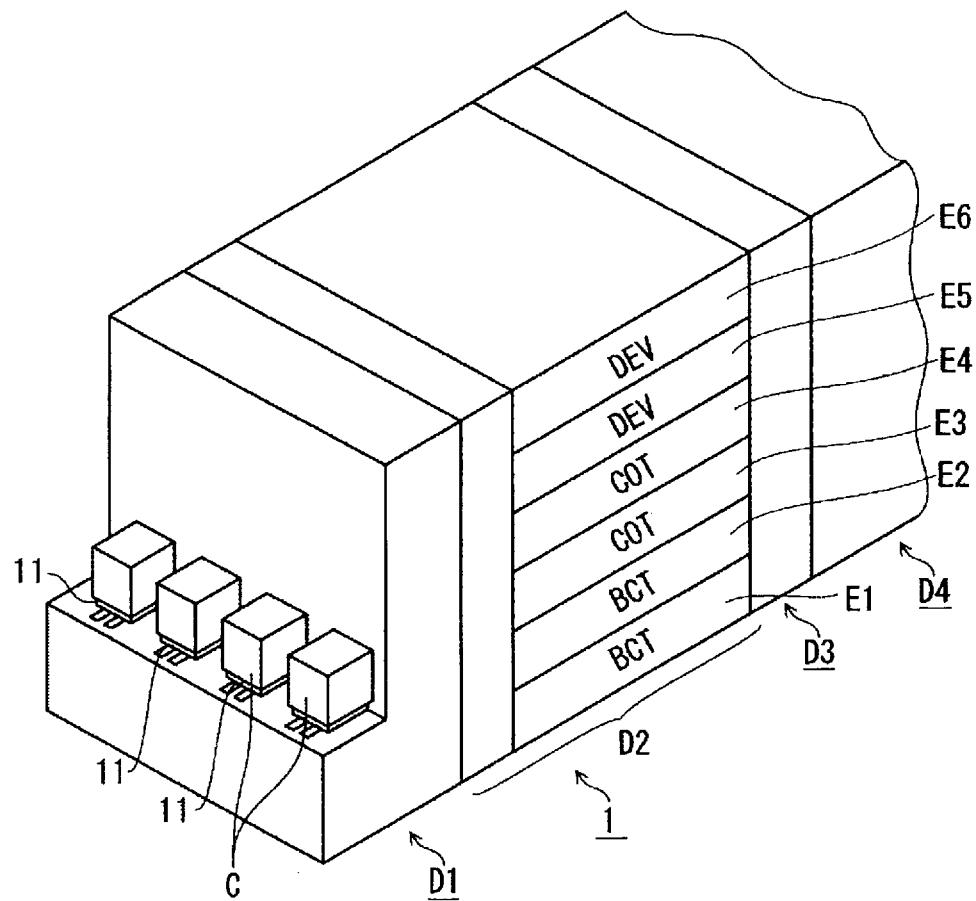
前記露光後加熱モジュールにて加熱された基板に現像液を供給して前記レジスト膜にパターンを形成する現像モジュールと、を備えたことを特徴とする塗布、現像装置。

[請求項13] レジストパターンの形成方法に用いられるプログラムを格納する記憶媒体であって、前記プログラムは、請求項1の方法を実行するようステップが組まれていることを特徴とする記憶媒体。

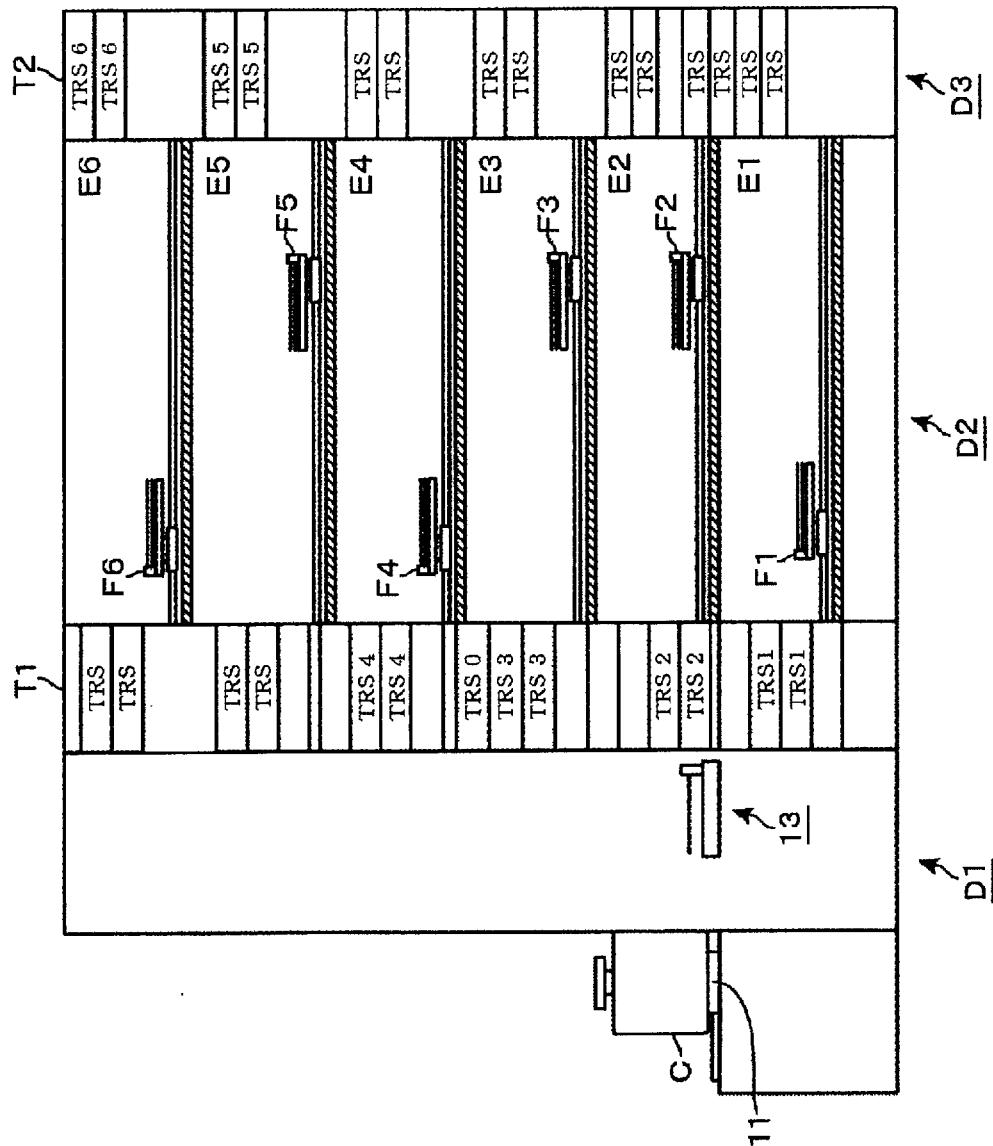
[図1]



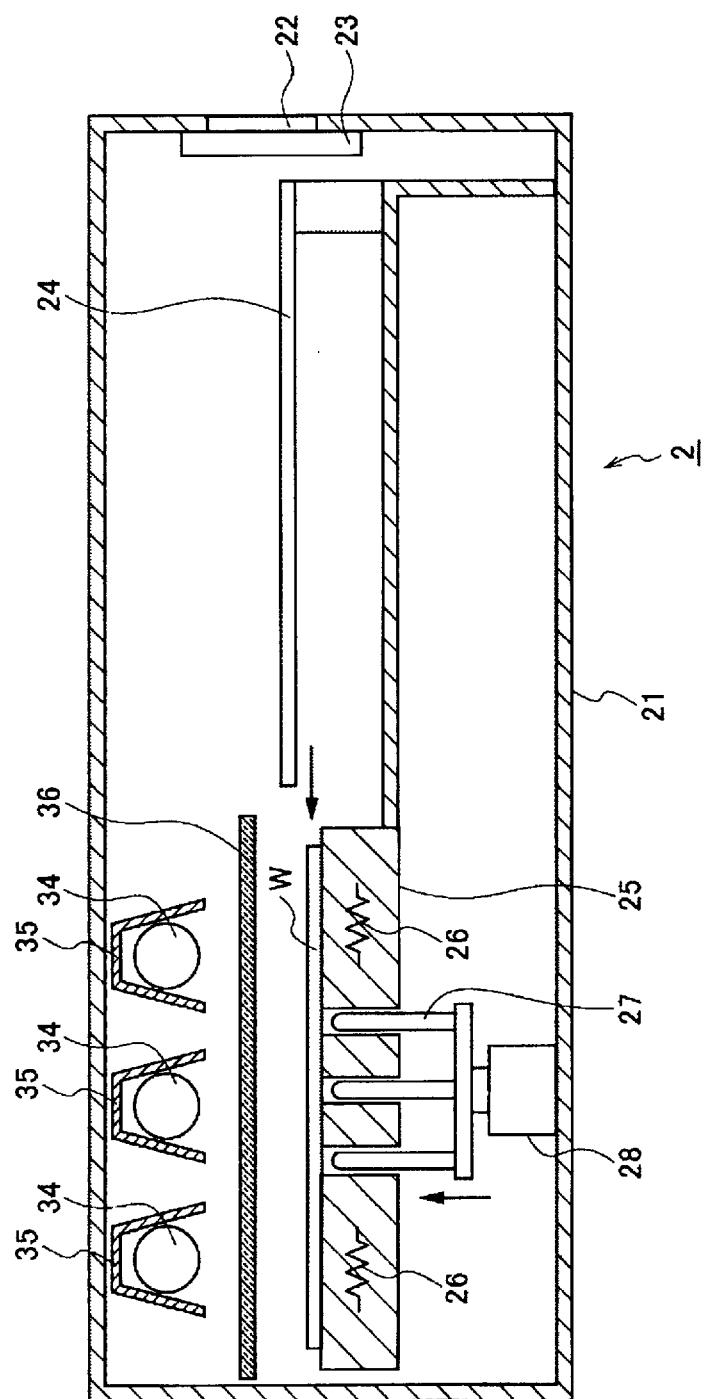
[図2]



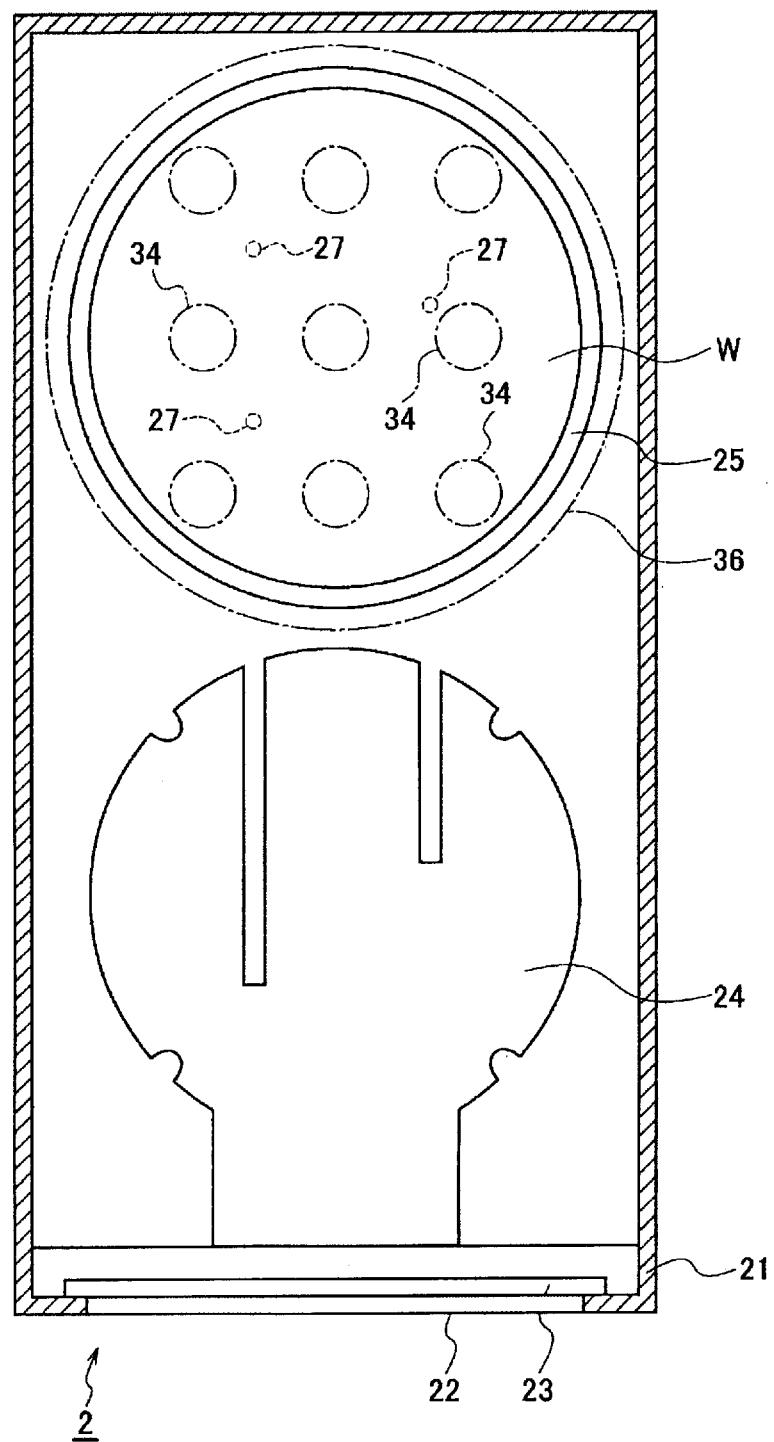
[図3]



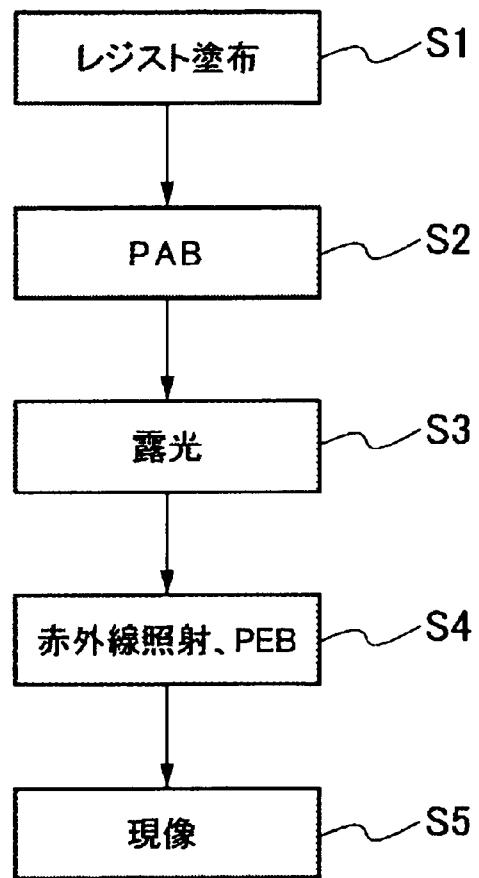
[図4]



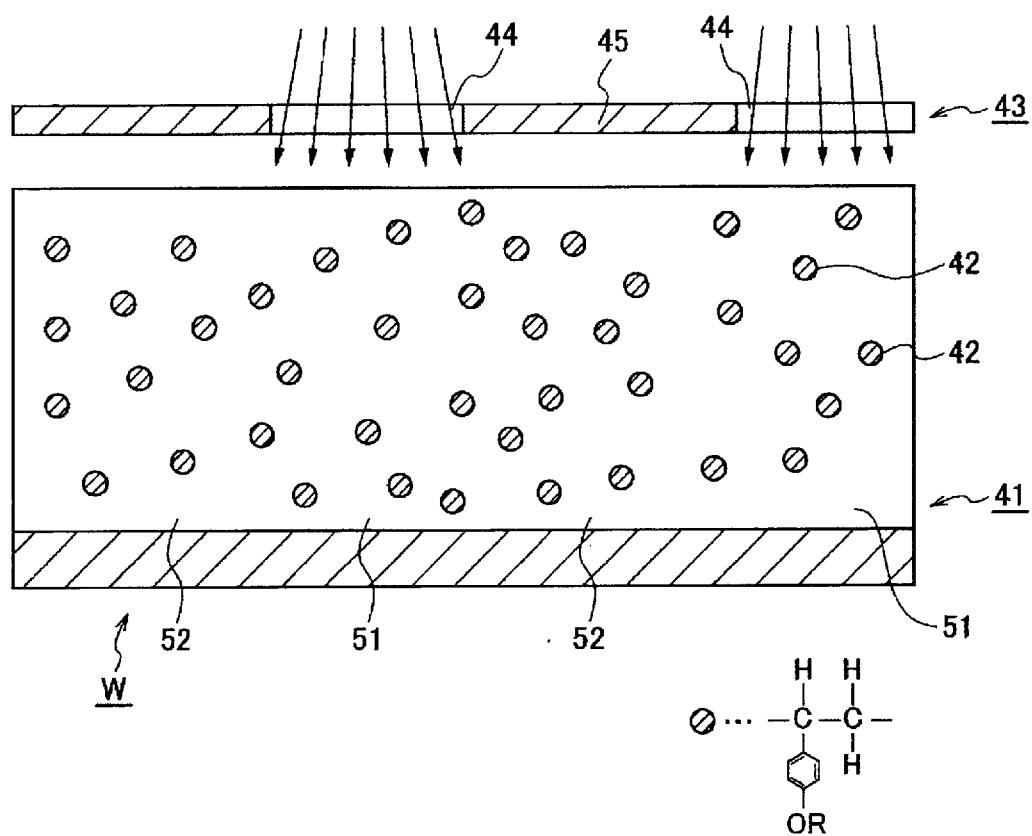
[図5]



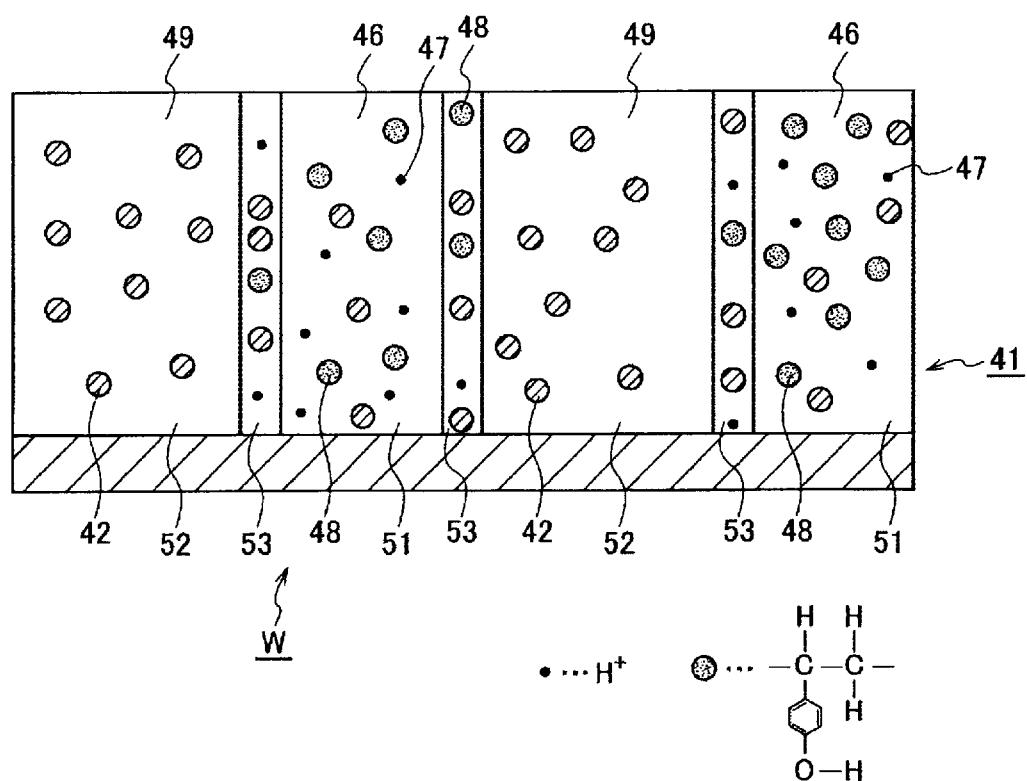
[図6]



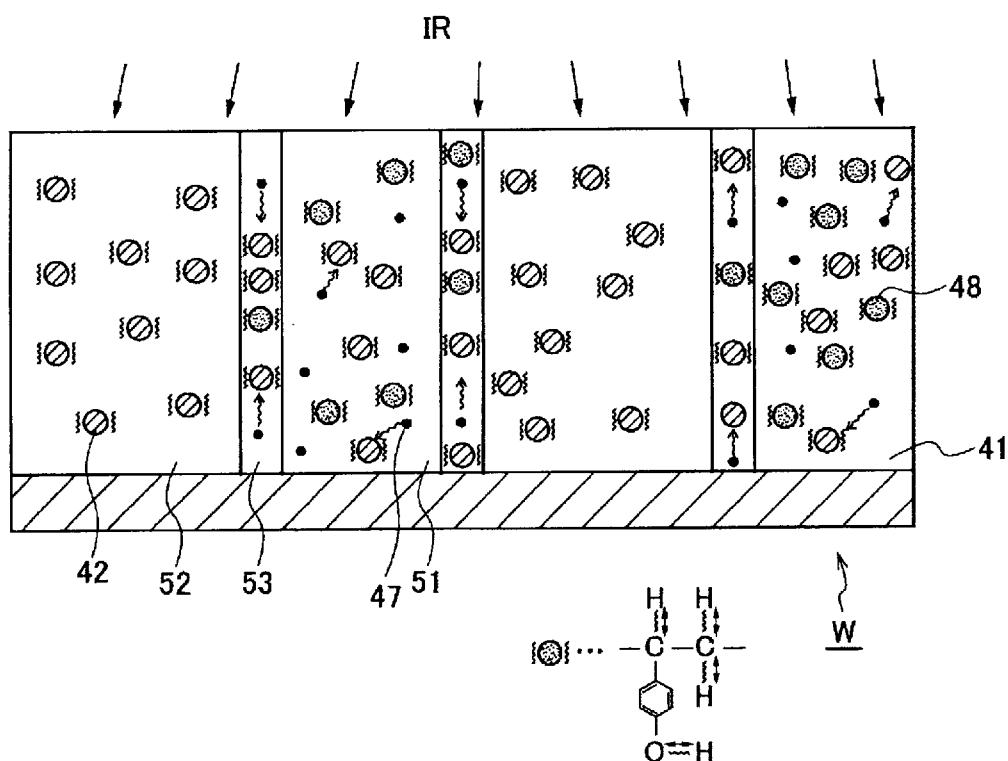
[図7]



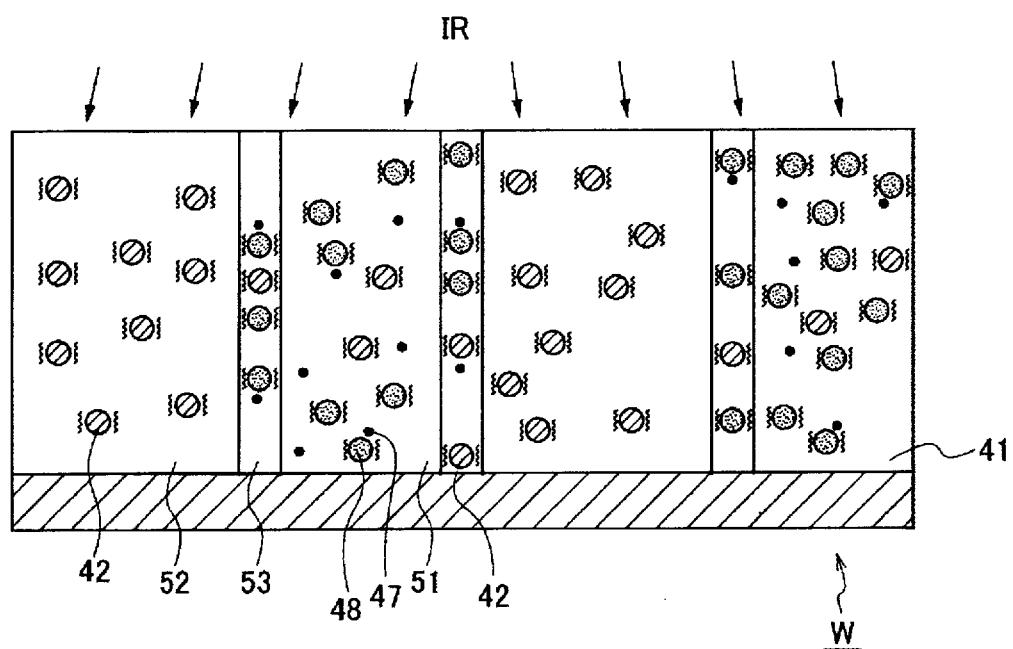
[図8]



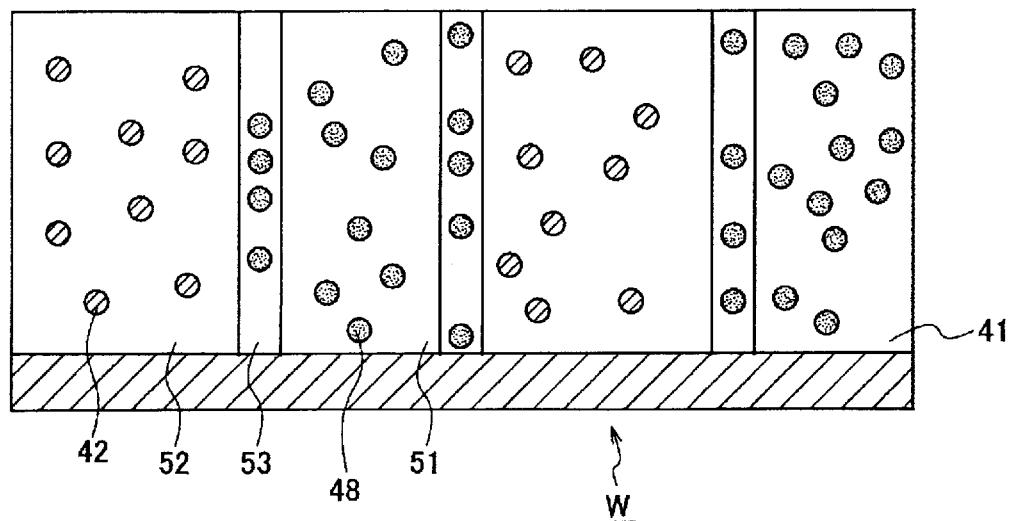
[図9]



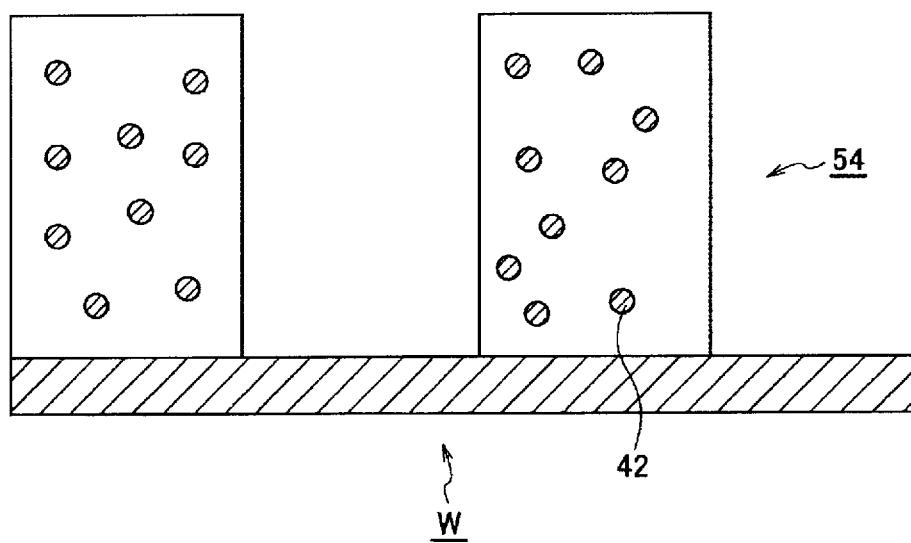
[図10]



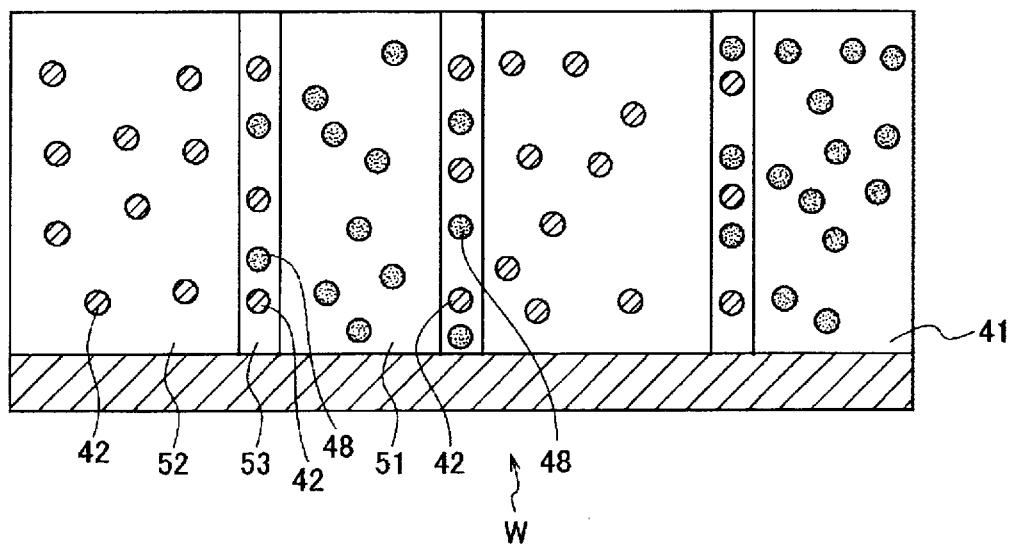
[図11]



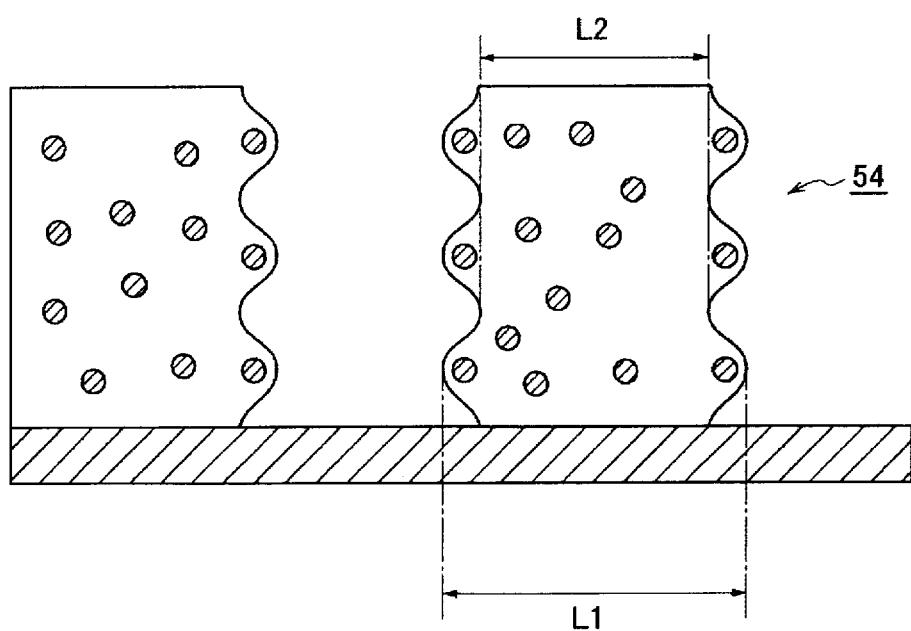
[図12]



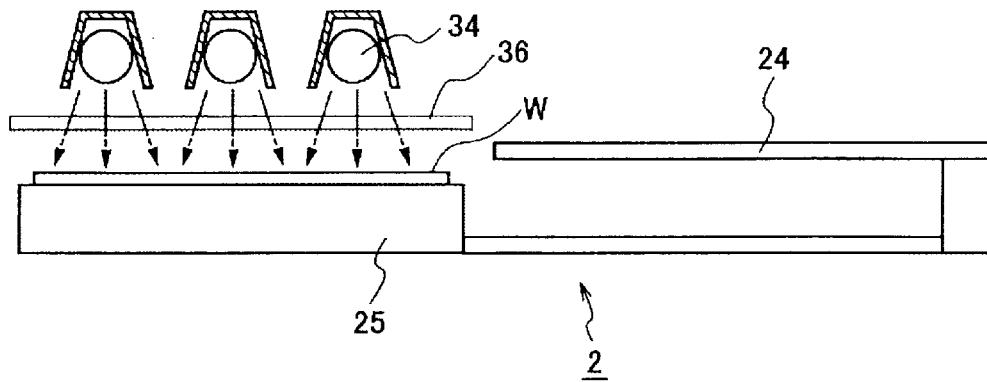
[図13]



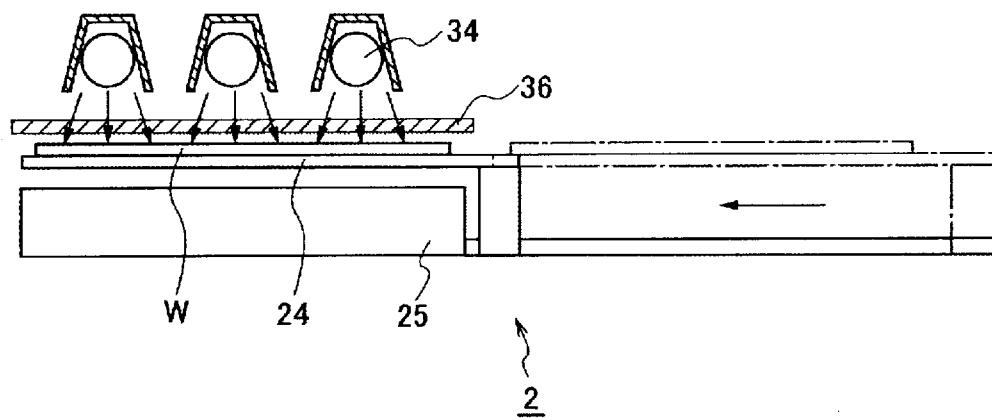
[図14]



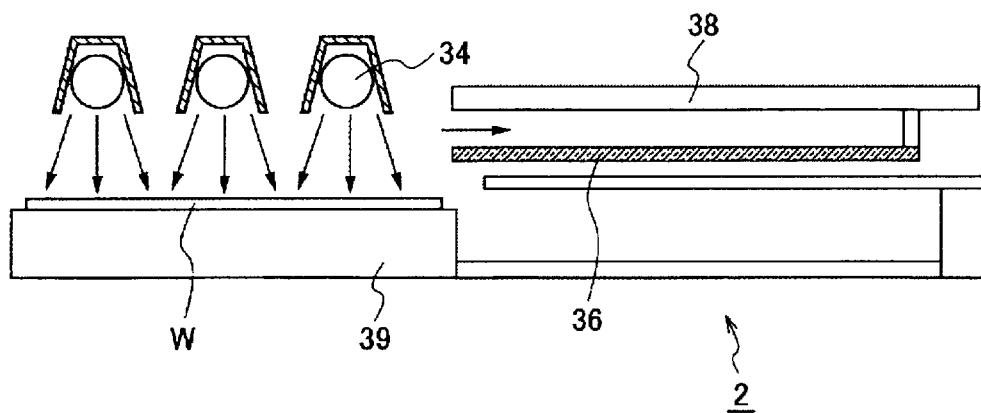
[図15]



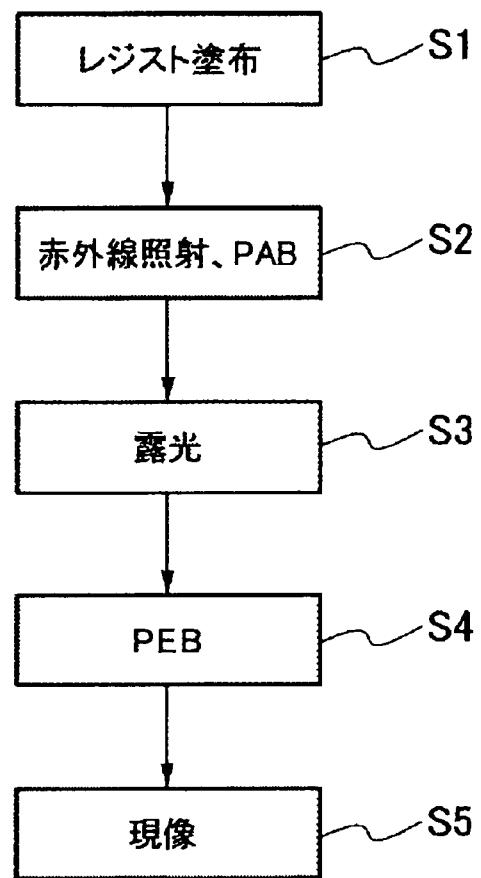
[図16]



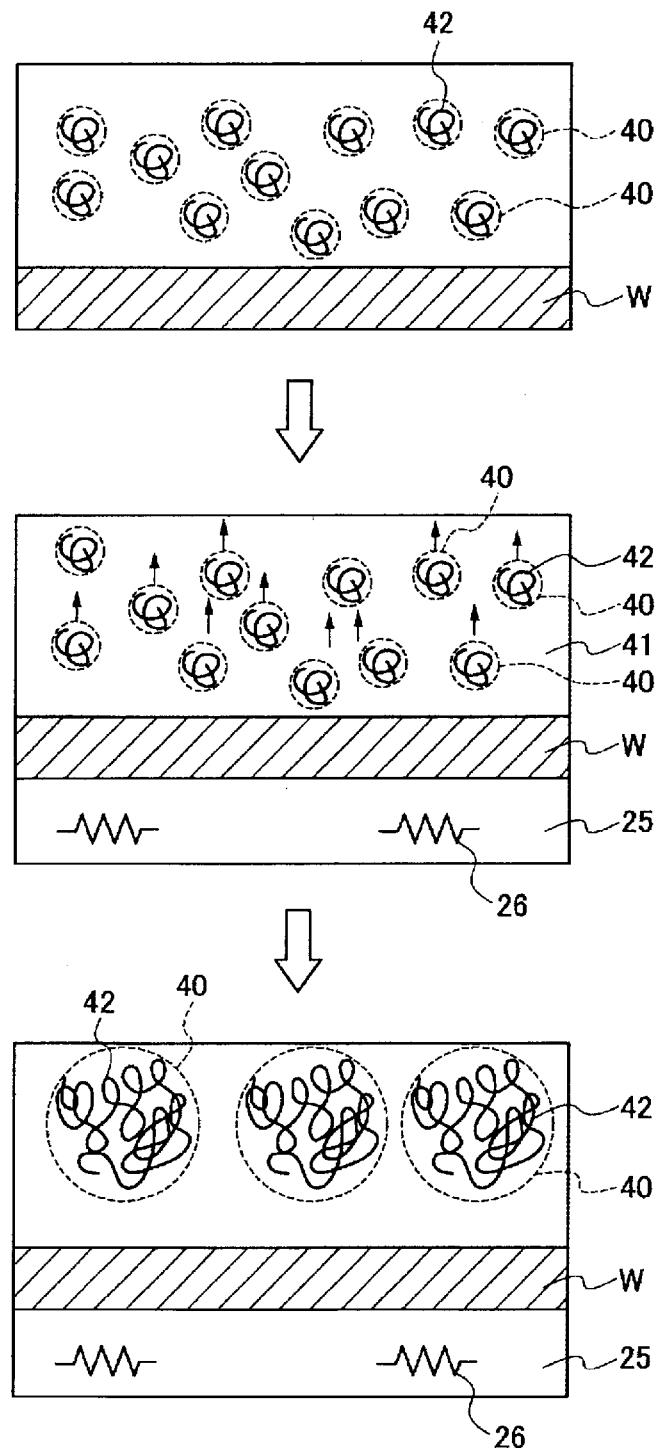
[図17]



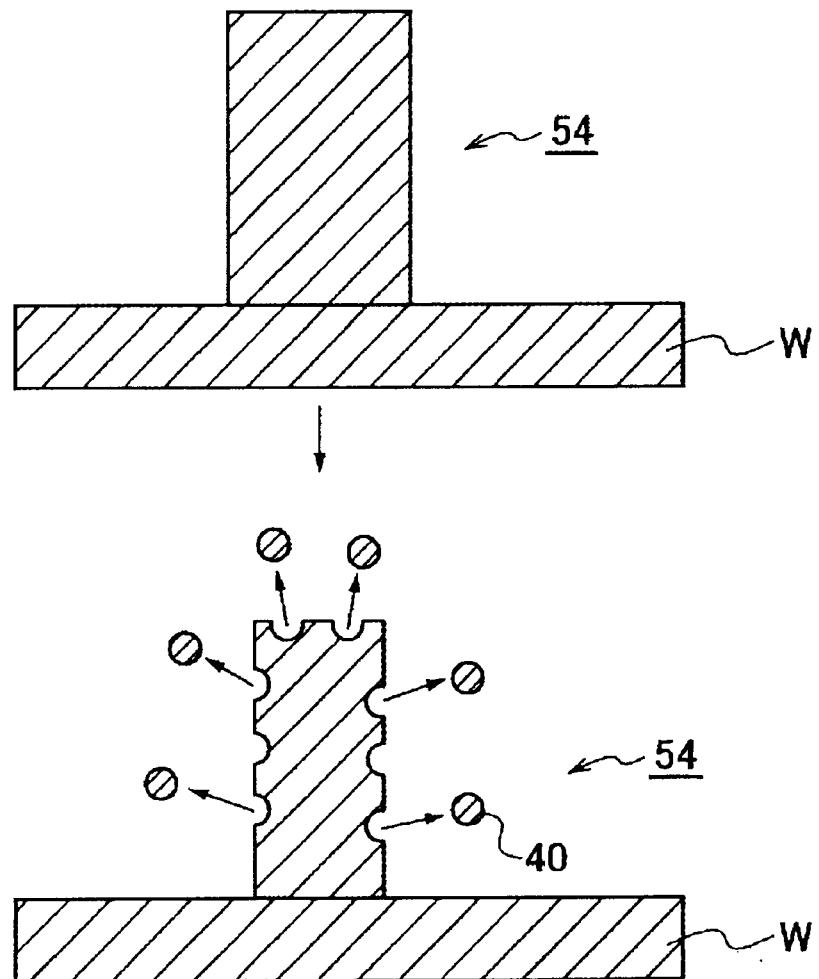
[図18]



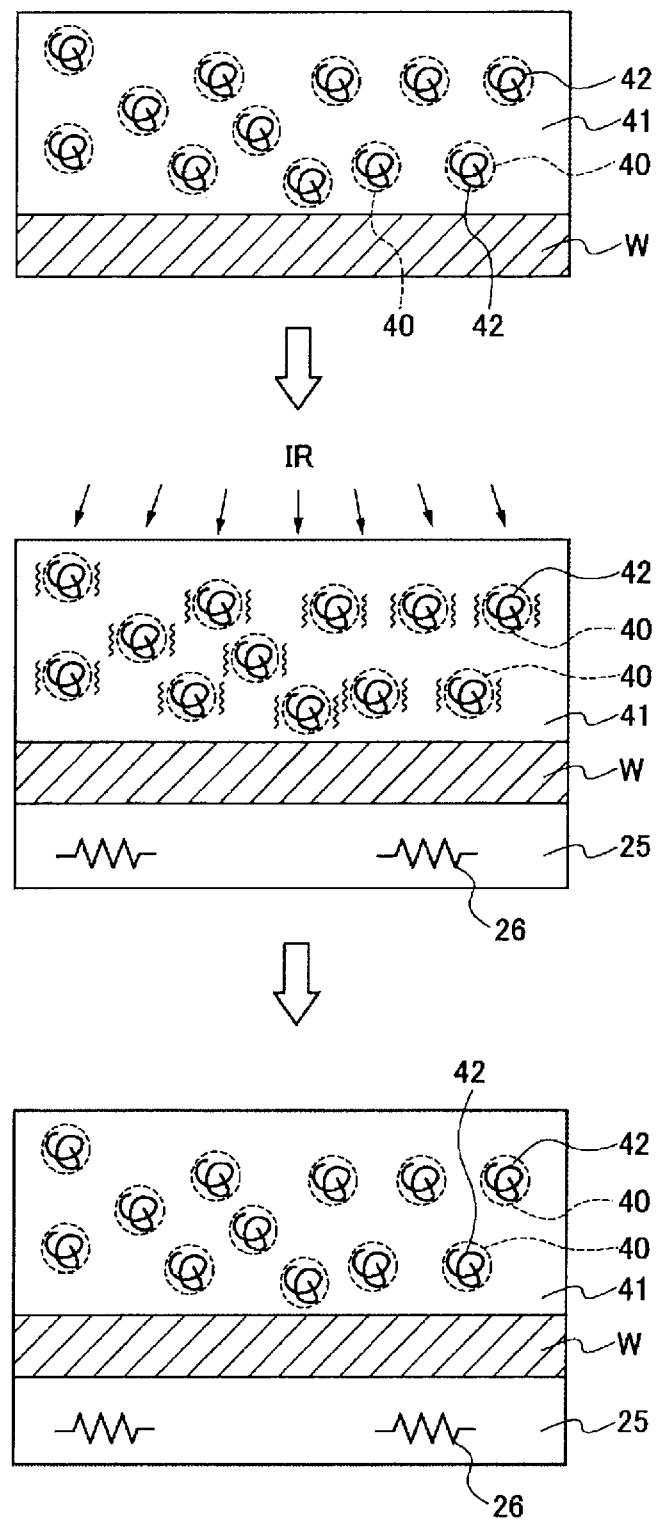
[図19]



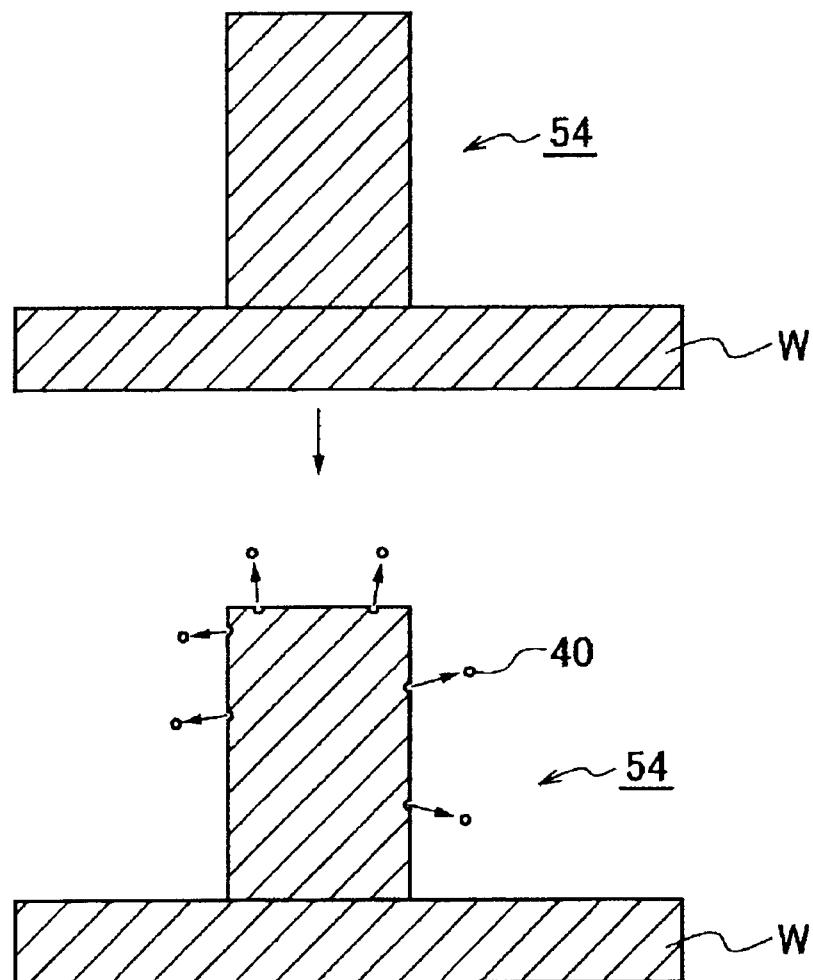
[図20]



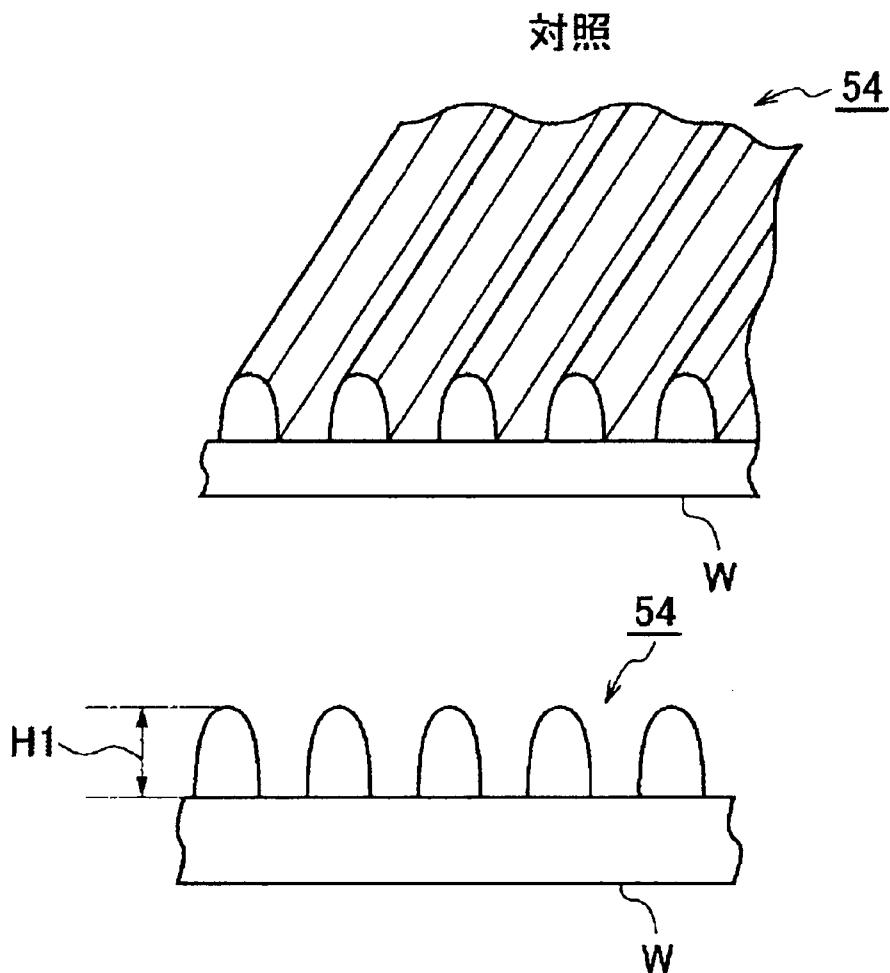
[図21]



[図22]

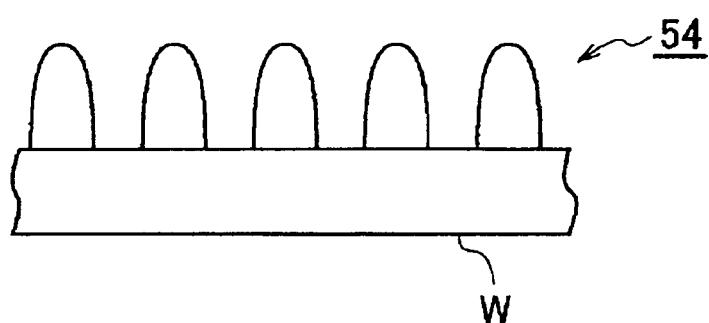
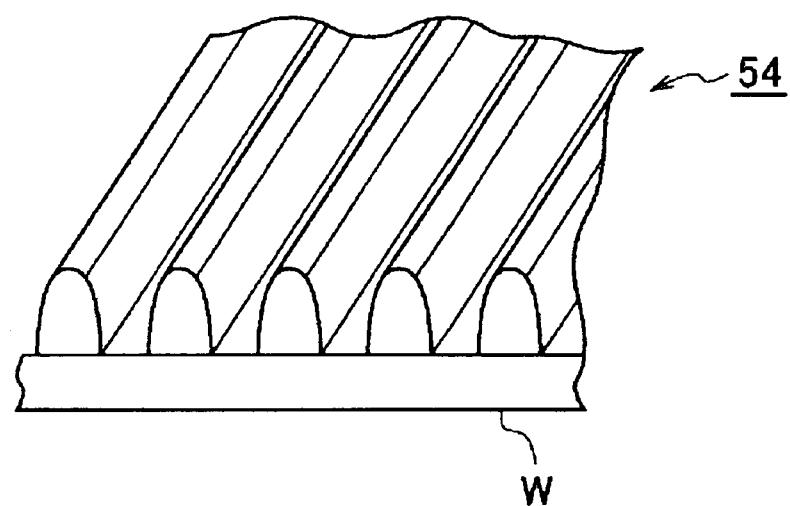


[図23]



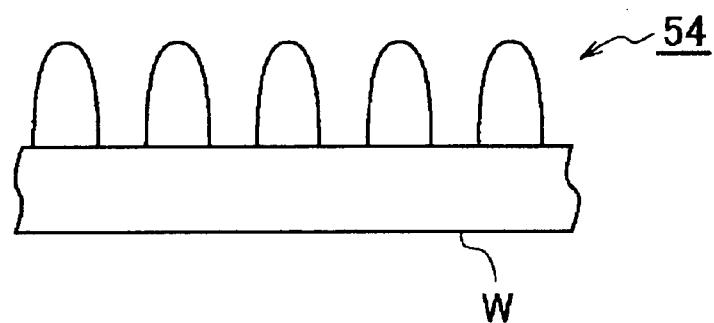
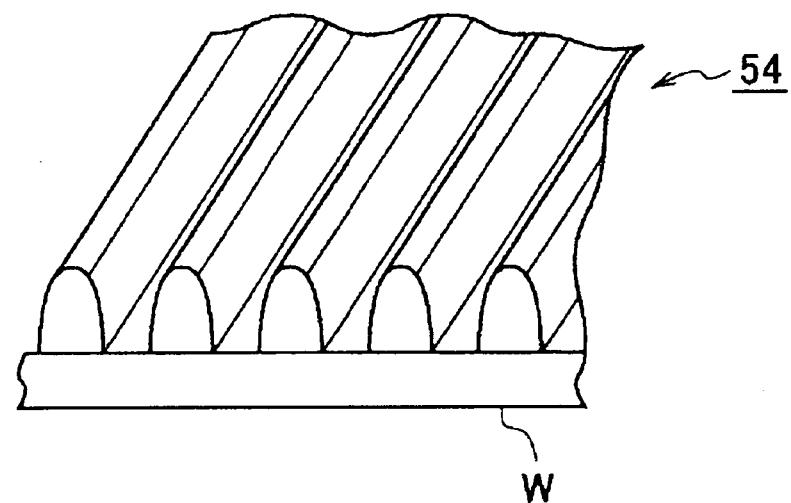
[図24]

2-1



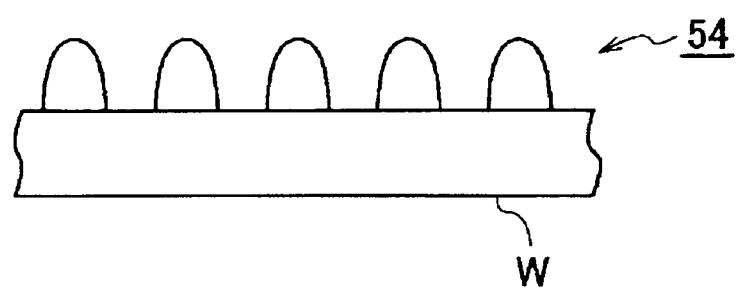
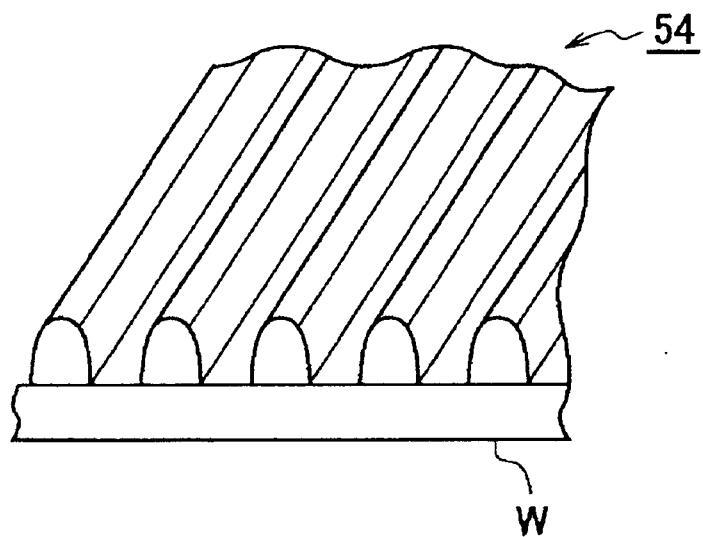
[図25]

2-2

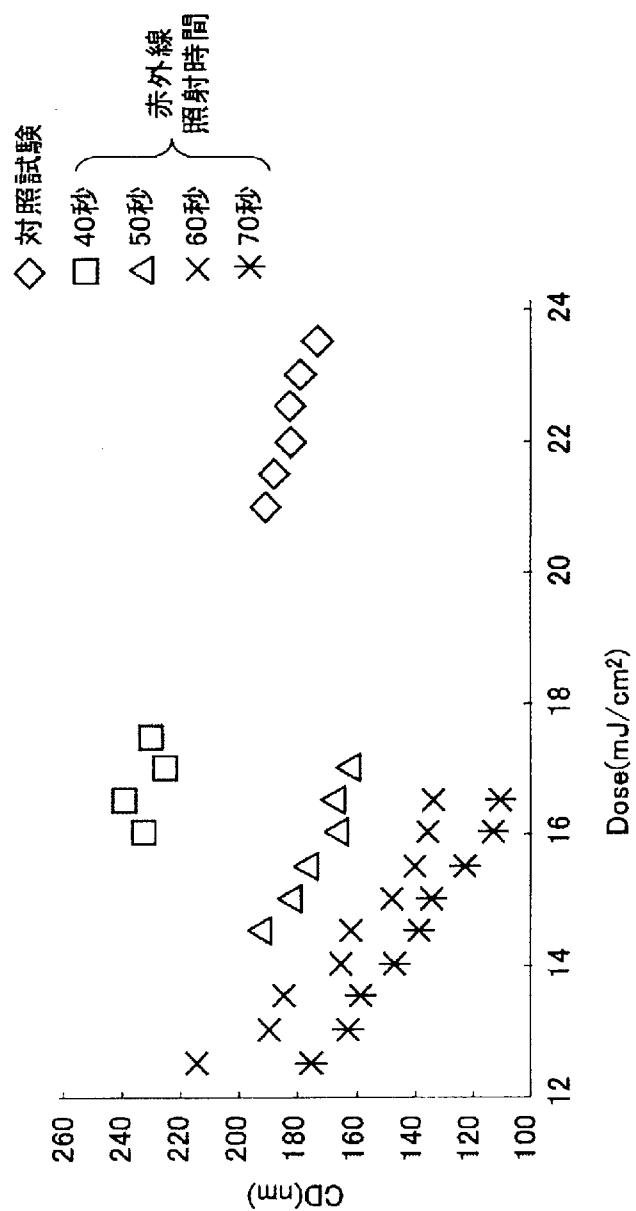


[図26]

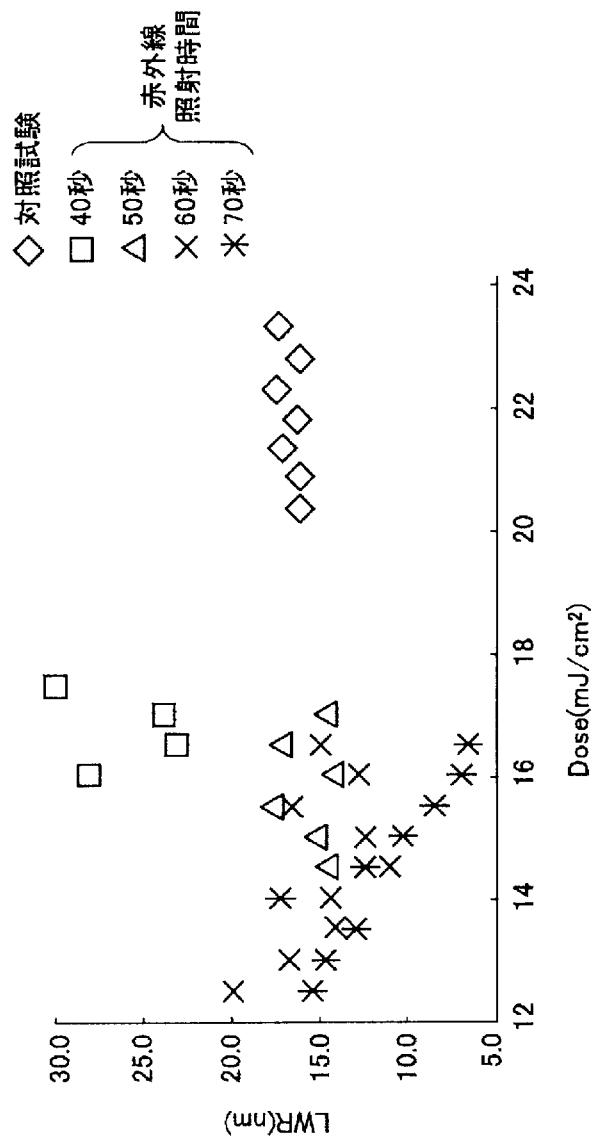
2-3



[図27]



[図28]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT / JP2 014 / 062384

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H 01L 21/02 7 (2006.01) i, G03F 7/38 (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)

H 01L 21/027, G 03F 7/38

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	1996-2014	
Kokai	Jitsuyo	Shinan	Koho	1971-2014	Toroku	Jitsuyo	Shinan	Koho	1994-2014

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.
Y A	JP 2011-099956 A (Toppan Printing Co., Ltd.), 19 May 2011 (19.05.2011), entire text; all drawings (Family : none )	6-8, 12 1-5, 9-11, 13
Y A	JP 2011-204774 A (Toshiba Corp.), 13 October 2011 (13.10.2011), paragraphs [0042] to [0043] (Family : none )	6-8, 12 1-5, 9-11, 13
A	JP 2008-159768 A (Tokyo Electron Ltd.), 10 July 2008 (10.07.2008), entire text; all drawings (Family : none )	1-13

 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

23 July, 2014 (23.07.14)

Date of mailing of the international search report

05 August, 2014 (05.08.14)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT / JP2 014 / 062384

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2013- 069962 A (Dainippon Screen Mfg . Co . , Ltd . ), 18 April 2013 (18.04.2013), paragraphs [0055] to [0058]; fig . 1 (Family : none )	1~13
A	JP 2004- 327688 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp . ), 18 November 2004 (18.11.2004), entire text ; all drawings (Family : none )	1~13
A	JP 07- 297096 A (NEC Corp . ), 10 November 1995 (10.11.1995), entire text ; all drawings (Family : none )	1~13
A	JP 2011- 165693 A (Tokyo Electron Ltd . ), 25 August 2011 (25.08.2011), entire text ; all drawings & US 2011/0189602 A1 & CN 102169812 A & KR 10- 2011- 0090755 A & TW 201137935 A	1~13

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L2 1/027 (2006. 01) i, G03F7/38 (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. H01L2 1/027, G03F7/38

## 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-
日本国公開実用新案公報	1971-2
日本国実用新案登録公報	1996-
日本国登録実用新案公報	1994-2

## 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)

年

## 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
Y	JP 2011-099956 A (凸版印刷株式会社) 2011. 05. 19, 全文、全図 (フ 了ミリーなし)	6-8, 12
A	JP 2011-204774 A (株式会社東芝) 2011. 10. 13, [b042]—[b 043]段落 (フアミリーなし)	1-5, 9-11, 13
A	JP 2008-159768 A (東京エレクトロン株式会社) 2008. 07. 10, 全文、 全図 (フアミリーなし)	1-13

 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

- 「N」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
- 「R」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

23.07.2014

## 国際調査報告の発送日

05.08.2014

## 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)

松岡 智也

2M

3107

電話番号 03-3581-1101 内線 3274

C(続き) . 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 2013-069962 A (大日本スクリーン製造株式会社) 2013. 04. 18, 【b055】-【b058】段落、図1 (ファミリーなし)	1-13
A	JP 2004-327688 A (日本電信電話株式会社) 2004. 11. 18, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-13
A	JP 07-297096 A (日本電気株式会社) 1995. 11. 10, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-13
A	JP 2011-165693 A (東京エレクトロン株式会社) 2011. 08. 25, 全文、 全図 & US 2011/0189602 AI & CN 102169812 A & KR 10-2011-0090755 A & TW 201137935 A	1-13