

(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
2020年6月25日(25.06.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/130109 A1

- (51) 国際特許分類:
B28D 5/00 (2006.01) H01L 21/304 (2006.01)
B23K 26/53 (2014.01) H01L 21/301 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2019/049956
- (22) 国際出願日: 2019年12月19日(19.12.2019)
- (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 2018-239490 2018年12月21日(21.12.2018) JP
- (71) 出願人: 浜松ホトニクス株式会社 (HAMAMATSU PHOTONICS K.K.) [JP/JP];
〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 Shizuoka (JP).
- (72) 発明者: 河口 大祐 (KAWAGUCHI Daisuke);
〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 和仁 陽太郎 (WANI Yotaro); 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜

松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 伊ヶ崎 泰則 (IGASAKI Yasunori); 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP).

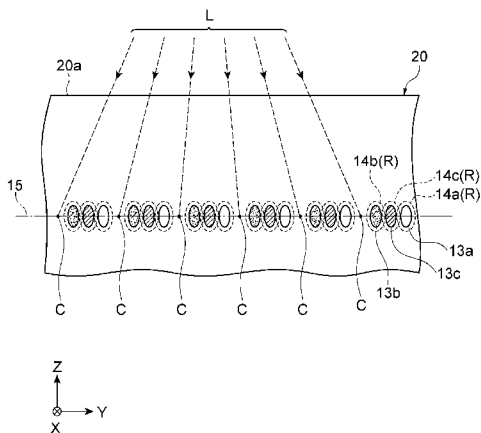
(74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外 (HASEGAWA Yoshiki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目 1 番 1 号丸の内 M Y P L A Z A (明治安田生命ビル) 9 階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).

(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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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,

(54) Title: LASER MACHINING METHOD AND PRODUCTION METHOD FOR SEMICONDUCTOR MEMBER

(54) 発明の名称: レーザ加工方法、及び、半導体部材製造方法

(57) Abstract: A laser machining method comprising: a first step in which the inside of a semiconductor object containing gallium is irradiated with laser light from the surface of the semiconductor object, thereby forming, along a virtual plane on the inside of the semiconductor object facing the surface thereof, a plurality of modified spots and a plurality of deposition areas containing gallium that has been deposited in the plurality of modified spots; and a second step in which, after the first step, the deposition areas are expanded by irradiating the inside of the semiconductor object with laser light from the surface thereof such that energy in the virtual plane is less than the machining threshold of the semiconductor object.



(57) 要約: レーザ加工方法は、ガリウムを含む半導体対象物の表面から前記半導体対象物の内部にレーザ光を照射することにより、前記半導体対象物の内部において前記表面に対向する仮想面に沿って、複数の改質スポット、及び、前記複数の改質スポットにおいて析出されたガリウムを含む複数の析出領域を形成する第1工程と、前記第1工程の後に、前記仮想面におけるエネルギーが前記半導体対象物の加工閾値を下回るように、前記表面から前記半導体対象物の内部にレーザ光を照射することにより前記析出領域を拡大する第2工程と、を備える。

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, ST, 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).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称： レーザ加工方法、及び、半導体部材製造方法

技術分野

[0001] 本開示は、レーザ加工方法、及び、半導体部材製造方法に関する。

背景技術

[0002] 半導体インゴット等の半導体対象物にレーザ光を照射することにより、半導体対象物の内部に改質領域を形成し、改質領域から延びる亀裂を進展させることによって、半導体対象物から半導体ウェハ等の半導体部材を切り出す加工方法が知られている（例えば、特許文献1，2参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2017-183600号公報

特許文献2：特開2017-057103号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 上述したような加工方法では、改質領域の形成の仕方が、得られる半導体部材の状態に大きく影響する。

[0005] 本開示は、好適な半導体部材の取得を可能とするレーザ加工方法、及び、半導体部材製造方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明者は、上記課題を解決するために鋭意検討を進めるなかで、次のような問題点を見出した。すなわち、上記のように、レーザ光の照射によって半導体対象物の内部の仮想面に沿って改質スポットを形成すると共に、当該改質スポットから延びる亀裂を進展させて半導体対象物から半導体部材を切り出す場合を検討すると、切り出された面の凹凸を減らすためには、レーザ光の仮想面でのエネルギーを低減することが有効である一方で、レーザ光の仮想面でのエネルギーが低すぎると、改質スポット及び亀裂を生じさせるこ

とができなくなる。

[0007] 本発明者は、このような問題点に着目し、さらなる検討を進めることにより、以下の知見を得るに至った。すなわち、まず、ガリウムを含む半導体対象物にレーザ光を照射することにより、仮想面に沿って、複数の改質スポットと、それらの複数の改質スポットにおいて析出されたガリウムを含む析出領域と、を形成する。そうすると、後の工程においてレーザ光を再度照射するときに、仮想面におけるレーザ光のエネルギーを半導体対象物の加工閾値を下回るほど低下させても、予め形成されたガリウムを含む領域を拡大させることができる。その結果、仮想面に渡る亀裂を形成して半導体部材を切り出したときに、切り出された面の凹凸を低減できる。本開示は、このような知見に基づいてなされたものである。

[0008] すなわち、本開示に係るレーザ加工方法は、ガリウムを含む半導体対象物の表面から半導体対象物の内部にレーザ光を照射することにより、半導体対象物の内部において表面に対向する仮想面に沿って、複数の改質スポット、及び、複数の改質スポットにおいて析出されたガリウムを含む複数の析出領域を形成する第1工程と、第1工程の後に、仮想面におけるエネルギーが半導体対象物の加工閾値を下回るように、表面から半導体対象物の内部にレーザ光を照射することにより析出領域を拡大する第2工程と、を備える。

[0009] この方法においては、まず、ガリウムを含む半導体対象物の内部にレーザ光を照射することにより、レーザ光の入射面である表面に対向する仮想面に沿って、複数の改質スポット、及び、析出されたガリウムを含む複数の析出領域を形成する。そして、後の工程において、仮想面におけるエネルギーが半導体対象物の加工閾値を下回るように、半導体対象物の内部にレーザ光を照射することにより析出領域を拡大する。この結果、上記知見のとおり、仮想面に渡る亀裂を境界とした切り出しにより、凹凸の低減された好適な半導体部材を得ることが可能となる。

[0010] 本開示に係るレーザ加工方法においては、第2工程において、表面に交差する方向からみて集光点が改質スポットに重ならないように表面から半導体

対象物の内部にレーザ光を照射してもよい。このように、この方法によれば、より凹凸の低減された好適な半導体部材を得ることが可能となる。

[0011] 本開示に係るレーザ加工方法においては、第2工程において、析出領域にレーザ光を照射してもよい。この場合、析出領域を確実に拡大可能である。

[0012] 本開示に係るレーザ加工方法においては、第1工程においては、複数の改質スポットからそれぞれ延びる複数の亀裂が互いに繋がらないように、複数の改質スポットを形成してもよい。この場合、第2工程におけるレーザ光の照射の際に、レーザ光の集光点を、改質スポットのみならず、改質スポットから延びる亀裂に重ならないようにできる。この結果、第2工程において、意図しない位置に新たな改質スポットや亀裂やガリウムの析出した領域が形成されることを避けることが可能となる。すなわち、凹凸がより低減された好適な半導体部材を得ることが可能となる。

[0013] 本開示に係るレーザ加工方法においては、第1工程においては、パルス発振されたレーザ光の集光点を仮想面に沿って移動させることにより、複数の改質スポットとして複数列の改質スポットを形成し、第2工程においては、パルス発振されたレーザ光の集光点を複数列の改質スポットの列間において仮想面に沿って移動させてもよい。この場合、複数の改質スポットに対して第2工程でのレーザ光の集光点が重なるのを確実に防止できる。

[0014] 本開示に係るレーザ加工方法においては、対象物は、窒化ガリウムを含んでもよい。この場合、ガリウムの析出と共に生じた窒素ガスの圧力（内圧）を利用して、仮想面に渡る亀裂を容易に形成することができる。

[0015] 本開示に係る半導体部材製造方法は、上記のレーザ加工方法が備える第1工程及び第2工程と、仮想面に渡る亀裂を境界として半導体対象物から半導体部材を取得する第3工程と、を備える。この方法は、上記のレーザ加工方法の第1工程及び第2工程を備える。よって、同様の理由から、凹凸がより低減された好適な半導体部材を得ることができる。

[0016] 本開示に係る半導体部材製造方法においては、仮想面は、表面に交差する方向に沿って並ぶように複数設定されていてもよい。この場合、1つの半導

体対象物から複数の半導体部材の取得が可能となる。

[0017] 本開示に係る半導体部材製造方法においては、半導体対象物は、半導体インゴットであり、複数の半導体部材のそれぞれは、半導体ウェハであってもよい。この場合、複数の好適な半導体ウェハの取得が可能となる。

[0018] 本開示に係る半導体部材製造方法においては、仮想面は、表面に沿った方向に並ぶように複数設定されていてもよい。この場合、1つの半導体対象物から複数の半導体部材の取得が可能となる。

[0019] 本開示に係る半導体部材製造方法においては、半導体対象物は、半導体ウェハであり、複数の半導体部材のそれぞれは、半導体デバイスであってもよい。この場合、複数の好適な半導体デバイスの取得が可能となる。

発明の効果

[0020] 本開示によれば、好適な半導体部材の取得を可能とするレーザ加工方法、及び、半導体部材製造方法を提供できる。

図面の簡単な説明

[0021] [図1]レーザ加工装置の構成図である。

[図2]第1例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法の対象物であるGaNインゴットの側面図である。

[図3]図2に示されるGaNインゴットの平面図である。

[図4]第1例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法の一工程におけるGaNインゴットの一部の縦断面図である。

[図5]第1例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法の一工程におけるGaNインゴットの一部の横断面図である。

[図6]第1例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法の一工程におけるGaNインゴットの一部の縦断面図である。

[図7]第1例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法の一工程におけるGaNインゴットの一部の横断面図である。

[図8]第1例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法の一工程におけるGaNインゴットの一部の縦断面図である。

[図9]第1例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法の一工程におけるGaNインゴットの一部分の横断面図である。

[図10]第1例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法の一工程におけるGaNインゴットの一部分の縦断面図である。

[図11]第1例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法の一工程におけるGaNインゴットの一部分の横断面図である。

[図12]第1例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法の一工程におけるGaNインゴットの側面図である。

[図13]第1例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法の一工程におけるGaNウェハの側面図である。

[図14]一例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法によって形成されたGaNウェハの剥離面の画像である。

[図15]図14に示される剥離面の高さプロファイルである。

[図16]他の例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法によって形成されたGaNウェハの剥離面の画像である。

[図17]図16に示される剥離面の高さプロファイルである。

[図18]一例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法による剥離面の形成原理を説明するための模式図である。

[図19]他の例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法による剥離面の形成原理を説明するための模式図である。

[図20]一例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法の途中で形成された亀裂の画像である。

[図21]他の例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法の途中で形成された亀裂の画像である。

[図22]比較例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法によって形成された改質スポット及び亀裂の画像である。

[図23]第1実施例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法によって形成された改質スポット及び亀裂の画像である。

[図24]第2実施例及び第3実施例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法によって形成された改質スポット及び亀裂の画像である。

[図25]第2例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法の対象物であるGaNウェハの平面図である。

[図26]第2例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法の一工程におけるGaNウェハの一部分の側面図である。

[図27]第2例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法の一工程におけるGaNウェハの一部分の側面図である。

[図28]第2例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法の一工程における半導体デバイスの側面図である。

[図29]比較例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法によって形成されたSiCウェハの亀裂の画像である。

[図30]実施例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法によって形成されたSiCウェハの亀裂の画像である。

[図31]実施例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法によって形成されたSiCウェハの剥離面の画像である。

[図32]図31に示される剥離面の高さプロファイルである。

[図33]変形例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法の一工程におけるGaNインゴットの平面図である。

[図34]変形例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法の一工程におけるGaNインゴットの平面図である。

[図35]実施形態のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法の一工程におけるGaNインゴットの一部分の縦断面図である。

[図36]実施形態のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法の一工程におけるGaNインゴットの一部分の横断面図である。

[図37]レーザ光のエネルギーと改質スポットの形成との関係を示す写真である。

[図38]レーザ光のエネルギーと析出領域の形成との関係を示す写真である。

[図39]析出領域を拡大する様子を示す写真である。

発明を実施するための形態

[0022] 以下、図面を参照した詳細な説明が提供される。なお、各図において同一又は相当部分には同一符号を付し、重複する説明を省略する。

[レーザ加工装置の構成]

[0023] 図1に示されるように、レーザ加工装置1は、ステージ2と、光源3と、空間光変調器4と、集光レンズ5と、制御部6と、を備えている。レーザ加工装置1は、対象物11にレーザ光Lを照射することにより、対象物11に改質領域12を形成する装置である。以下、第1水平方向をX方向といい、第1水平方向に垂直な第2水平方向をY方向という。また、鉛直方向をZ方向という。

[0024] ステージ2は、例えば対象物11に貼り付けられたフィルムを吸着することにより、対象物11を支持する。本実施形態では、ステージ2は、X方向及びY方向のそれぞれに沿って移動可能である。また、ステージ2は、Z方向に平行な軸線を中心線として回転可能である。

[0025] 光源3は、例えばパルス発振方式によって、対象物11に対して透過性を有するレーザ光Lを出力する。空間光変調器4は、光源3から出力されたレーザ光Lを変調する。空間光変調器4は、例えば反射型液晶（LCOS: Liquid Crystal on Silicon）の空間光変調器（SLM: Spatial Light Modulator）である。集光レンズ5は、空間光変調器4によって変調されたレーザ光Lを集光する。本実施形態では、空間光変調器4及び集光レンズ5は、レーザ照射ユニットとして、Z方向に沿って移動可能である。

[0026] ステージ2に支持された対象物11の内部にレーザ光Lが集光されると、レーザ光Lの集光点Cに対応する部分においてレーザ光Lが特に吸収され、対象物11の内部に改質領域12が形成される。改質領域12は、密度、屈折率、機械的強度、その他の物理的特性が周囲の非改質領域とは異なる領域である。改質領域12としては、例えば、溶融処理領域、クラック領域、絶縁破壊領域、屈折率変化領域等がある。

[0027] 一例として、ステージ2をX方向に沿って移動させ、対象物11に対して集光点CをX方向に沿って相対的に移動させると、複数の改質スポット13がX方向に沿って1列に並ぶように形成される。1つの改質スポット13は、1パルスのレーザ光Lの照射によって形成される。1列の改質領域12は、1列に並んだ複数の改質スポット13の集合である。隣り合う改質スポット13は、対象物11に対する集光点Cの相対的な移動速度及びレーザ光Lの繰り返し周波数によって、互いに繋がる場合も、互いに離れる場合もある。

[0028] 制御部6は、ステージ2、光源3、空間光変調器4及び集光レンズ5を制御する。制御部6は、プロセッサ、メモリ、ストレージ及び通信デバイス等を含むコンピュータ装置として構成されている。制御部6では、メモリ等に読み込まれたソフトウェア（プログラム）が、プロセッサによって実行され、メモリ及びストレージにおけるデータの読み出し及び書き込み、並びに、通信デバイスによる通信が、プロセッサによって制御される。これにより、制御部6は、各種機能を実現する。

[第1例に係るレーザ加工方法及び半導体部材製造方法]

[0029] ここでは、対象物11は、図2及び図3に示されるように、窒化ガリウム（Ga₂N₃）によって例えば円板状に形成されたGa₂N₃インゴット（半導体インゴット、半導体対象物）20である。一例として、Ga₂N₃インゴット20の直径は2inであり、Ga₂N₃インゴット20の厚さは2mmである。第1実施形態のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法は、Ga₂N₃インゴット20から複数のGa₂N₃ウェハ（半導体ウェハ、半導体部材）30を切り出すために実施される。一例として、Ga₂N₃ウェハ30の直径は2inであり、Ga₂N₃ウェハ30の厚さは100μmである。

[0030] まず、上述したレーザ加工装置1が、複数の仮想面15のそれぞれに沿って複数の改質スポット13を形成する。複数の仮想面15のそれぞれは、Ga₂N₃インゴット20の内部においてGa₂N₃インゴット20の表面20aに対向する面であり、表面20aに対向する方向に並ぶように設定されている。

ここでは、複数の仮想面 15 のそれぞれは、表面 20 a に平行な面であり、例えば円形状を呈している。複数の仮想面 15 のそれぞれは、表面 20 a 側から見た場合に互いに重なるように設定されている。Ga N インゴット 20 には、複数の仮想面 15 のそれぞれを囲むように複数の周縁領域 16 が設定されている。つまり、複数の仮想面 15 のそれぞれは、Ga N インゴット 20 の側面 20 b に至っていない。一例として、隣り合う仮想面 15 間の距離は $100\text{ }\mu\text{m}$ であり、周縁領域 16 の幅（本実施形態では、仮想面 15 の外縁と側面 20 b との距離）は $30\text{ }\mu\text{m}$ 以上である。

[0031] 複数の改質スポット 13 の形成は、例えば 532 nm の波長を有するレーザー光 L の照射によって、表面 20 a とは反対側から 1 つの仮想面 15 ごとに順次実施される。複数の改質スポット 13 の形成は、複数の仮想面 15 のそれぞれにおいて同様であるため、以下、表面 20 a に最も近い仮想面 15 に沿った複数の改質スポット 13 の形成について、図 4 ～ 図 11 を参照して詳細に説明する。なお、図 5、図 7、図 9 及び図 11 において、矢印は、レーザー光 L の集光点 C の軌跡を示している。また、後述する改質スポット 13 a、13 b、13 c、13 d を包括して改質スポット 13 といい、後述する亀裂 14 a、14 b、14 c、14 d を包括して亀裂 14 という場合がある。

[0032] まず、レーザー加工装置 1 が、図 4 及び図 5 に示されるように、表面 20 a から Ga N インゴット 20 の内部にレーザー光 L を入射させて照射することにより、仮想面 15 に沿って（例えば、仮想面 15 の全体に沿って 2 次元に並ぶように）複数の改質スポット 13 a（第 1 改質スポット）を形成する（工程 S1）。このとき、レーザー加工装置 1 は、複数の改質スポット 13 a からそれぞれ延びる複数の亀裂 14 a が互いに繋がらないように、複数の改質スポット 13 a を形成する。また、レーザー加工装置 1 は、パルス発振されたレーザー光 L の集光点 C を仮想面 15 に沿って移動させることにより、複数列の改質スポット 13 a を形成する。なお、図 4 及び図 5 では、改質スポット 13 a が白抜き（ハッチングなし）で示されており、亀裂 14 a が延びる範囲

が破線で示されている（図6～図11でも同様）。また、このとき、改質スポット13aのそれぞれにおいて析出されたガリウムが、亀裂14a内に入り込むように拡がることによって、改質スポット13aの周囲に、析出されたガリウムを含む析出領域Rが形成される。

[0033] ここでは、パルス発振されたレーザ光Lが、Y方向に並ぶ複数（例えば6つ）の集光点Cに集光されるように、空間光変調器4によって変調される。そして、複数の集光点Cが、X方向に沿って仮想面15上を相対的に移動させられる。一例として、Y方向において隣り合う集光点C間の距離は $8\mu\text{m}$ であり、レーザ光Lのパルスピッチ（すなわち、複数の集光点Cの相対的な移動速度を、レーザ光Lの繰り返し周波数で除した値）は $10\mu\text{m}$ である。また、1つの集光点C当たりのレーザ光Lのパルスエネルギー（以下、単に「レーザ光Lのパルスエネルギー」という）は、 $0.33\mu\text{J}$ である。この場合、Y方向において隣り合う改質スポット13aの中心間距離は $8\mu\text{m}$ となり、X方向において隣り合う改質スポット13aの中心間距離は $10\mu\text{m}$ となる。また、複数の改質スポット13aからそれぞれ延びる複数の亀裂14aは互いに繋がらない。

[0034] 続いて、レーザ加工装置1が、図6及び図7に示されるように、表面20aからGaNインゴット20の内部にレーザ光Lを入射させて照射することにより、仮想面15に沿って（例えば、仮想面15の全体に沿って2次元に並ぶように）複数の改質スポット（第2改質スポット）13bを形成する（工程S2）。このとき、レーザ加工装置1は、複数の改質スポット13a及び複数の亀裂14aに重ならないように、複数の改質スポット13bを形成する。また、レーザ加工装置1は、パルス発振されたレーザ光Lの集光点Cを複数列の改質スポット13aの列間において仮想面15に沿って移動させることにより、複数列の改質スポット13bを形成する。この工程では、複数の改質スポット13bからそれぞれ延びる複数の亀裂14bが、複数の亀裂14aに繋がってもよい。なお、図6及び図7では、改質スポット13bがドットハッチングで示されており、亀裂14bが延びる範囲が破線で示さ

れている（図8～図11でも同様）。また、このとき、改質スポット13bのそれぞれにおいて析出されたガリウムが、亀裂14b内に入り込むように拡がることによって、改質スポット13bの周囲に、析出されたガリウムを含む析出領域Rが形成される。

[0035] ここでは、パルス発振されたレーザ光Lが、Y方向に並ぶ複数（例えば6つ）の集光点Cに集光されるように、空間光変調器4によって変調される。そして、複数の集光点Cが、複数列の改質スポット13aの列間の中心において、X方向に沿って仮想面15上を相対的に移動させられる。一例として、Y方向において隣り合う集光点C間の距離は $8\mu\text{m}$ であり、レーザ光Lのパルスピッチは $10\mu\text{m}$ である。また、レーザ光Lのパルスエネルギーは、 $0.33\mu\text{J}$ である。この場合、Y方向において隣り合う改質スポット13bの中心間距離は $8\mu\text{m}$ となり、X方向において隣り合う改質スポット13bの中心間距離は $10\mu\text{m}$ となる。

[0036] 続いて、レーザ加工装置1が、図8及び図9に示されるように、表面20aからGaNインゴット20の内部にレーザ光Lを入射させて照射することにより、仮想面15に沿って（例えば、仮想面15の全体に沿って2次元に並ぶように）複数の改質スポット（第3改質スポット）13cを形成する（工程S3）。更に、レーザ加工装置1が、図10及び図11に示されるように、表面20aからGaNインゴット20の内部にレーザ光Lを入射させて照射することにより、仮想面15に沿って（例えば、仮想面15の全体に沿って2次元に並ぶように）複数の改質スポット（第3改質スポット）13dを形成する（工程S4）。このとき、レーザ加工装置1は、複数の改質スポット13a、13bに重ならないように、複数の改質スポット13c、13dを形成する。

[0037] また、レーザ加工装置1は、パルス発振されたレーザ光Lの集光点Cを複数列の改質スポット13a、13bの列間において仮想面15に沿って移動させることにより、複数列の改質スポット13c、13dを形成する。この工程では、複数の改質スポット13c、13dからそれぞれ延びる複数の亀

裂14c, 14dが、複数の亀裂14a, 14bに繋がってもよい。なお、図8及び図9では、改質スポット13cが実線ハッチングで示されており、亀裂14cが延びる範囲が破線で示されている（図10及び図11でも同様）。また、図10及び図11では、改質スポット13dが実線ハッチング（改質スポット13cの実線ハッチングとは逆に傾斜する実線ハッチング）で示されており、亀裂14dが延びる範囲が破線で示されている。また、このとき、改質スポット13c, 13dのそれぞれにおいて析出されたガリウムが、亀裂14c, 14d内に入り込むように拡がることによって、改質スポット13c, 13dの周囲に、析出されたガリウムを含む析出領域Rが形成される。

[0038] ここでは、パルス発振されたレーザ光Lが、Y方向に並ぶ複数（例えば6つ）の集光点Cに集光されるように、空間光変調器4によって変調される。そして、複数の集光点Cが、複数列の改質スポット13a, 13bの列間の中心において、X方向に沿って仮想面15上を相対的に移動させられる。一例として、Y方向において隣り合う集光点C間の距離は8 μ mであり、レーザ光Lのパルスピッチは5 μ mである。また、レーザ光Lのパルスエネルギーは、0.33 μ Jである。この場合、Y方向において隣り合う改質スポット13cの中心間距離は8 μ mとなり、X方向において隣り合う改質スポット13cの中心間距離は5 μ mとなる。また、Y方向において隣り合う改質スポット13dの中心間距離は8 μ mとなり、X方向において隣り合う改質スポット13dの中心間距離は5 μ mとなる。

[0039] 続いて、ヒータ等を備える加熱装置が、GaNインゴット20を加熱し、複数の仮想面15のそれぞれにおいて、複数の改質スポット13からそれぞれ延びる複数の亀裂14を互いに繋げることにより、図12に示されるように、複数の仮想面15のそれぞれにおいて、仮想面15に渡る亀裂17（以下、単に「亀裂17」という）を形成する。図12では、複数の改質スポット13及び複数の亀裂14、並びに、亀裂17が形成される範囲が破線で示されている。なお、加熱以外の方法でGaNインゴット20に何らかの力を

作用させることにより、複数の亀裂１４を互いに繋げて亀裂１７を形成してもよい。また、仮想面１５に沿って複数の改質スポット１３を形成することにより、複数の亀裂１４を互いに繋げて亀裂１７を形成してもよい。

[0040] ここで、GaNインゴット２０においては、複数の改質スポット１３からそれぞれ延びる複数の亀裂１４内に窒素ガスが生じている。そのため、GaNインゴット２０を加熱して窒素ガスを膨張させることにより、窒素ガスの圧力（内圧）を利用して亀裂１７を形成することができる。しかも、周縁領域１６によって、当該周縁領域１６が囲む仮想面１５の外部（例えば、GaNインゴット２０の側面２０ｂ）への複数の亀裂１４の進展が阻まれるため、複数の亀裂１４内に生じた窒素ガスが仮想面１５の外部に逃げるのを抑制することができる。つまり、周縁領域１６は、改質スポット１３を含まない非改質領域であって、当該周縁領域１６が囲む仮想面１５に亀裂１７が形成される際に、当該周縁領域１６が囲む仮想面１５の外部への複数の亀裂１４の進展を阻む領域である。そのために、周縁領域１６の幅を $30\mu\text{m}$ 以上とすることができる。

[0041] 続いて、研削装置が、GaNインゴット２０のうち複数の周縁領域１６及び複数の仮想面１５のそれぞれに対応する部分を研削（研磨）することにより、図１３に示されるように、複数の亀裂１７のそれぞれを境界としてGaNインゴット２０から複数のGaNウェハ３０を取得する（工程Ｓ５）。このように、GaNインゴット２０は、複数の仮想面１５のそれぞれに沿って切断される。なお、この工程では、研削以外の機械加工、レーザ加工等によって、GaNインゴット２０のうち複数の周縁領域１６に対応する部分を除去してもよい。

[0042] 以上の工程のうち、複数の仮想面１５のそれぞれに沿って複数の改質スポット１３を形成する工程までが、第１例のレーザ加工方法である。また、以上の工程のうち、複数の亀裂１７のそれぞれを境界としてGaNインゴット２０から複数のGaNウェハ３０を取得する工程までが、第１例の半導体部材製造方法である。

[0043] 以上説明したように、第1例のレーザ加工方法では、複数の仮想面15のそれぞれに沿って複数の改質スポット13aを形成し、複数の改質スポット13a及び複数の亀裂14aに重ならないように、複数の仮想面15のそれぞれに沿って複数の改質スポット13bを形成する。更に、第1例のレーザ加工方法では、複数の改質スポット13a、13bに重ならないように、複数の仮想面15のそれぞれに沿って複数の改質スポット13c、13dを形成する。これにより、複数の仮想面15のそれぞれに沿って複数の改質スポット13を精度良く形成することができ、その結果、複数の仮想面15のそれぞれに沿って亀裂17を精度良く形成することが可能となる。よって、第1例のレーザ加工方法によれば、複数の亀裂17のそれぞれを境界としてGaNインゴット20から複数のGaNウェハ30を取得することにより、複数の好適なGaNウェハ30の取得が可能となる。

[0044] 同様に、第1例のレーザ加工方法を実施するレーザ加工装置1によれば、複数の仮想面15のそれぞれに沿って亀裂17を精度良く形成することが可能となるため、複数の好適なGaNウェハ30の取得が可能となる。

[0045] また、第1例のレーザ加工方法では、複数の改質スポット13aからそれぞれ延びる複数の亀裂14aが互いに繋がらないように、複数の改質スポット13aを形成する。これにより、複数の改質スポット13bを仮想面15に沿ってより精度良く形成することができる。

[0046] また、第1例のレーザ加工方法では、パルス発振されたレーザ光Lの集光点Cを仮想面15に沿って移動させることにより、複数の改質スポット13aを形成し、パルス発振されたレーザ光Lの集光点Cを複数の改質スポット13aの列間において仮想面15に沿って移動させることにより、複数の改質スポット13bを形成する。これにより、複数の改質スポット13a及び複数の亀裂14aに複数の改質スポット13bが重なるのを確実に防止して、複数の改質スポット13bを仮想面15に沿ってより精度良く形成することができる。

[0047] 特に、第1例のレーザ加工方法では、GaNインゴット20の材料に含ま

れる窒化ガリウムがレーザ光Lの照射によって分解されると、複数の改質スポット13aからそれぞれ延びる複数の亀裂14aにガリウムが析出し（析出領域Rが形成され）、当該ガリウムによってレーザ光Lが吸収され易い状態となる。そのため、当該亀裂14aに重ならないように複数の改質スポット13bを形成することは、複数の改質スポット13bを仮想面15に沿って精度良く形成する上で有効である。

[0048] また、第1例のレーザ加工方法では、GaNインゴット20の材料に含まれる窒化ガリウムがレーザ光Lの照射によって分解されると、複数の亀裂14内に窒素ガスが生じる。そのため、当該窒素ガスの圧力を利用して、亀裂17を容易に形成することが可能となる。

[0049] また、第1例の半導体部材製造方法によれば、第1例のレーザ加工方法に含まれる工程によって、複数の仮想面15のそれぞれに沿って亀裂17を精度良く形成することが可能となるため、複数の好適なGaNウェハ30の取得が可能となる。

[0050] また、第1例の半導体部材製造方法では、複数の仮想面15が、GaNインゴット20の表面20aに対向する方向に並ぶように設定されている。これにより、1つのGaNインゴット20から複数のGaNウェハ30の取得が可能となる。

[0051] ここで、第1例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法によって形成されたGaNウェハ30では、GaNウェハ30の剥離面に現れる凹凸が小さくなることを示す実験結果について説明する。

[0052] 図14は、一例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法によって形成されたGaNウェハの剥離面の画像であり、図15の(a)及び(b)は、図14に示される剥離面の高さプロファイルである。この例では、532nmの波長を有するレーザ光LをGaNインゴット20の表面20aからGaNインゴット20の内部に入射させ、1つの集光点Cを、X方向に沿って仮想面15上を相対的に移動させることにより、仮想面15に沿って複数の改質スポット13を形成した。このとき、Y方向において隣り合う集光点C間の

距離を $10\ \mu\text{m}$ 、レーザ光 L のパルスピッチを $1\ \mu\text{m}$ 、レーザ光 L のパルスエネルギーを $1\ \mu\text{J}$ とした。この場合、図 15 の (a) 及び (b) に示されるように、Ga N ウェハ 30 の剥離面（亀裂 17 によって形成された面）に $25\ \mu\text{m}$ 程度の凹凸が現れた。

[0053] 図 16 は、他の例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法によって形成された Ga N ウェハの剥離面の画像であり、図 17 の (a) 及び (b) は、図 16 に示される剥離面の高さプロファイルである。この例では、 $532\ \text{nm}$ の波長を有するレーザ光 L を Ga N インゴット 20 の表面 20 a から Ga N インゴット 20 の内部に入射させ、第 1 実施形態のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法の第 1 工程及び第 2 工程と同様に、仮想面 15 に沿って複数の改質スポット 13 を形成した。複数の改質スポット 13 a を形成する際には、Y 方向において隣り合う集光点 C 間の距離を $6\ \mu\text{m}$ 、レーザ光 L のパルスピッチを $10\ \mu\text{m}$ 、レーザ光 L のパルスエネルギーを $0.33\ \mu\text{J}$ とした。複数の改質スポット 13 b を形成する際には、Y 方向において隣り合う集光点 C 間の距離を $6\ \mu\text{m}$ 、レーザ光 L のパルスピッチを $10\ \mu\text{m}$ 、レーザ光 L のパルスエネルギーを $0.33\ \mu\text{J}$ とした。複数の改質スポット 13 c を形成する際には、Y 方向において隣り合う集光点 C 間の距離を $6\ \mu\text{m}$ 、レーザ光 L のパルスピッチを $5\ \mu\text{m}$ 、レーザ光 L のパルスエネルギーを $0.33\ \mu\text{J}$ とした。複数の改質スポット 13 d を形成する際には、Y 方向において隣り合う集光点 C 間の距離を $6\ \mu\text{m}$ 、レーザ光 L のパルスピッチを $5\ \mu\text{m}$ 、レーザ光 L のパルスエネルギーを $0.33\ \mu\text{J}$ とした。この場合、図 17 の (a) 及び (b) に示されるように、Ga N ウェハ 30 の剥離面に $5\ \mu\text{m}$ 程度の凹凸が現れた。

[0054] 以上の実験結果から、第 1 例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法によって形成された Ga N ウェハでは、Ga N ウェハ 30 の剥離面に現れる凹凸が小さくなること、すなわち、仮想面 15 に沿って亀裂 17 が精度良く形成されることが分かった。なお、Ga N ウェハ 30 の剥離面に現れる凹凸が小さくなると、当該剥離面を平坦化するための研削量が少なくて済む。した

がって、GaNウェハ30の剥離面に現れる凹凸が小さくなることは、材料の利用効率的にも生産効率的にも有利である。

[0055] 次に、GaNウェハ30の剥離面に凹凸が現れる原理について説明する。

[0056] 例えば、図18に示されるように、仮想面15に沿って複数の改質スポット13aを形成し、改質スポット13bがその一方の側の改質スポット13aから延びる亀裂14aに重なるように、仮想面15に沿って複数の改質スポット13bを形成する。この場合には、複数の亀裂14aに析出したガリウムによってレーザ光Lが吸収され易い状態にあるため、集光点Cが仮想面15上に位置していても、改質スポット13aに対してレーザ光Lの入射側に改質スポット13bが形成され易くなる。続いて、改質スポット13cがその一方の側の改質スポット13bから延びる亀裂14bに重なるように、仮想面15に沿って複数の改質スポット13cを形成する。この場合にも、複数の亀裂14bに析出したガリウムによってレーザ光Lが吸収され易い状態にあるため、集光点Cが仮想面15上に位置していても、改質スポット13bに対してレーザ光Lの入射側に改質スポット13cが形成され易くなる。このように、この例では、複数の改質スポット13bが複数の改質スポット13aに対してレーザ光Lの入射側に形成され、更に、複数の改質スポット13cが複数の改質スポット13bに対してレーザ光Lの入射側に形成され易くなる。

[0057] それに対し、例えば、図19に示されるように、仮想面15に沿って複数の改質スポット13aを形成し、改質スポット13bがその両側の改質スポット13aから延びる亀裂14aに重ならないように、仮想面15に沿って複数の改質スポット13bを形成する。この場合には、複数の亀裂14aに析出したガリウムによってレーザ光Lが吸収され易い状態にあるものの、改質スポット13bが亀裂14aに重ならないため、改質スポット13bも、改質スポット13aと同様に仮想面15上に形成される。続いて、改質スポット13cがその両側の改質スポット13a、13bのそれぞれから延びる亀裂14a、14bに重なるように、仮想面15に沿って複数の改質スポッ

ト 1 3 c を形成する。更に、改質スポット 1 3 d がその両側の改質スポット 1 3 a, 1 3 b のそれぞれから延びる亀裂 1 4 a, 1 4 b に重なるように、仮想面 1 5 に沿って複数の改質スポット 1 3 d を形成する。これらの場合には、複数の亀裂 1 4 a, 1 4 b に析出したガリウムによってレーザ光 L が吸収され易い状態にあるため、集光点 C が仮想面 1 5 上に位置していても、改質スポット 1 3 a, 1 3 b に対してレーザ光 L の入射側に改質スポット 1 3 c, 1 3 d が形成され易くなる。このように、この例では、複数の改質スポット 1 3 c, 1 3 d が複数の改質スポット 1 3 a, 1 3 b に対してレーザ光 L の入射側に形成され易くなるだけである。

[0058] 以上の原理から、第 1 例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法においては、複数の改質スポット 1 3 a 及び複数の改質スポット 1 3 b からそれぞれ延びる複数の亀裂 1 4 a に重ならないように、複数の改質スポット 1 3 b を形成することが、Ga N ウェハ 3 0 の剥離面に現れる凹凸を小さくする上で極めて重要であることが分かる。

[0059] 次に、第 1 例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法においては、仮想面 1 5 に沿って亀裂 1 7 が精度良く進展することを示す実験結果について説明する。

[0060] 図 2 0 の (a) 及び (b) は、一例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法の途中で形成された亀裂の画像であり、図 2 0 の (b) は、図 2 0 の (a) における矩形枠内の拡大画像である。この例では、5 3 2 n m の波長を有するレーザ光 L を Ga N インゴット 2 0 の表面 2 0 a から Ga N インゴット 2 0 の内部に入射させ、Y 方向に並ぶ 6 つの集光点 C を、X 方向に沿って仮想面 1 5 上を相対的に移動させることにより、仮想面 1 5 に沿って複数の改質スポット 1 3 を形成した。このとき、Y 方向において隣り合う集光点 C 間の距離を 6 μ m、レーザ光 L のパルスピッチを 1 μ m、レーザ光 L のパルスエネルギーを 1 . 3 3 μ J とした。そして、レーザ加工を仮想面 1 5 の途中で停止させた。この場合、図 2 0 の (a) 及び (b) に示されるように、加工領域から未加工領域に進展した亀裂が、未加工領域において仮想面 1 5

から大きく外れた。

[0061] 図21の(a)及び(b)は、他の例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法の途中で形成された亀裂の画像であり、図21の(b)は、図21の(a)における矩形枠内の拡大画像である。この例では、532nmの波長を有するレーザ光LをGaNインゴット20の表面20aからGaNインゴット20の内部に入射させ、Y方向に並ぶ6つの集光点Cを、X方向に沿って仮想面15上を相対的に移動させることにより、仮想面15に沿って複数の改質スポット13を形成した。具体的には、まず、Y方向において隣り合う集光点C間の距離を6 μ m、レーザ光Lのパルスピッチを10 μ m、レーザ光Lのパルスエネルギーを0.33 μ Jとして、加工領域1及び加工領域2に複数列の改質スポット13を形成した。続いて、Y方向において隣り合う集光点C間の距離を6 μ m、レーザ光Lのパルスピッチを10 μ m、レーザ光Lのパルスエネルギーを0.33 μ Jとして、加工領域1及び加工領域2に、既に形成された複数列の改質スポット13の列間の中心にそれぞれの列が位置するように複数列の改質スポット13を形成した。続いて、Y方向において隣り合う集光点C間の距離を6 μ m、レーザ光Lのパルスピッチを5 μ m、レーザ光Lのパルスエネルギーを0.33 μ Jとして、加工領域1のみに、既に形成された複数列の改質スポット13の列間の中心にそれぞれの列が位置するように複数列の改質スポット13を形成した。この場合、図21の(a)及び(b)に示されるように、加工領域1から加工領域2に進展した亀裂が、加工領域2において仮想面15から大きく外れなかった。

[0062] 以上の実験結果から、第1例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法においては、仮想面15に沿って亀裂17が精度良く進展することが分かった。これは、加工領域2に先に形成された複数の改質スポット13が、亀裂が進展する際にガイドになったためと想定される。

[0063] 次に、第1例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法においては、改質スポット13からレーザ光Lの入射側及びその反対側に延びる亀裂14の延び量が抑制されることを示す実験結果について説明する。

[0064] 図22は、比較例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法によって形成された改質スポット及び亀裂の画像（側面視での画像）である。この比較例では、532nmの波長を有するレーザ光LをGaNインゴット20の表面20aからGaNインゴット20の内部に入射させ、1つの集光点Cを、X方向に沿って仮想面15上を相対的に移動させることにより、仮想面15に沿って複数の改質スポット13を形成した。具体的には、Y方向において隣り合う集光点C間の距離を2 μ m、レーザ光Lのパルスピッチを5 μ m、レーザ光Lのパルスエネルギーを0.3 μ Jとして、仮想面15に沿って複数の改質スポット13を形成した。この場合、図22に示されるように、改質スポット13からレーザ光Lの入射側及びその反対側に延びる亀裂14の延び量が100 μ m程度となった。

[0065] 図23は、第1実施例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法によって形成された改質スポット及び亀裂の画像であり、図23の（a）は平面視での画像、図23の（b）は側面視での画像である。この第1実施例では、532nmの波長を有するレーザ光LをGaNインゴット20の表面20aからGaNインゴット20の内部に入射させ、Y方向に並ぶ6つの集光点Cを、X方向に沿って仮想面15上を相対的に移動させることにより、仮想面15に沿って複数の改質スポット13を形成した。具体的には、まず、Y方向において隣り合う集光点C間の距離を8 μ m、レーザ光Lのパルスピッチを10 μ m、レーザ光Lのパルスエネルギーを0.3 μ Jとして、仮想面15に沿って複数の改質スポット13aを形成した。続いて、Y方向に並ぶ6つの集光点Cを先の状態からY方向に+4 μ mずらした状態で、Y方向において隣り合う集光点C間の距離を8 μ m、レーザ光Lのパルスピッチを10 μ m、レーザ光Lのパルスエネルギーを0.3 μ Jとして、仮想面15に沿って複数の改質スポット13bを形成した。続いて、Y方向に並ぶ6つの集光点Cを先の状態からY方向に-4 μ mずらした状態で、Y方向において隣り合う集光点C間の距離を8 μ m、レーザ光Lのパルスピッチを5 μ m、レーザ光Lのパルスエネルギーを0.3 μ Jとして、仮想面15に沿って複数の

改質スポット13を形成した。続いて、Y方向に並ぶ6つの集光点Cを先の状態からY方向に+4 μm ずらした状態で、Y方向において隣り合う集光点C間の距離を8 μm 、レーザ光Lのパルスピッチを5 μm 、レーザ光Lのパルスエネルギーを0.3 μJ として、仮想面15に沿って複数の改質スポット13を形成した。これにより、1回目に形成した改質スポット13aと3回目に形成した改質スポット13とが互いに重なり、2回目に形成した改質スポット13bと4回目に形成した改質スポット13とが互いに重なっていると想定される。この場合、図23の(b)に示されるように、改質スポット13からレーザ光Lの入射側及びその反対側に延びる亀裂14の伸び量が70 μm 程度となった。

[0066] 図24の(a)及び(b)は、第2実施例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法によって形成された改質スポット及び亀裂の画像であり、図24の(a)は平面視での画像、図24の(b)は側面視での画像である。この第2実施例では、532 nmの波長を有するレーザ光LをGa Nインゴット20の表面20aからGa Nインゴット20の内部に入射させ、第1例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法の第1工程及び第2工程と同様に、仮想面15に沿って複数の改質スポット13を形成した。複数の改質スポット13aを形成する際には、Y方向において隣り合う集光点C間の距離を8 μm 、レーザ光Lのパルスピッチを10 μm 、レーザ光Lのパルスエネルギーを0.3 μJ とした。複数の改質スポット13bを形成する際には、Y方向において隣り合う集光点C間の距離を8 μm 、レーザ光Lのパルスピッチを10 μm 、レーザ光Lのパルスエネルギーを0.3 μJ とした。複数の改質スポット13cを形成する際には、Y方向において隣り合う集光点C間の距離を8 μm 、レーザ光Lのパルスピッチを5 μm 、レーザ光Lのパルスエネルギーを0.3 μJ とした。複数の改質スポット13dを形成する際には、Y方向において隣り合う集光点C間の距離を8 μm 、レーザ光Lのパルスピッチを5 μm 、レーザ光Lのパルスエネルギーを0.3 μJ とした。この場合、図24の(b)に示されるように、改質スポット13からレーザ光Lの

入射側及びその反対側に延びる亀裂 14 の延び量が $50\text{ }\mu\text{m}$ 程度となった。

[0067] 図 24 の (c) 及び (d) は、第 3 実施例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法によって形成された改質スポット及び亀裂の画像であり、図 24 の (c) は平面視での画像、図 24 の (d) は側面視での画像である。この第 3 実施例では、図 24 の (a) 及び (b) に示される状態にある仮想面 15 (すなわち、複数列の改質スポット 13 が既に形成された仮想面 15) に沿って、更に、複数の改質スポット 13 を形成した。具体的には、まず、Y 方向において隣り合う集光点 C 間の距離を $8\text{ }\mu\text{m}$ 、レーザ光 L のパルスピッチを $5\text{ }\mu\text{m}$ 、レーザ光 L のパルスエネルギーを $0.1\text{ }\mu\text{J}$ として、既に形成された複数列の改質スポット 13 の列間の中心にそれぞれの列が位置するように複数列の改質スポット 13 を形成した。この場合、図 24 の (d) に示されるように、改質スポット 13 からレーザ光 L の入射側及びその反対側に延びる亀裂 14 の延び量が $60\text{ }\mu\text{m}$ 程度となった。

[0068] 以上の実験結果から、仮想面 15 に沿って既に形成された複数の改質スポット 13 a 及び複数の亀裂 14 a に重ならないように、仮想面 15 に沿って複数の改質スポット 13 b を形成すれば (第 1 実施例、第 2 実施例及び第 3 実施例)、改質スポット 13 からレーザ光 L の入射側及びその反対側に延びる亀裂 14 の延び量が抑制されることが分かった。仮想面 15 に沿って更に複数の改質スポット 13 を形成する場合には、仮想面 15 に沿って既に形成された複数の改質スポット 13 a, 13 b に重ならないように、仮想面 15 に沿って複数の改質スポット 13 すれば (第 2 実施例及び第 3 実施例)、改質スポット 13 からレーザ光 L の入射側及びその反対側に延びる亀裂 14 の延び量がより一層抑制されることが分かった。

[第 2 例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法]

[0069] 第 2 例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法の対象物 11 は、図 25 に示されるように、GaN によって例えば円板状に形成された GaN ウェハ (半導体ウェハ、半導体対象物) 30 である。一例として、GaN ウェハ 30 の直径は 2 in であり、GaN ウェハ 30 の厚さは $100\text{ }\mu\text{m}$ である。第

2例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法は、Ga_{0.5}N_{0.5}ウェハ30から複数の半導体デバイス（半導体部材）40を切り出すために実施される。一例として、半導体デバイス40のGa_{0.5}N_{0.5}基板部分の外形は1mm×1mmであり、半導体デバイス40のGa_{0.5}N_{0.5}基板部分の厚さは数十μmである。

[0070] まず、上述したレーザ加工装置1が、複数の仮想面15のそれぞれに沿って複数の改質スポット13を形成する。複数の仮想面15のそれぞれは、Ga_{0.5}N_{0.5}ウェハ30の内部においてGa_{0.5}N_{0.5}ウェハ30の表面30aに対向する面であり、表面30aが延在する方向に並ぶように設定されている。本実施形態では、複数の仮想面15のそれぞれは、表面30aに平行な面であり、例えば矩形状を呈している。複数の仮想面15のそれぞれは、Ga_{0.5}N_{0.5}ウェハ30のオリエンテーションフラット31に平行な方向及び垂直な方向に2次元状に並ぶように設定されている。Ga_{0.5}N_{0.5}ウェハ30には、複数の仮想面15のそれぞれを囲むように複数の周縁領域16が設定されている。つまり、複数の仮想面15のそれぞれは、Ga_{0.5}N_{0.5}ウェハ30の側面30bに至っていない。一例として、複数の仮想面15のそれぞれに対応する周縁領域16の幅（第2例では、隣り合う仮想面15間の距離の半分）は30μm以上である。

[0071] 複数の仮想面15のそれぞれに沿った複数の改質スポット13の形成は、第1例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法の工程S1～工程S4と同様に、実施される。これにより、Ga_{0.5}N_{0.5}ウェハ30においては、図26に示されるように、複数の仮想面15のそれぞれに沿って、複数の改質スポット13（すなわち、改質スポット13a, 13b, 13c, 13d）及び複数の亀裂14（すなわち、亀裂14a, 14b, 14c, 14d）が形成される。図26では、複数の改質スポット13及び複数の亀裂14が形成される範囲が破線で示されている。

[0072] 続いて、半導体製造装置が、図27に示されるように、Ga_{0.5}N_{0.5}ウェハ30の表面30aに複数の機能素子32を形成する。複数の機能素子32のそれぞれは、Ga_{0.5}N_{0.5}ウェハ30の厚さ方向から見た場合に1つの機能素子32が

1つの仮想面15に含まれるように、形成される。機能素子32は、例えば、フォトダイオード等の受光素子、レーザダイオード等の発光素子、メモリ等の回路素子等である。

[0073] 第2例では、表面30aに複数の機能素子32を形成する際に、半導体製造装置が加熱装置として機能する。つまり、表面30aに複数の機能素子32を形成する際に、半導体製造装置が、GaNウェハ30を加熱し、複数の仮想面15のそれぞれにおいて、複数の改質スポット13からそれぞれ延びる複数の亀裂14を互いに繋げることにより、複数の仮想面15のそれぞれにおいて、亀裂17（すなわち、仮想面15に渡る亀裂17）を形成する。図27では、複数の改質スポット13及び複数の亀裂14、並びに、亀裂17が形成される範囲が破線で示されている。なお、半導体製造装置とは別の加熱装置が用いられてもよい。また、加熱以外の方法でGaNウェハ30に何らかの力を作用させることにより、複数の亀裂14を互いに繋げて亀裂17を形成してもよい。また、仮想面15に沿って複数の改質スポット13を形成することにより、複数の亀裂14を互いに繋げて亀裂17を形成してもよい。

[0074] ここで、GaNウェハ30においては、複数の改質スポット13からそれぞれ延びる複数の亀裂14内に窒素ガスが生じている。そのため、GaNインゴット20を加熱して窒素ガスを膨張させることにより、窒素ガスの圧力を利用して亀裂17を形成することができる。しかも、周縁領域16によって、当該周縁領域16が囲む仮想面15の外部（例えば、隣り合う仮想面15、GaNウェハ30の側面30b）への複数の亀裂14の進展が阻まれるため、複数の亀裂14内に生じた窒素ガスが仮想面15の外部に逃げるのを抑制することができる。つまり、周縁領域16は、改質スポット13を含まない非改質領域であって、当該周縁領域16が囲む仮想面15に亀裂17が形成される際に、当該周縁領域16が囲む仮想面15の外部への複数の亀裂14の進展を阻む領域である。そのために、周縁領域16の幅を30 μ m以上とすることができる。

[0075] 続いて、レーザ加工装置が、GaNウェハ30を機能素子32ごとに切断すると共に、研削装置が、複数の仮想面15のそれぞれに対応する部分を研削することにより、図28に示されるように、複数の亀裂17のそれぞれを境界としてGaNウェハ30から複数の半導体デバイス40を取得する（工程S6）。このように、GaNウェハ30は、複数の仮想面15のそれぞれに沿って切断される。なお、この工程では、レーザ加工以外の機械加工（例えばブレードダイシング）等によって、GaNウェハ30を機能素子32ごとに切断してもよい。

[0076] 以上の工程のうち、複数の仮想面15のそれぞれに沿って複数の改質スポット13を形成する工程までが、第2例のレーザ加工方法である。また、以上の工程のうち、複数の亀裂17のそれぞれを境界としてGaNウェハ30から複数の半導体デバイス40を取得する工程までが、第2例の半導体部材製造方法である。

[0077] 以上説明したように、第2例のレーザ加工方法よれば、第1例のレーザ加工方法と同様に、複数の仮想面15のそれぞれに沿って複数の改質スポット13を精度良く形成することができ、その結果、複数の仮想面15のそれぞれに沿って亀裂17を精度良く形成することが可能となる。よって、第2例のレーザ加工方法によれば、複数の亀裂17のそれぞれを境界としてGaNウェハ30から複数の半導体デバイス40を取得することにより、複数の好適な半導体デバイス40の取得が可能となる。また、複数の半導体デバイス40を切り出した後のGaNウェハ30を再利用することも可能となる。

[0078] 同様に、第2例のレーザ加工方法を実施するレーザ加工装置1によれば、複数の仮想面15のそれぞれに沿って亀裂17を精度良く形成することが可能となるため、複数の好適な半導体デバイス40の取得が可能となる。

[0079] また、第2例のレーザ加工方法では、複数の改質スポット13aからそれぞれ延びる複数の亀裂14aが互いに繋がらないように、複数の改質スポット13aを形成する。これにより、複数の改質スポット13bを仮想面15に沿ってより精度良く形成することができる。

[0080] また、第2例のレーザ加工方法では、パルス発振されたレーザ光Lの集光点Cを仮想面15に沿って移動させることにより、複数列の改質スポット13aを形成し、パルス発振されたレーザ光Lの集光点Cを複数列の改質スポット13aの列間において仮想面15に沿って移動させることにより、複数列の改質スポット13bを形成する。これにより、複数の改質スポット13a及び複数の亀裂14aに複数の改質スポット13bが重なるのを確実に防止して、複数の改質スポット13bを仮想面15に沿ってより精度良く形成することができる。

[0081] 特に、第2例のレーザ加工方法では、Ga₂N₃O₂の材料に含まれる窒化ガリウムがレーザ光Lの照射によって分解されると、複数の改質スポット13aからそれぞれ延びる複数の亀裂14aにガリウムが析出し、当該ガリウムによってレーザ光Lが吸収され易い状態となる。そのため、当該亀裂14aに重ならないように複数の改質スポット13bを形成することは、複数の改質スポット13bを仮想面15に沿って精度良く形成する上で有効である。

[0082] また、第2例のレーザ加工方法では、Ga₂N₃O₂の材料に含まれる窒化ガリウムがレーザ光Lの照射によって分解されると、複数の亀裂14内に窒素ガスが生じる。そのため、当該窒素ガスの圧力を利用して、亀裂17を容易に形成することが可能となる。

[0083] また、第2例の半導体部材製造方法によれば、第2実施形態のレーザ加工方法に含まれる工程によって、複数の仮想面15のそれぞれに沿って亀裂17を精度良く形成することが可能となるため、複数の好適な半導体デバイス40の取得が可能となる。

[0084] また、第2例の半導体部材製造方法では、複数の仮想面15が、Ga₂N₃O₂の表面30aが延在する方向に並ぶように設定されている。これにより、1つのGa₂N₃O₂から複数の半導体デバイス40の取得が可能となる。

[変形例]

[0085] 上述した例は、任意に変形可能である。例えば、レーザ光Lに関する各種数値は、上述したものに限定されない。ただし、亀裂14が改質スポット13からレーザ光Lの入射側及びその反対側に延びるのを抑制するためには、レーザ光Lのパルスエネルギーが $0.1\mu\text{J} \sim 1\mu\text{J}$ であり且つレーザ光Lのパルス幅が $200\text{fs} \sim 1\text{ns}$ とされ得る。

[0086] また、レーザ加工方法及び半導体部材製造方法によって加工される半導体対象物は、第1例のGaNインゴット20及び第2例のGaNウェハ30に限定されない。半導体部材製造方法によって製造される半導体部材は、第1例のGaNウェハ30及び第2例の半導体デバイス40に限定されない。1つの半導体対象物に1つの仮想面が設定されてもよい。

[0087] 一例として、半導体対象物の材料は、SiCであってもよい。その場合にも、レーザ加工方法及び半導体部材製造方法によれば、次に述べるように、仮想面に渡る亀裂を仮想面に沿って精度良く形成することが可能となる。

[0088] 図29の(a)及び(b)は、比較例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法によって形成されたSiCウェハの亀裂の画像(側面視での画像)であり、図29の(b)は、図29の(a)における矩形枠内の拡大画像である。この比較例では、 532nm の波長を有するレーザ光をSiCウェハの表面からSiCウェハの内部に入射させ、Y方向に並ぶ6つの集光点を、X方向に沿って仮想面上を相対的に移動させることにより、仮想面に沿って複数の改質スポットを形成した。このとき、Y方向において隣り合う集光点C間の距離を $2\mu\text{m}$ 、レーザ光のパルスピッチを $15\mu\text{m}$ 、レーザ光のパルスエネルギーを $4\mu\text{J}$ とした。この場合、図29の(a)及び(b)に示されるように、仮想面に対して $4^\circ \sim 5^\circ$ 傾斜する方向に延びる亀裂が発生した。

[0089] 図30の(a)及び(b)は、実施例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法によって形成されたSiCウェハの亀裂の画像(側面視での画像)であり、図30の(b)は、図30の(a)における矩形枠内の拡大画像である。この実施例では、 532nm の波長を有するレーザ光をSiCウェハの

表面からS i Cウェハの内部に入射させ、第1実施形態のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法の第1工程及び第2工程と同様に、仮想面に沿って複数の改質スポットを形成した。複数の改質スポット13a, 13b, 13c, 13dのそれぞれに相当する複数の改質スポットを形成する際には、Y方向において隣り合う集光点C間の距離を8 μ m、レーザ光Lのパルスピッチを15 μ m、レーザ光Lのパルスエネルギーを4 μ Jとした。この場合、図30の(a)及び(b)に示されるように、仮想面に対して4°～5°傾斜する方向に延びる亀裂の発生が抑制された。図31は、実施例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法によって形成されたS i Cウェハの剥離面の画像であり、図32の(a)及び(b)は、図31に示される剥離面の高さプロファイルである。この場合、S i Cウェハの剥離面に現れる凹凸は2 μ m程度に抑えられた。

[0090] 以上の実験結果から、半導体対象物の材料がS i Cである場合にも、レーザ加工方法及び半導体部材製造方法によれば、仮想面に渡る亀裂が仮想面に沿って精度良く形成されることが分かった。なお、上述した比較例及び実施例で用いたS i Cウェハは、 $4 \pm 0.5^\circ$ のオフ角を有する4H-S i Cウェハであり、レーザ光の集光点を移動させた方向は、m軸方向である。

[0091] また、複数の改質スポット13a, 13b, 13c, 13dの形成の仕方は、上述したものに限定されない。複数の改質スポット13aは、複数の改質スポット13aからそれぞれ延びる複数の亀裂14aが互いに繋がるように形成されてもよい。また、複数の改質スポット13bは、複数の改質スポット13aに重ならないように形成されればよい。複数の改質スポット13aからそれぞれ延びる複数の亀裂14aに複数の改質スポット13bが重なったとしても、複数の改質スポット13bが複数の改質スポット13aに重ならなければ、複数の改質スポット13a, 13bが仮想面15に沿って精度良く形成される。また、複数の改質スポット13c, 13dの形成の仕方は任意であり、複数の改質スポット13c, 13dは、形成されなくてもよい。また、図33に示されるように、例えばGa Nインゴット20を回転さ

せることにより、径方向に並んだ複数の集光点を相対的に回転させて（一点鎖線の矢印）、複数の改質スポット13を形成し、更に、図34に示されるように、複数の改質スポット13の列間に複数の集光点のそれぞれを位置させた状態で、径方向に並んだ複数の集光点を相対的に回転させて（一点鎖線の矢印）、複数の改質スポット13を形成してもよい。

[0092] また、第1例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法において、複数の改質スポット13の形成は、表面20aとは反対側から複数の仮想面15ごとに順次を実施されてもよい。また、第1例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法では、複数の改質スポット13の形成が表面20a側の1つ又は複数の仮想面15に沿って実施され、1つ又は複数のGaNウェハ30が切り出された後に、GaNインゴット20の表面20aが研削され、再び、複数の改質スポット13の形成が表面20a側の1つ又は複数の仮想面15に沿って実施されてもよい。

[0093] また、第1例及び第2例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法では、周縁領域16が形成されなくてもよい。第1例のレーザ加工方法及び半導体部材製造方法において周縁領域16を形成しない場合には、複数の仮想面15のそれぞれに沿って複数の改質スポット13を形成した後に、例えば、GaNインゴット20に対してエッチングを施すことにより、複数のGaNウェハ30を取得することも可能である。

[0094] また、レーザ加工装置1は、上述した構成を有するものに限定されない。例えば、レーザ加工装置1は、空間光変調器4を備えていなくてもよい。

[0095] また、上述した例における各構成には、上述した材料及び形状に限定されず、様々な材料及び形状を適用することができる。また、上述した一の例又は変形例における各構成は、他の例又は変形例における各構成に任意に適用することができる。

[実施形態に係るレーザ加工方法、及び、半導体部材製造方法]

[0096] 上記の第1例及び第2例に係るレーザ加工方法においては、レーザ光Lの照射によって改質スポット13a～改質スポット13dを形成するものとし

た。この場合であっても、好適な半導体部材を取得できることは、上述したとおりである。

[0097] これに対して、本発明者は、鋭意検討を進めるなかで、次のような問題点を見出した。すなわち、レーザ光の照射によって半導体対象物の内部の仮想面に沿って改質スポットを形成すると共に、当該改質スポットから延びる亀裂を進展させて半導体対象物から半導体部材を切り出す場合を検討すると、切り出された面の凹凸を減らすためには、レーザ光の仮想面でのエネルギーを低減することが有効である一方で、レーザ光の仮想面でのエネルギーが低すぎると、改質スポット及び亀裂を生じさせることができなくなる。

[0098] 本発明者は、このような問題点に着目し、さらなる検討を進めることにより、以下の知見を得るに至った。すなわち、まず、ガリウムを含む半導体対象物にレーザ光を照射することにより、仮想面に沿って、複数の改質スポットと、それらの複数の改質スポットにおいて析出されたガリウムを含む析出領域と、を形成する。そうすると、後の工程においてレーザ光を再度照射するときに、仮想面におけるレーザ光のエネルギーを半導体対象物の加工閾値を下回るほど低下させても、予め形成されたガリウムを含む析出領域を拡大させることができる。その結果、仮想面に渡る亀裂を形成して半導体部材を切り出したときに、切り出された面の凹凸を低減できる。以下の実施形態に係るレーザ加工方法、及び、半導体部材製造方法は、このような知見に基づいてなされたものである。

[0099] この方法においては、まず、上記の第1例と同様にして、工程S1～工程S3を実施する。すなわち、GaNインゴット20の表面20aからGaNインゴット20の内部にレーザ光Lを照射することにより、GaNインゴット20の内部において表面20aに対向する仮想面15に沿って、複数の改質スポット13（改質スポット13a～改質スポット13c）、及び、複数の改質スポット13において析出されたガリウムを含む複数の析出領域Rを形成する（第1工程）。

[0100] 改質スポット13a～改質スポット13cを形成するときのレーザ光Lの

照射条件は、例えば次のように規定することができる。まず、レーザ光Lのパルスエネルギーが大きくなると、改質スポット13の周辺に形成される析出領域Rが大きくなる傾向にある。したがって、（例えばY方向における）レーザ光Lの集光点C間の距離を相対的に大きくする（改質スポット13及び析出領域Rを相対的に粗に形成する）場合には、後のレーザ光の照射による析出領域Rの拡大の観点から、レーザ光Lのパルスエネルギーを大きくすることができる。一方で、（例えばY方向における）レーザ光Lの集光点C間の距離を相対的に小さくする（改質スポット13及び析出領域Rを相対的に密に形成する）場合には、レーザ光のパルスエネルギーを小さくしても、後の工程でのレーザ光の照射によって析出領域Rを拡大し得る。一例として、レーザ光Lのパルスピッチを $10\mu\text{m}$ と一定とすると、Y方向において隣り合う集光点C間の距離を $8\mu\text{m}$ とする場合には、レーザ光Lのパルスエネルギーを $2\mu\text{J}$ 程度とすることにより、後の工程でのレーザ光の照射によって析出領域Rを拡大し得る。また、Y方向において隣り合う集光点C間の距離を $4\mu\text{m}$ とする場合には、レーザ光Lのパルスエネルギーを $0.67\mu\text{J}$ 程度とすることにより、後の工程でのレーザ光の照射によって析出領域Rを拡大し得る。さらに、Y方向において隣り合う集光点C間の距離を $2\mu\text{m}$ とする場合には、レーザ光Lのパルスエネルギーを $0.33\mu\text{J}$ 程度とすることにより、後の工程でのレーザ光の照射によって析出領域Rを拡大し得る。

[0101] 続いて、第2工程が実施される。すなわち、図36に示されるように、ここでは、一例としてGaNインゴット20の表面20aに交差する方向（Z方向）からみて、レーザ光Lの集光点を改質スポット13に重ならないように配置する。ここでは、図35に示されるように、複数の集光点Cのそれぞれを、Y方向に互いに隣り合う改質スポット13a及び改質スポット13bとの間に配置する。また、ここでは、一例として、集光点Cは、改質スポット13に加えて、亀裂14及び析出領域Rに重ならないように配置され得る。或いは、ここでは、別の例として、集光点Cは、析出領域Rに重なるように配置され得る。そのうえで、仮想面15におけるエネルギーがGaNイン

ゴット20の加工閾値を下回るようにする。その状態において、表面20aからGa_{0.9}N_{0.1}インゴット20の内部にレーザ光Lを照射する。

[0102] ここでは、レーザ加工装置1が、パルス発振されたレーザ光Lの集光点Cを仮想面15に沿って移動させる。また、パルス発振されたレーザ光Lが、Y方向に並ぶ複数（例えば6つ）の集光点Cに集光されるように、空間光変調器4によって変調される。そして、複数の集光点Cが、X方向に沿って仮想面15上を相対的に移動させられる。一例として、Y方向において隣り合う集光点C間の距離は1 μ mであり、レーザ光Lのパルスピッチは10 μ mである。また、レーザ光Lのパルスエネルギーは、0.33 μ Jである。この照射条件によれば、レーザ光Lの集光点Cに対応する位置に改質スポットが形成されないものの、析出領域Rが拡大される。この後の工程については、上記の第1例と同様である。

[0103] なお、図37の（a）に示される例では、レーザ光Lのエネルギーを0.67 μ Jとしている。この場合には、複数の改質スポット13が形成される。一方、図37の（b）に示される例では、レーザ光Lのエネルギーを0.23 μ Jとした。この場合には、改質スポット13がほとんど形成されない。Ga_{0.9}N_{0.1}インゴット20の場合には、加工閾値が0.23 μ J付近であると考えられ、0.2 μ Jのエネルギーでは改質スポットの形成が確認されなかった。

[0104] また、図38の（a）は、上記の照射条件（例えば、図24の（a），（b）に係る第2実施例の条件）によって第1工程を実施し、改質スポット13a～改質スポット13cを形成した後、第2工程を実施していない状態を示している。図39の（a）は、同様の照射条件によって第1工程を実施した後に、さらに、例えば図24の（c），（d）に係る第3実施例の照射条件によって第2工程をも実施した状態を示している。図39の（a）では、多数の析出領域Rが確認される。図38の（a）と図39の（a）とを比較すると、加工閾値を下回るレーザ光Lの照射である第2工程を行うことによって、析出したガリウムを含む析出領域Rが拡大されることが確認される。

- [0105] さらに、図38の(b)及び図39の(b)は、図38の(a)及び図39の(a)の状態から、GaNインゴット20の加熱を行った状態を示している。図38の(b)によれば、加熱の前後において特に変化が見られない。一方、図39の(b)によれば、加熱によって析出領域Rがさらに拡大され、仮想面15にわたる亀裂17の形成に寄与していることが理解される。
- [0106] 以上説明したように、この方法においては、まず、GaNインゴット20の内部にレーザ光Lを照射することにより、レーザ光Lの入射面である表面20aに対向する仮想面15に沿って、複数の改質スポット13、及び、析出されたガリウムを含む複数の析出領域Rを形成する。そして、後の工程において、仮想面15におけるエネルギーがGaNインゴット20の加工閾値を下回るように、GaNインゴット20の内部にレーザ光Lを照射することにより析出領域Rを拡大する。この結果、上記知見のとおり、仮想面15に渡る亀裂17を境界とした切り出しにより、凹凸の低減された好適なGaNUェハ30を得ることが可能となる。
- [0107] また、この方法においては、第2工程において、表面20aに交差する方向からみて集光点Cが改質スポット13に重ならないように表面20aからGaNインゴット20の内部にレーザ光Lを照射してもよい。この場合、より凹凸の低減された好適な半導体部材を得ることが可能となる。さらに、この方法においては、第2工程において、析出領域Rにレーザ光Lを照射してもよい。この場合、析出領域Rを確実に拡大可能である。
- [0108] 以上の実施形態は、本開示に係るレーザ加工方法及び半導体部材製造方法の一例を説明したものである。したがって、本開示に係るレーザ加工方法及び半導体部材製造方法は、上記実施形態に限定されず、種々の変更が適用され得る。
- [0109] 例えば、上記実施形態に係る方法に対して、第1例、第2例、及び、それぞれの変形例の要素を任意に適用できる。一例としては、第1工程においては、複数の改質スポット13からそれぞれ延びる複数の亀裂14が互いに繋がらないように、複数の改質スポット13を形成することができる。また、第

1工程においては、パルス発振されたレーザ光Lの集光点Cを仮想面15に沿って移動させることにより、複数の改質スポット13として複数列の改質スポット13を形成すると共に、第2工程においては、パルス発振されたレーザ光Lの集光点Cを複数列の改質スポット13の列間において仮想面15に沿って移動させることができる。

[0110] 半導体部材製造方法においては、上記の第1工程及び第2工程を実施したうえで、仮想面15に渡る亀裂17を境界としてGaNインゴット20からGaNウェハ30を取得する第3工程をじっしできる。この場合、仮想面15は、表面20aに交差する方向に沿って並ぶように複数設定されていてもよい。或いは、加工の対象物がGaNウェハ30である場合には、仮想面15aは、表面30aに沿った方向に並ぶように複数設定されていてもよい。また、加工の対象物がGaNウェハ30であった場合には、取得される半導体部材のそれぞれは、半導体デバイスであってもよい。

産業上の利用可能性

[0111] 好適な半導体部材の取得を可能とするレーザ加工方法、及び、半導体部材製造方法が提供される。

符号の説明

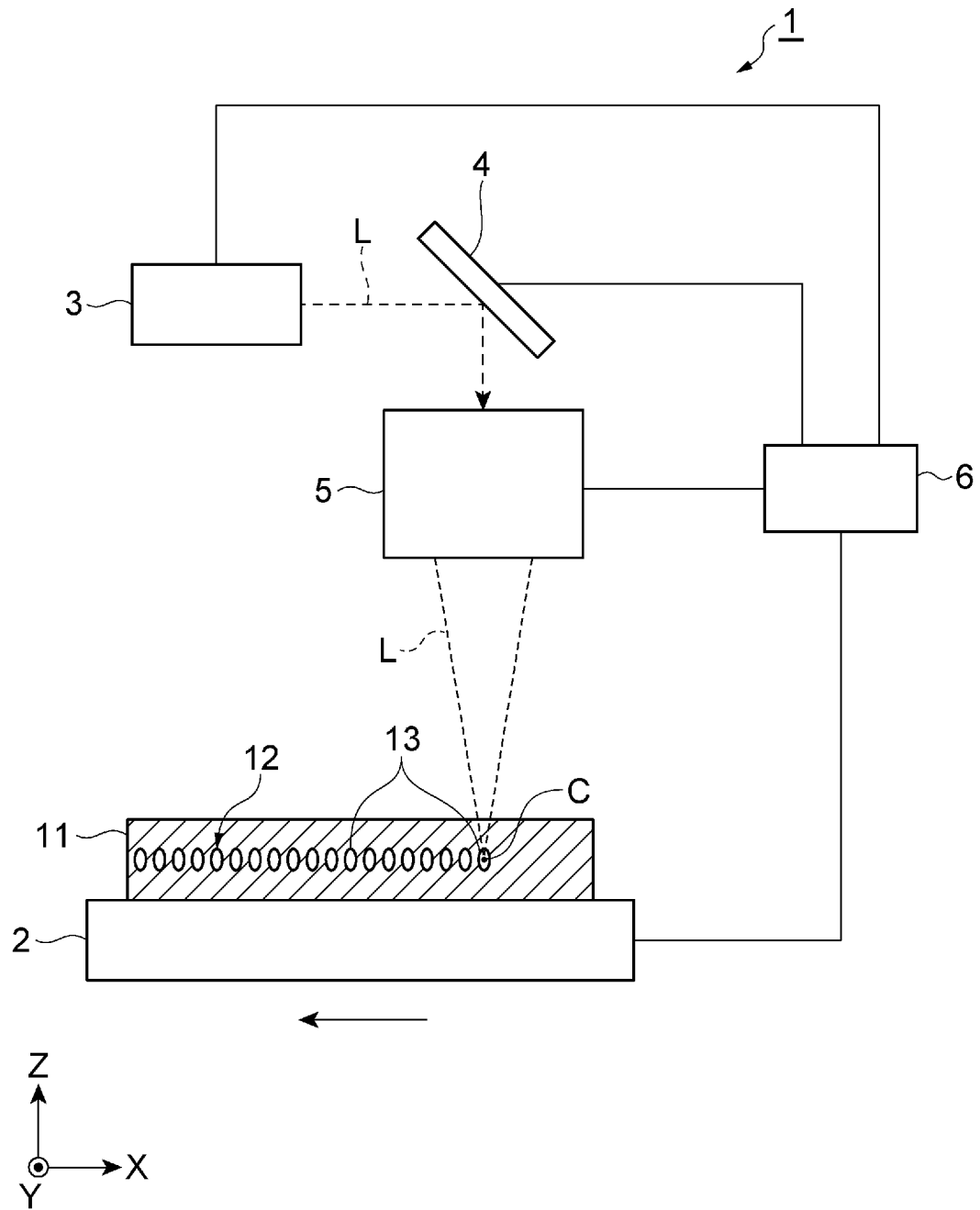
[0112] 13…改質スポット、15…仮想面、20…GaNインゴット（半導体インゴット、半導体対象物）、20a…表面、30…GaNウェハ（半導体ウェハ、半導体部材、半導体対象物）、30a…表面、40…半導体デバイス（半導体部材）、L…レーザ光、R…析出領域。

請求の範囲

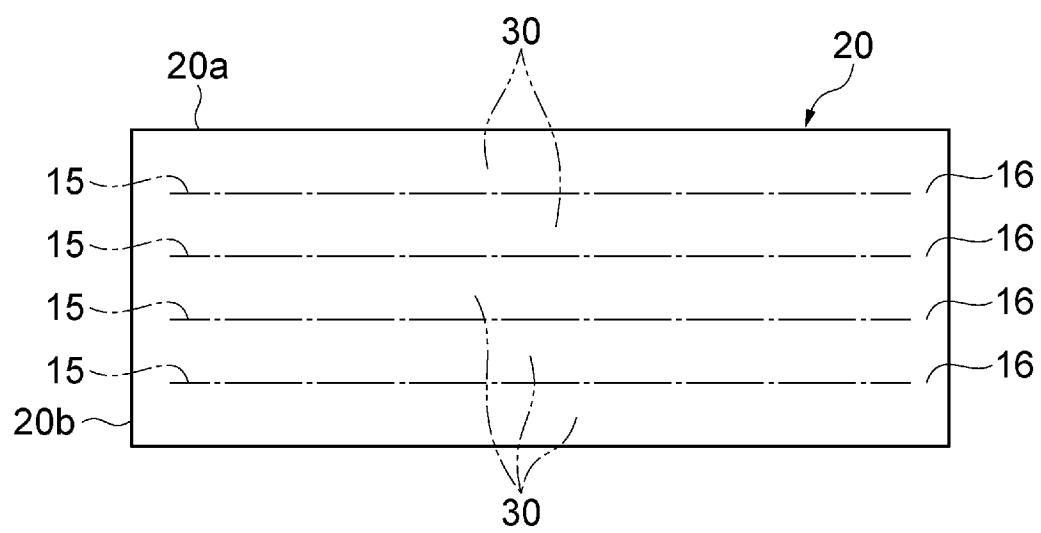
- [請求項1] ガリウムを含む半導体対象物の表面から前記半導体対象物の内部にレーザ光を照射することにより、前記半導体対象物の内部において前記表面に対向する仮想面に沿って、複数の改質スポット、及び、前記複数の改質スポットにおいて析出されたガリウムを含む複数の析出領域を形成する第1工程と、
- 前記第1工程の後に、前記仮想面におけるエネルギーが前記半導体対象物の加工閾値を下回るように、前記表面から前記半導体対象物の内部にレーザ光を照射することにより前記析出領域を拡大する第2工程と、
- を備えるレーザ加工方法。
- [請求項2] 前記第2工程においては、前記表面に交差する方向からみて集光点が前記改質スポットに重ならないように前記表面から前記半導体対象物の内部にレーザ光を照射する、
- 請求項1に記載のレーザ加工方法。
- [請求項3] 前記第2工程においては、前記析出領域にレーザ光を照射する、
- 請求項1又は2に記載のレーザ加工方法。
- [請求項4] 前記第1工程においては、前記複数の改質スポットからそれぞれ延びる複数の亀裂が互いに繋がらないように、前記複数の改質スポットを形成する、
- 請求項1～3のいずれか一項に記載のレーザ加工方法。
- [請求項5] 前記第1工程においては、パルス発振されたレーザ光の集光点を前記仮想面に沿って移動させることにより、前記複数の改質スポットとして複数列の改質スポットを形成し、
- 前記第2工程においては、パルス発振されたレーザ光の集光点を前記複数列の改質スポットの列間において前記仮想面に沿って移動させる、
- 請求項1～4のいずれか一項に記載のレーザ加工方法。

- [請求項6] 前記対象物は、窒化ガリウムを含む、
請求項 1 ～ 5 のいずれか一項に記載のレーザ加工方法。
- [請求項7] 請求項 1 ～ 6 のいずれか一項に記載のレーザ加工方法が備える前記
第 1 工程及び前記第 2 工程と、
前記仮想面に渡る亀裂を境界として前記半導体対象物から複数の半
導体部材を取得する第 3 工程と、
を備える半導体部材製造方法。
- [請求項8] 前記仮想面は、前記表面に交差する方向に沿って並ぶように複数設
定されている、
請求項 7 に記載の半導体部材製造方法。
- [請求項9] 前記半導体対象物は、半導体インゴットであり、
前記複数の半導体部材のそれぞれは、半導体ウェハである、
請求項 8 に記載の半導体部材製造方法。
- [請求項10] 前記仮想面は、前記表面に沿った方向に並ぶように複数設定されて
いる、
請求項 7 に記載の半導体部材製造方法。
- [請求項11] 前記半導体対象物は、半導体ウェハであり、
前記複数の半導体部材のそれぞれは、半導体デバイスである、
請求項 10 に記載の半導体部材製造方法。

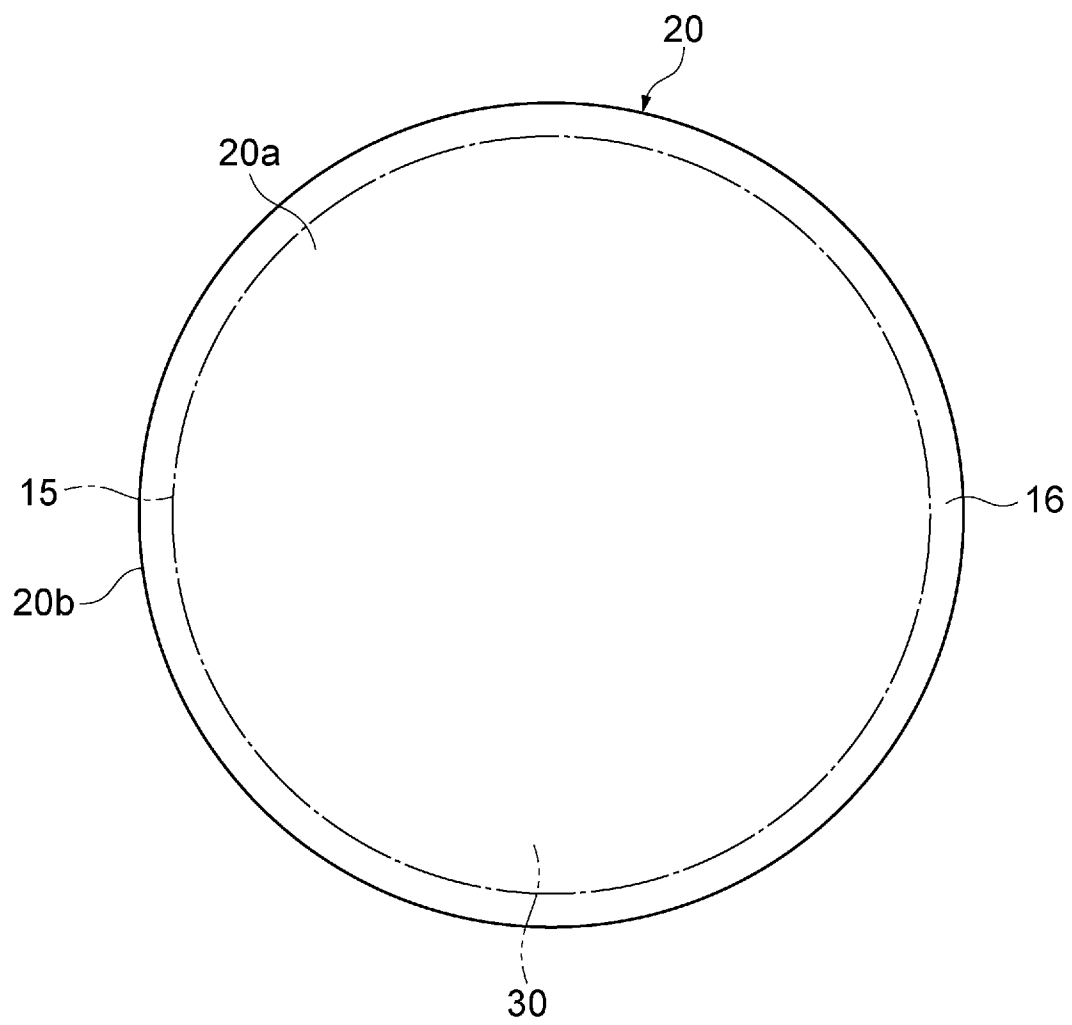
[図1]



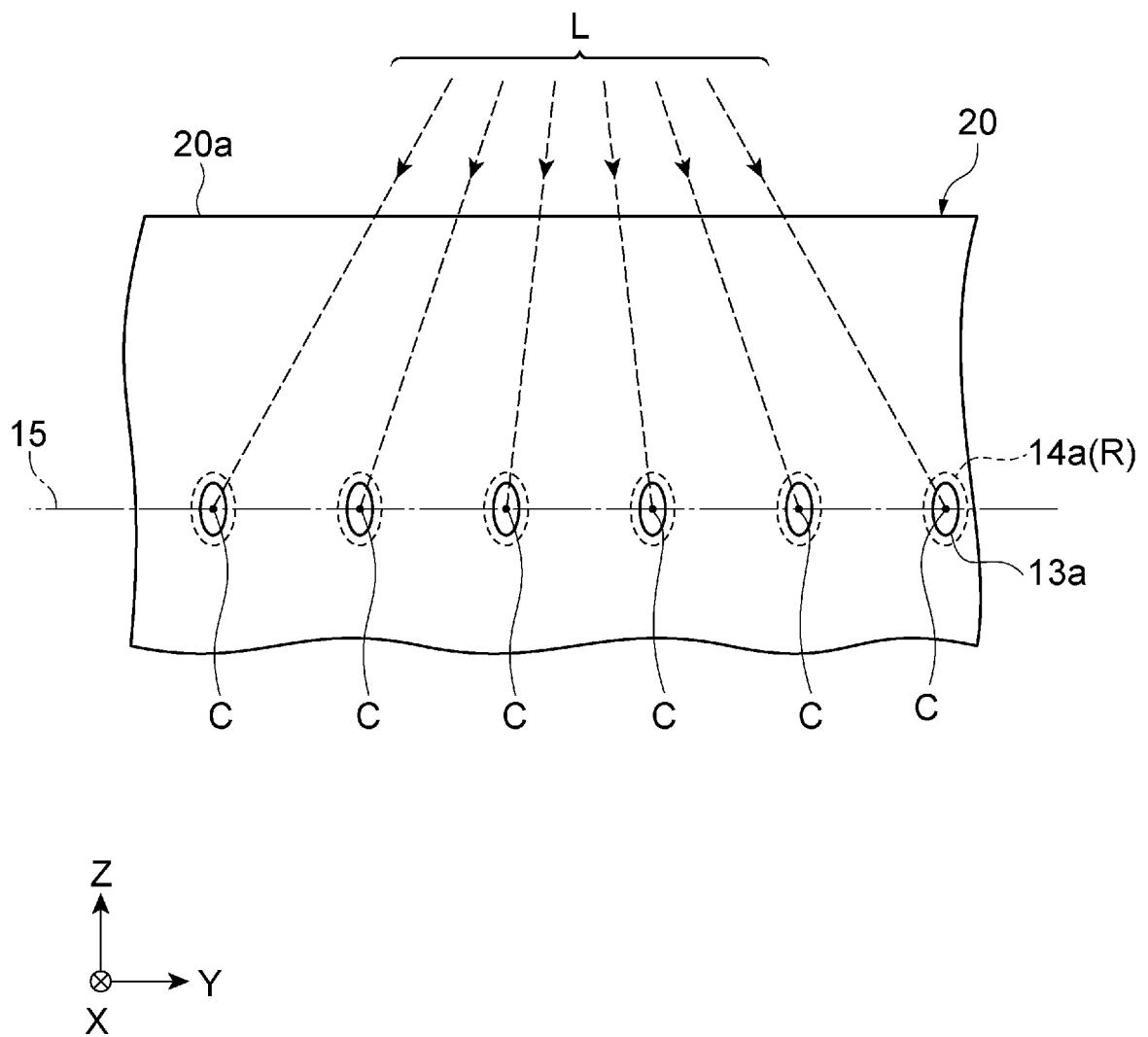
[図2]



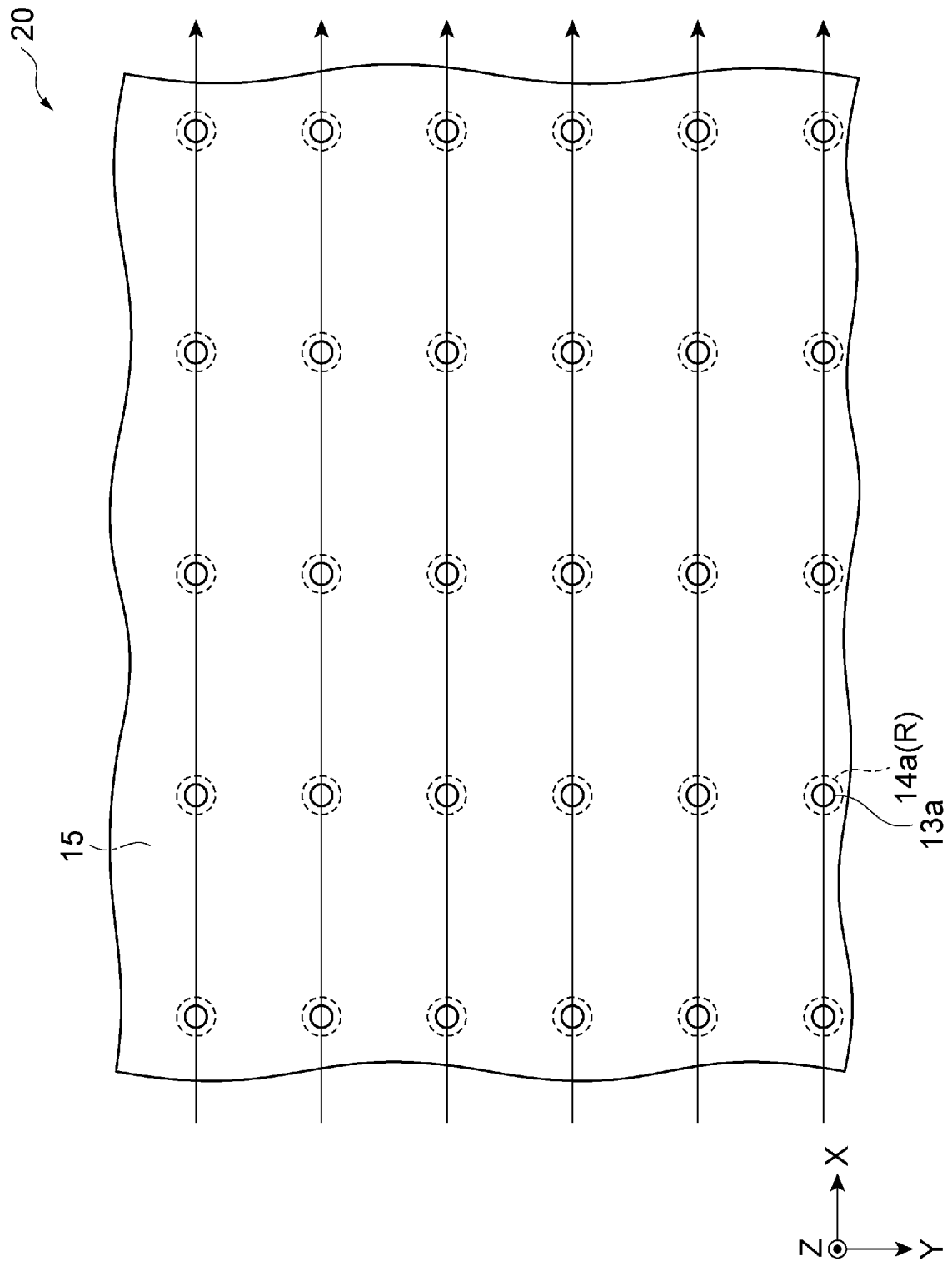
[図3]



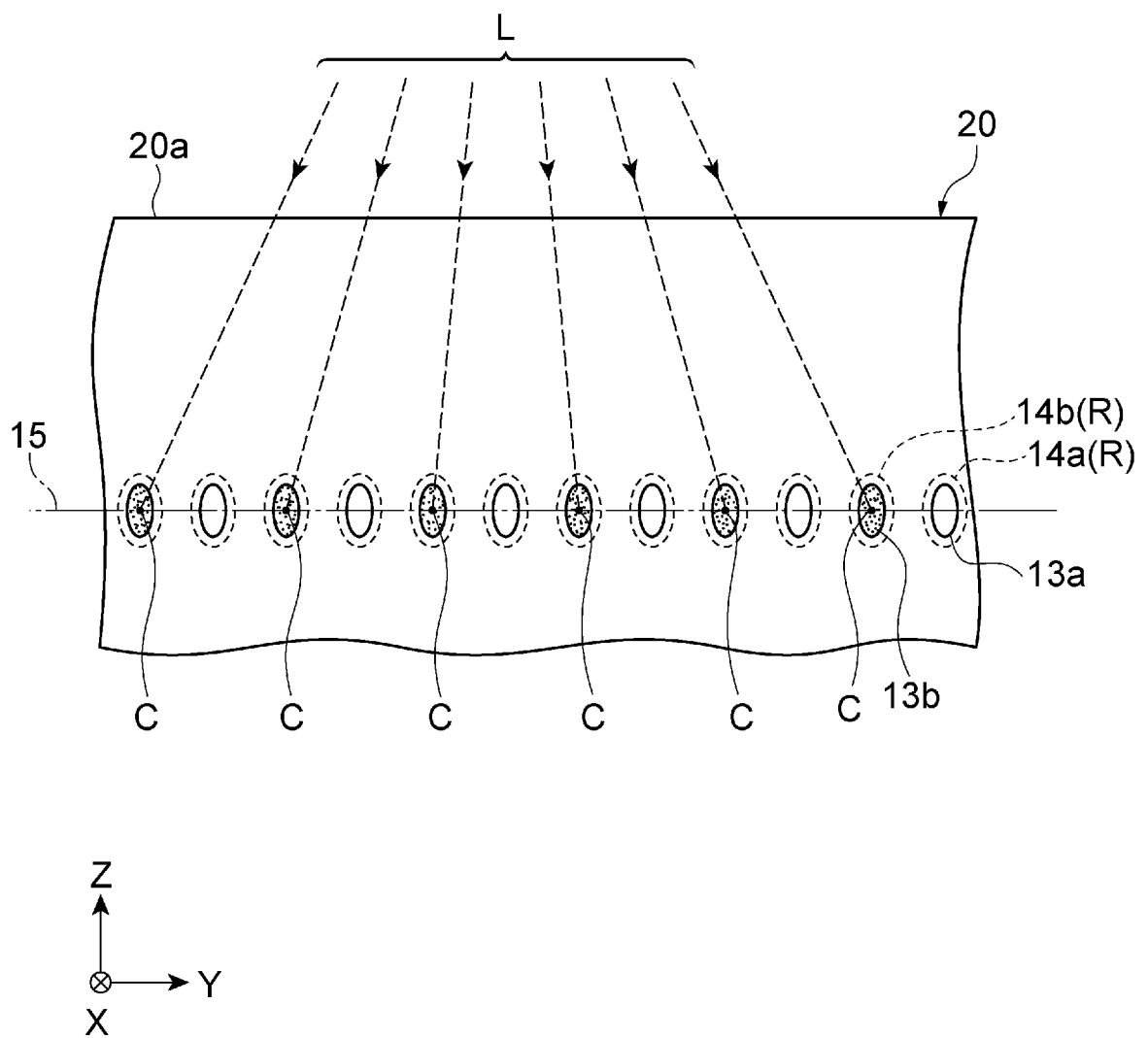
[図4]



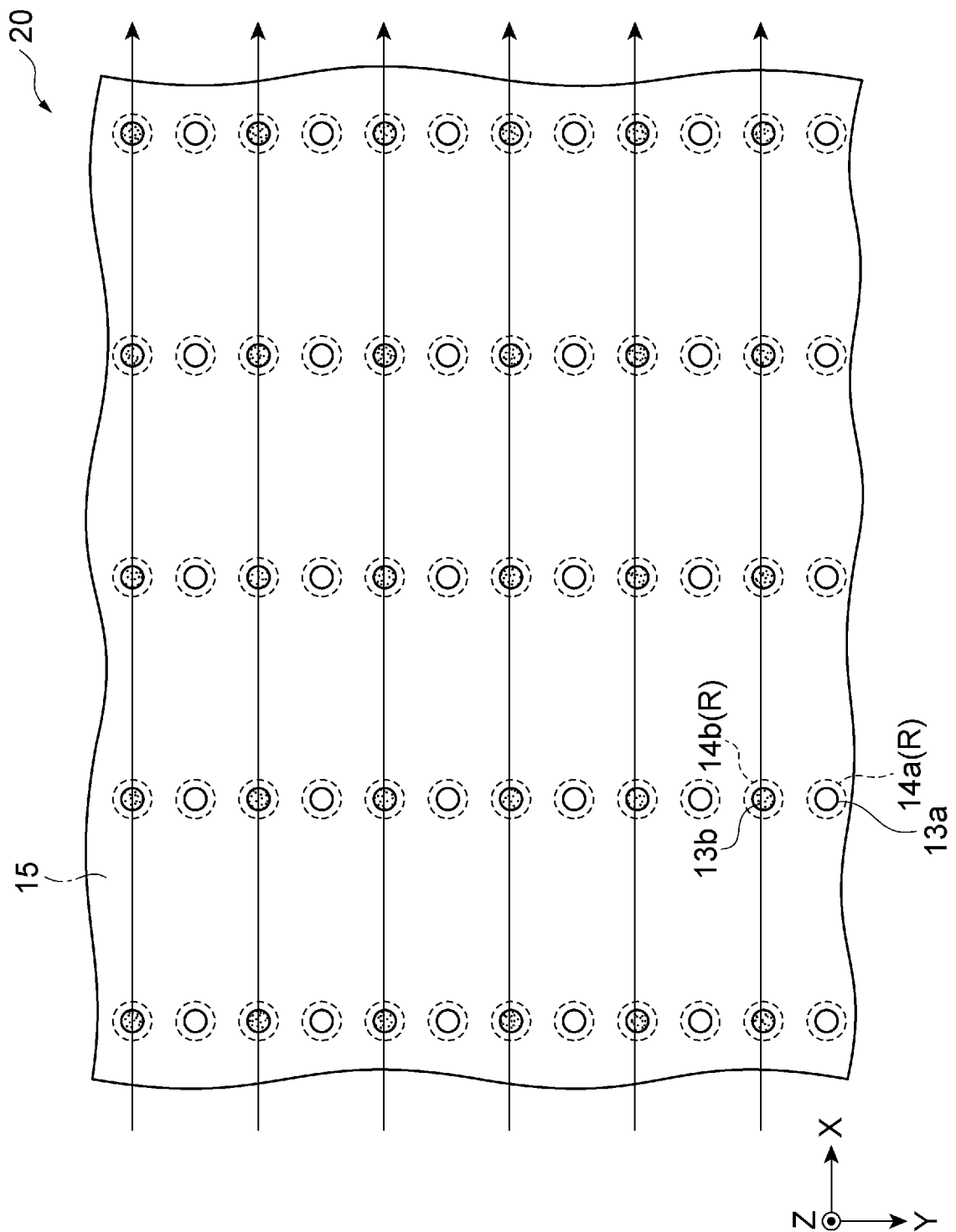
[図5]



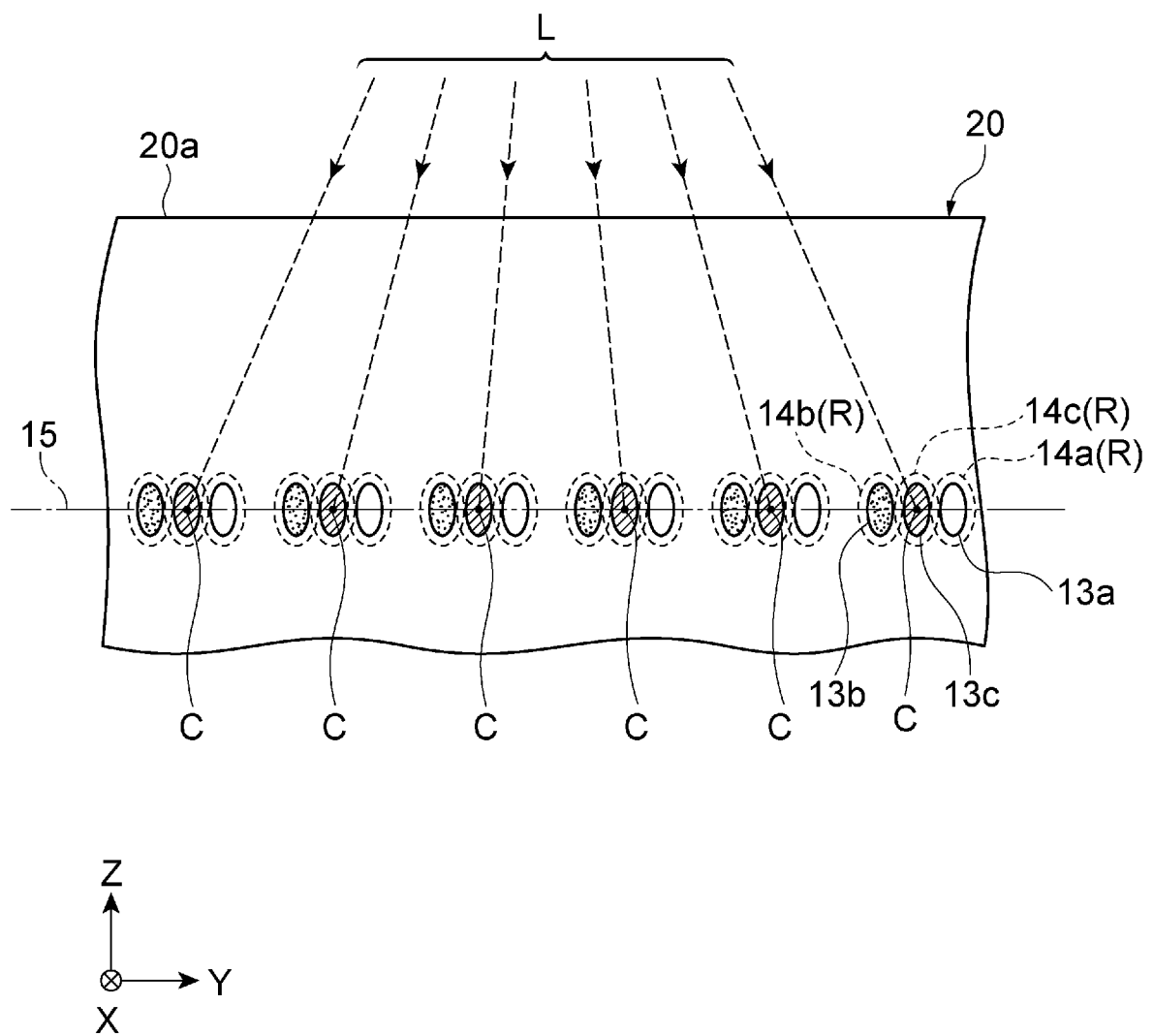
[図6]



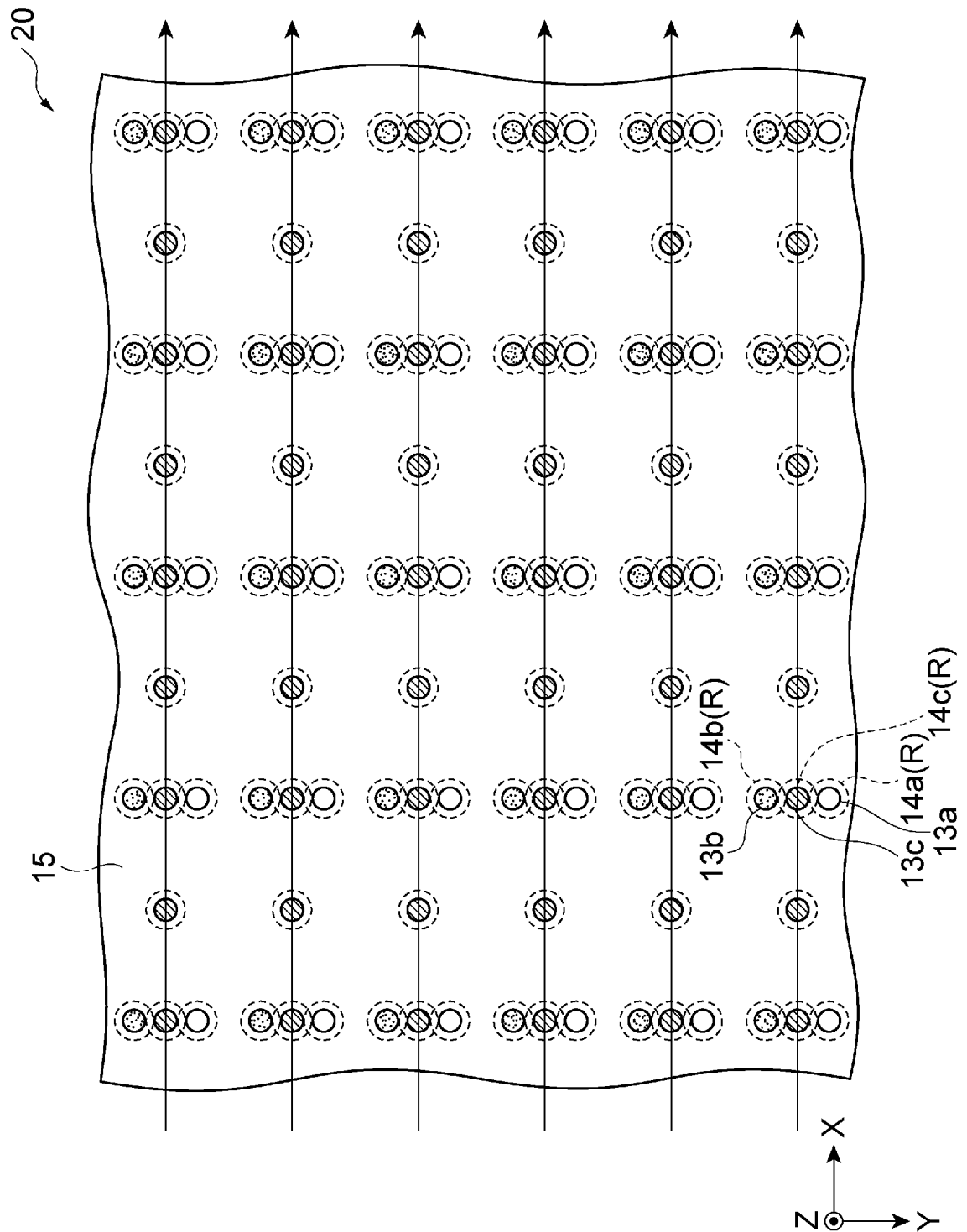
[図7]



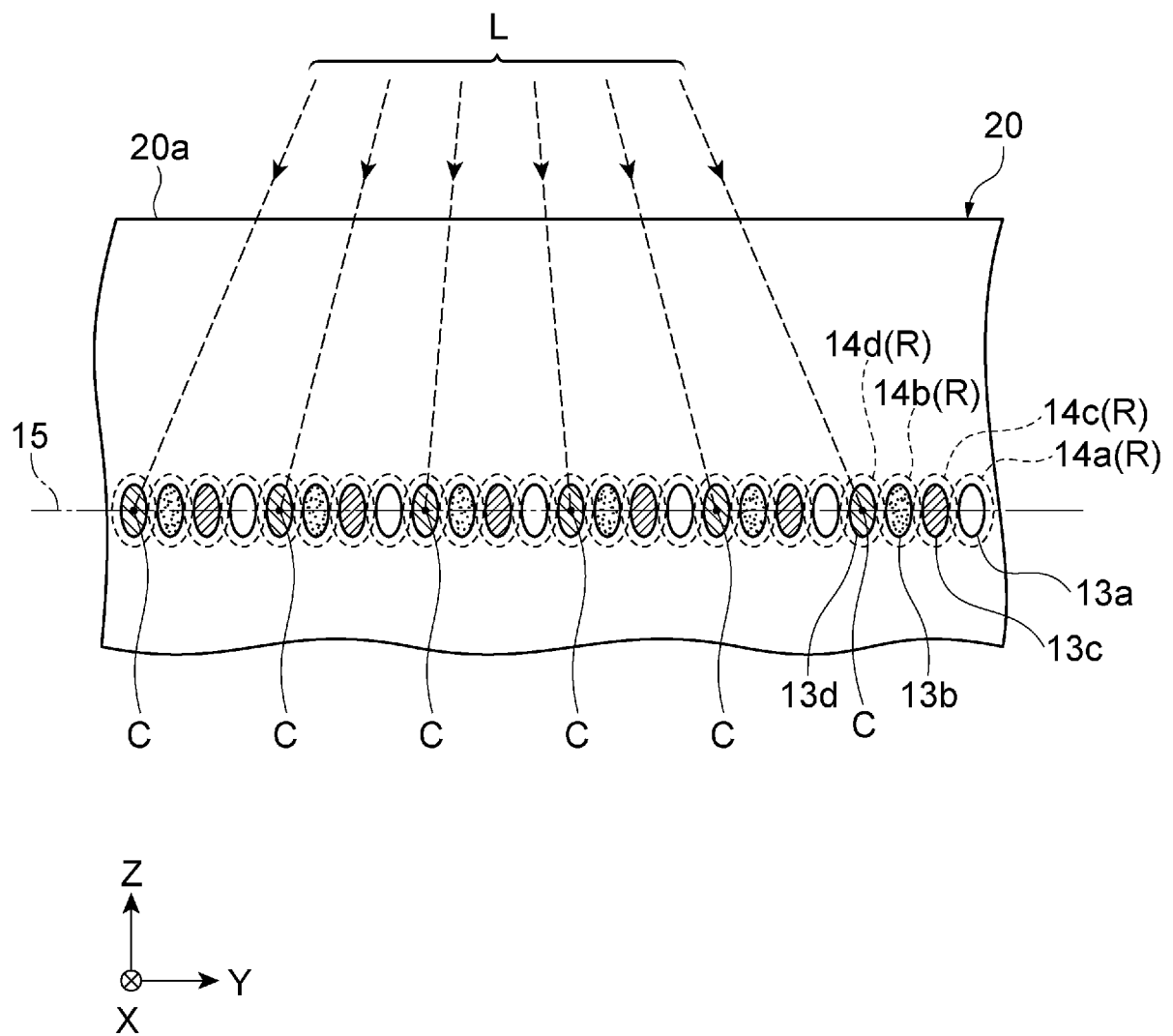
[図8]



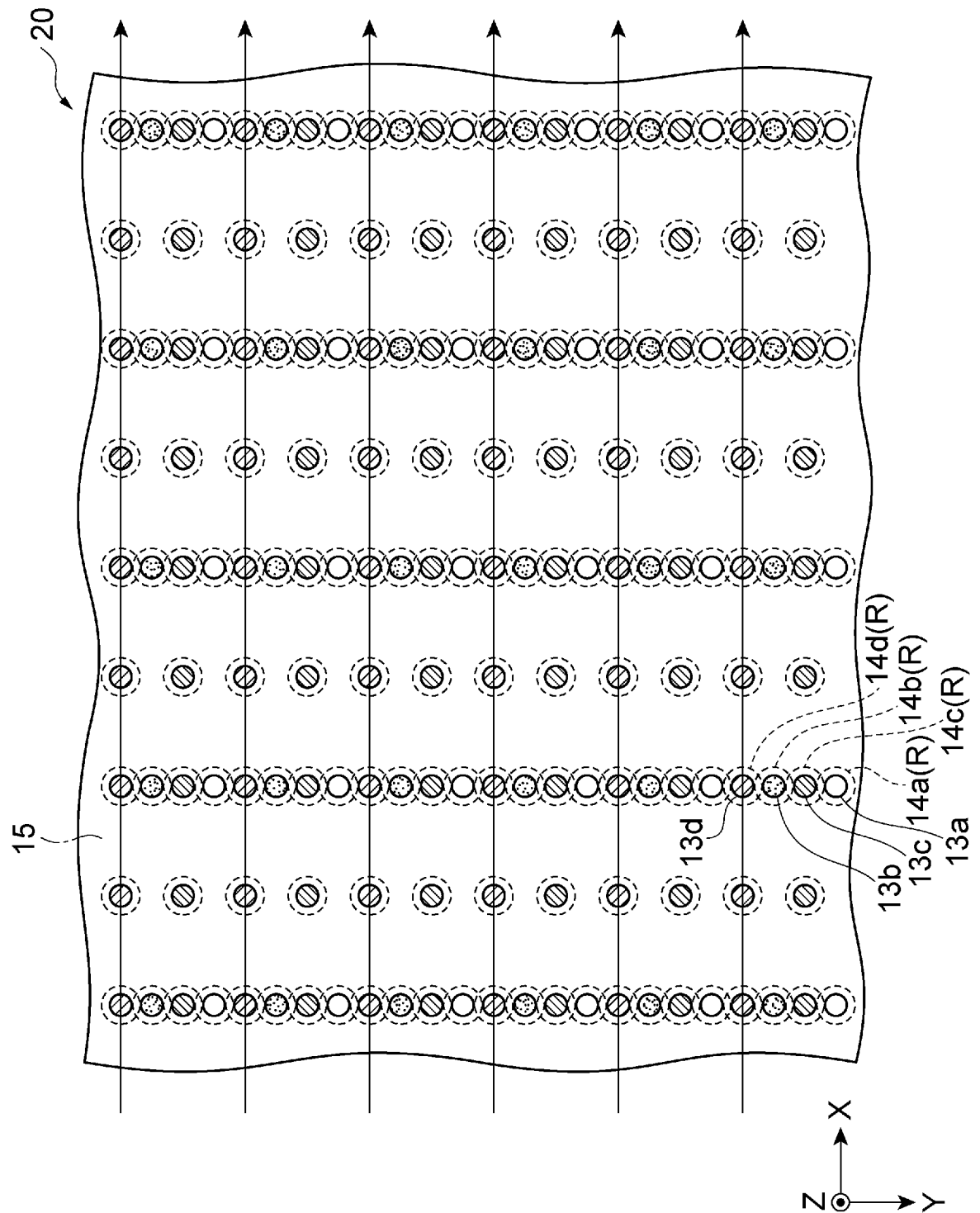
[図9]



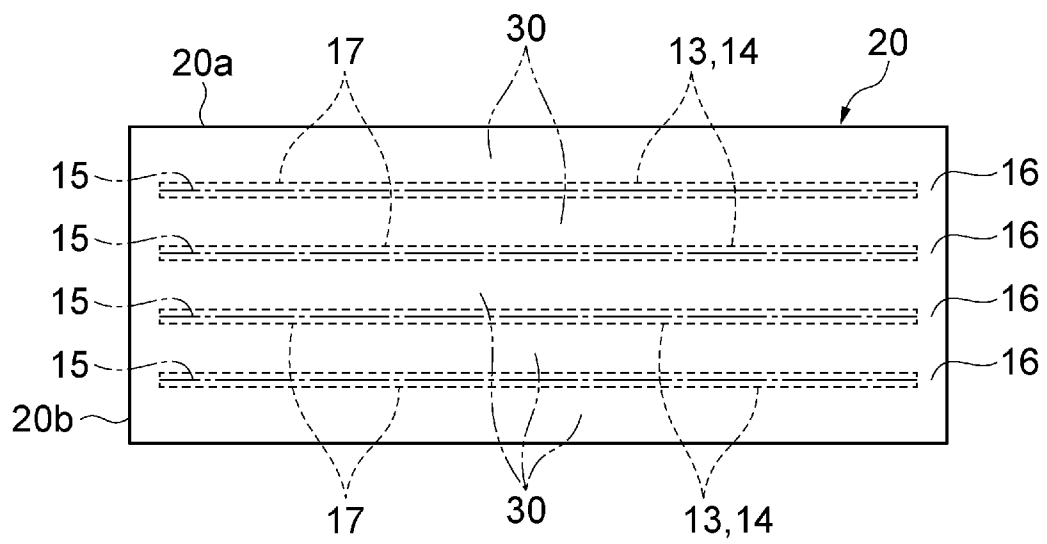
[図10]



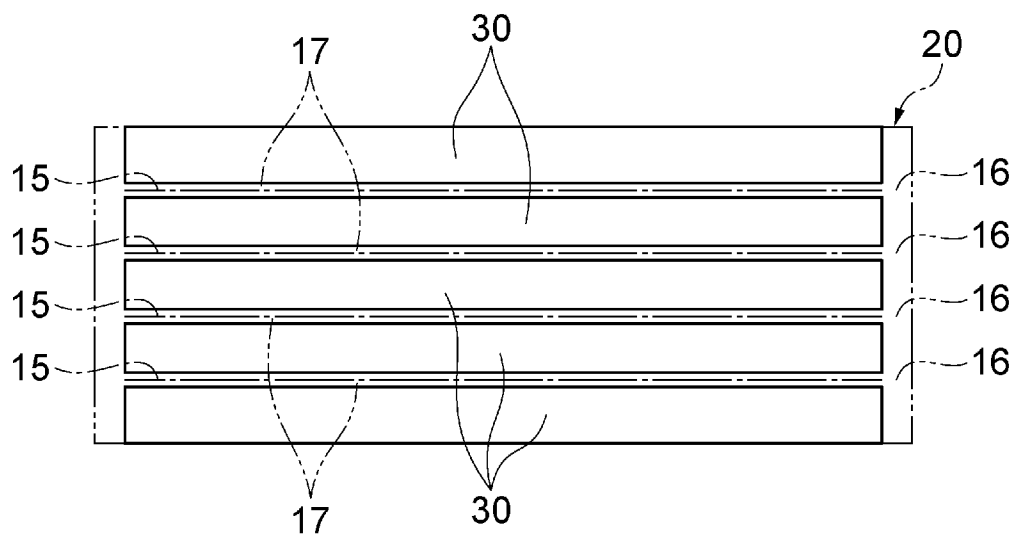
[図11]



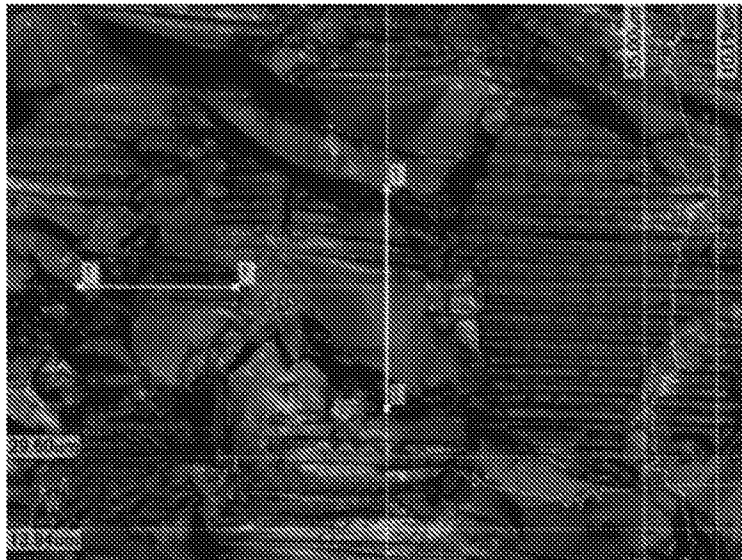
[図12]



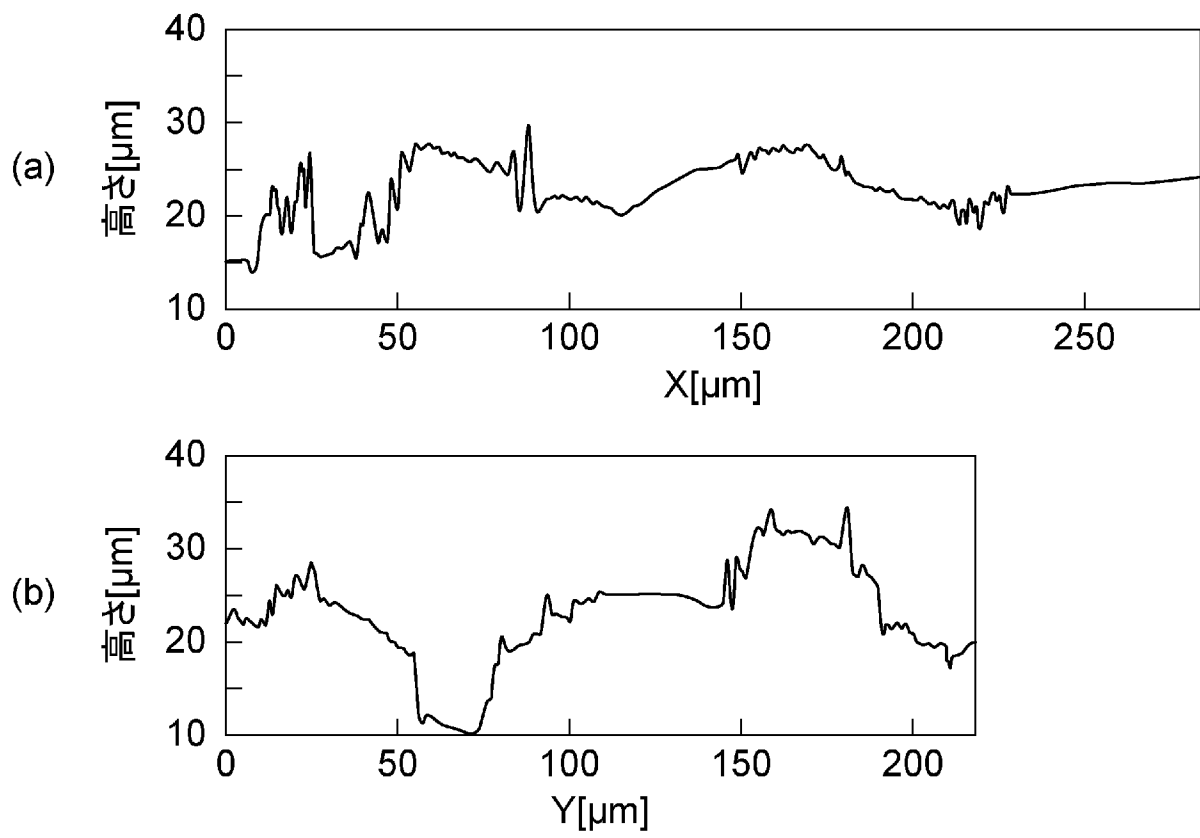
[図13]



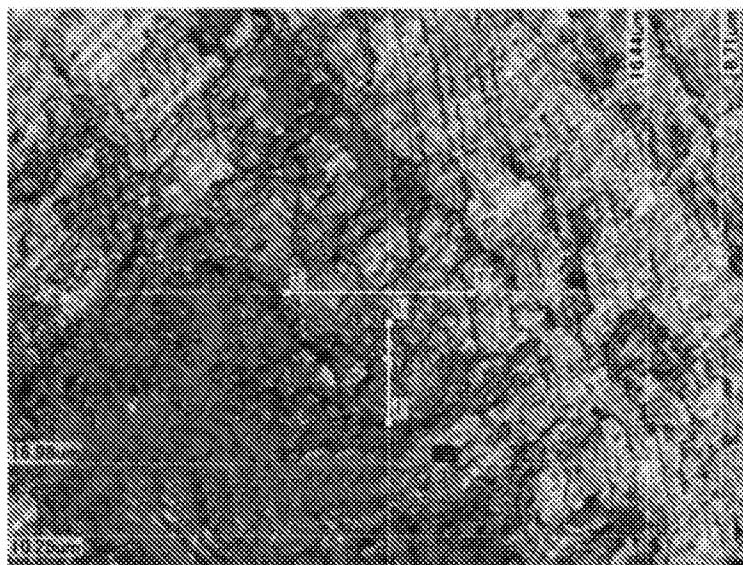
[図14]



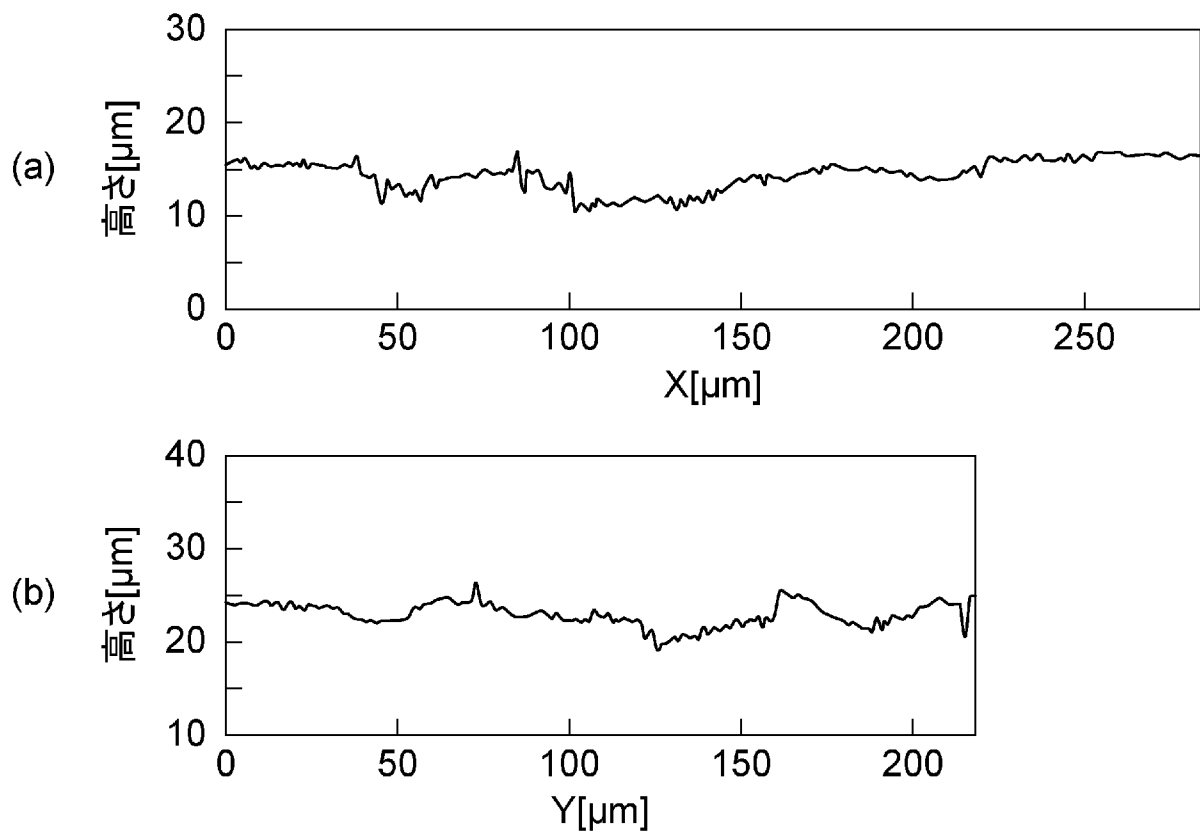
[図15]



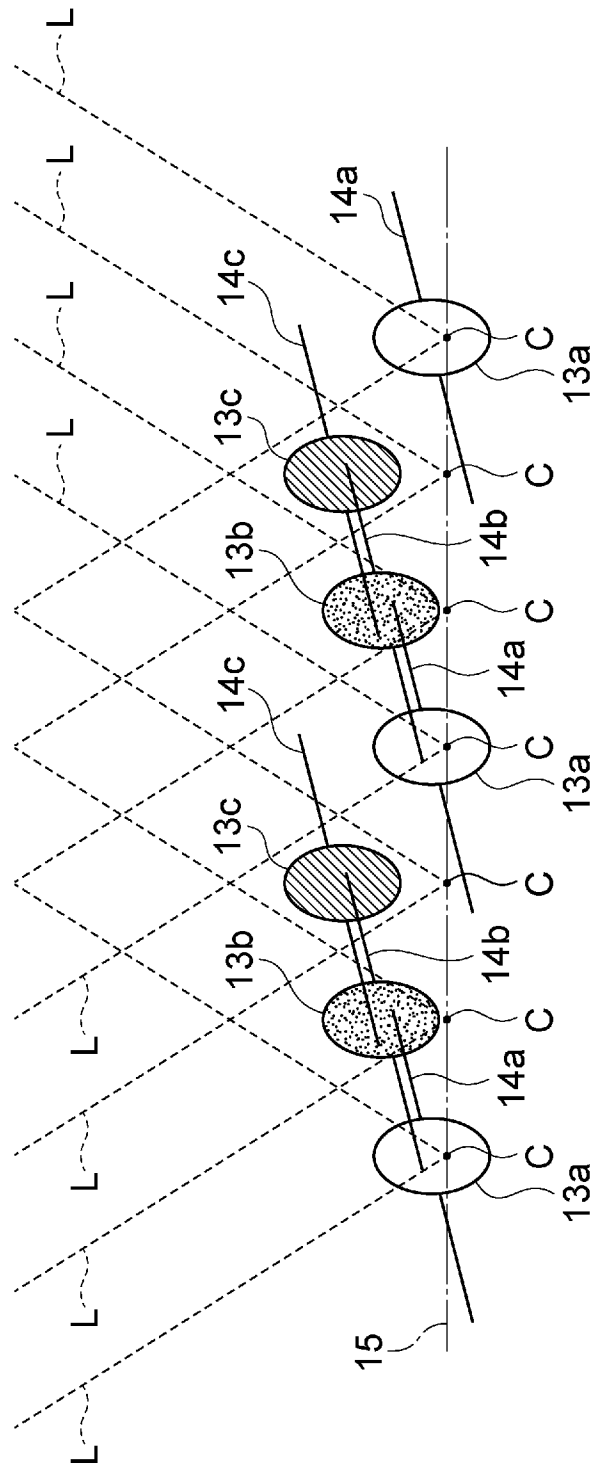
[図16]



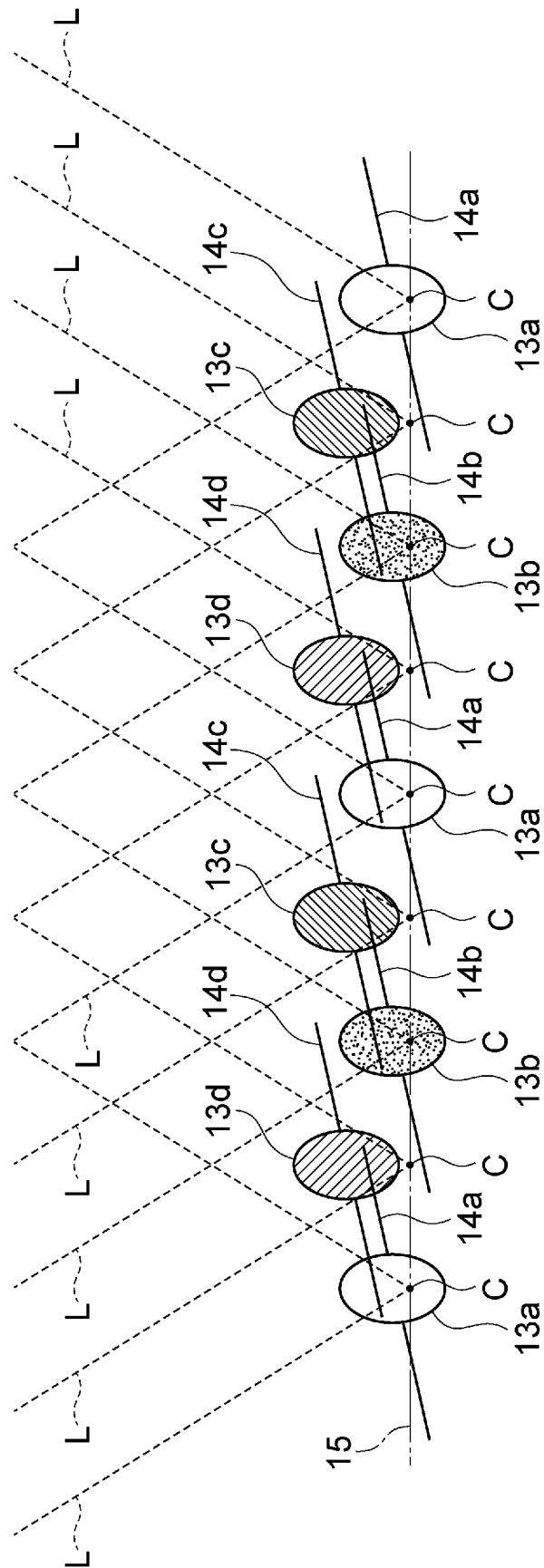
[図17]



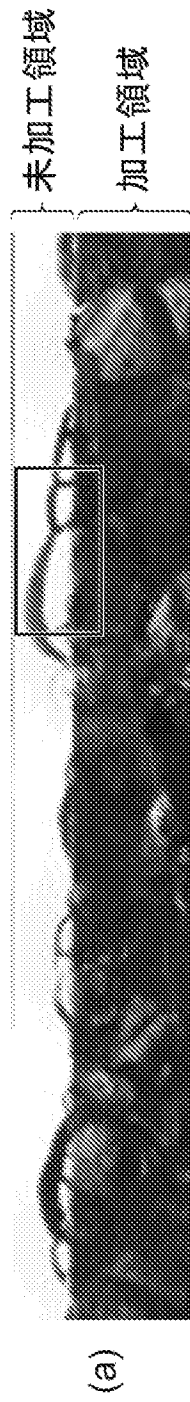
[図18]



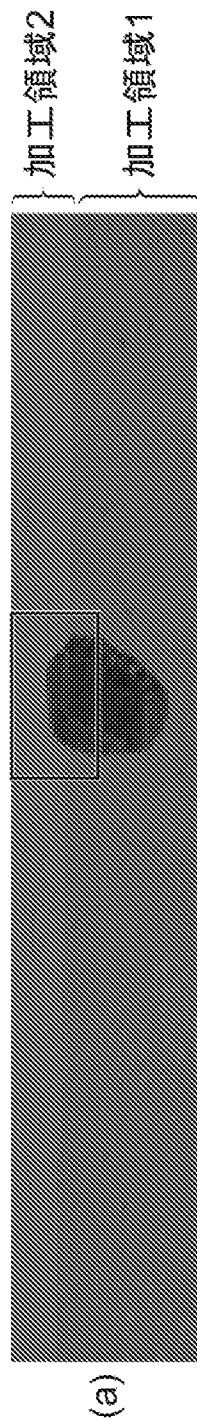
[図19]



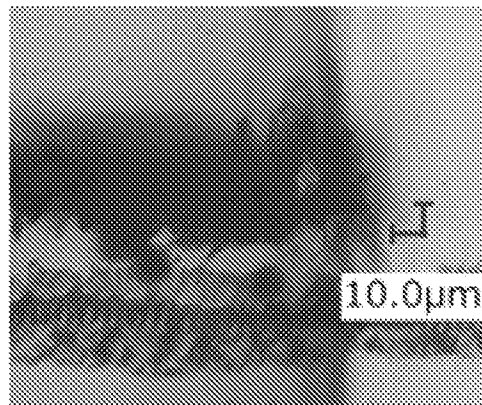
[図20]



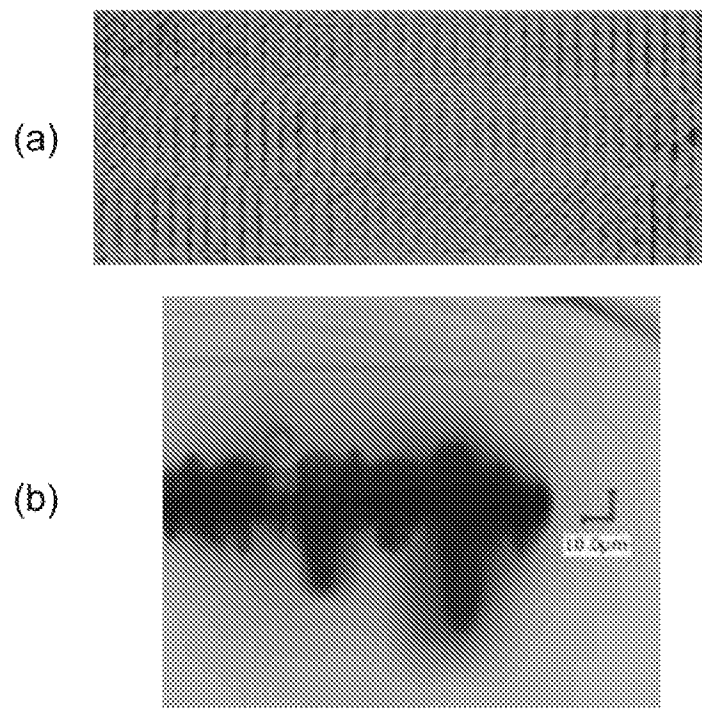
[図21]



[図22]

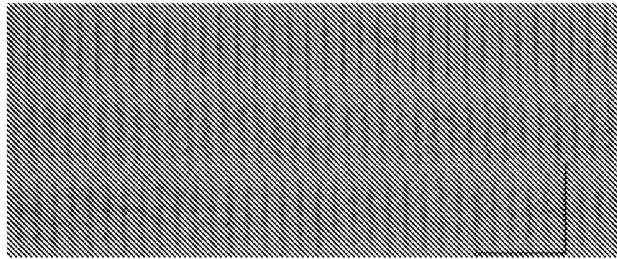


[図23]

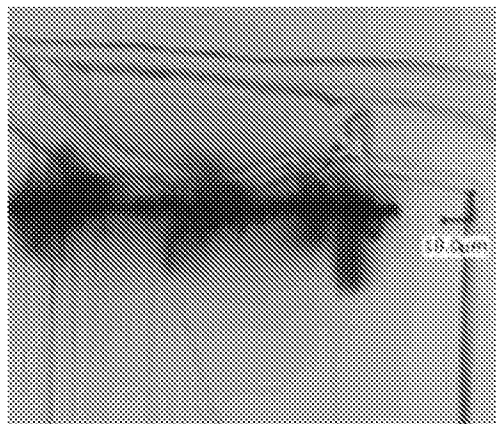


[図24]

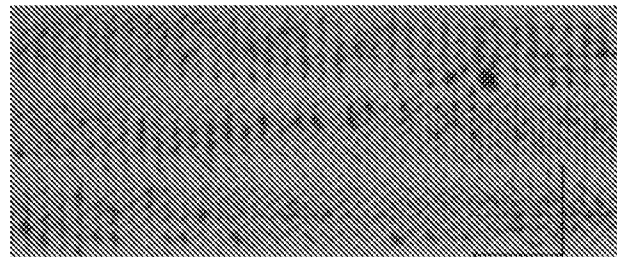
(a)



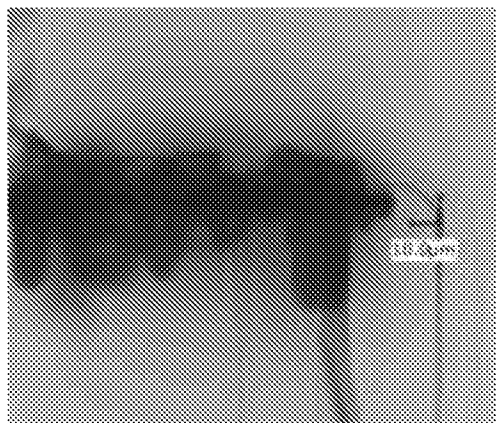
(b)



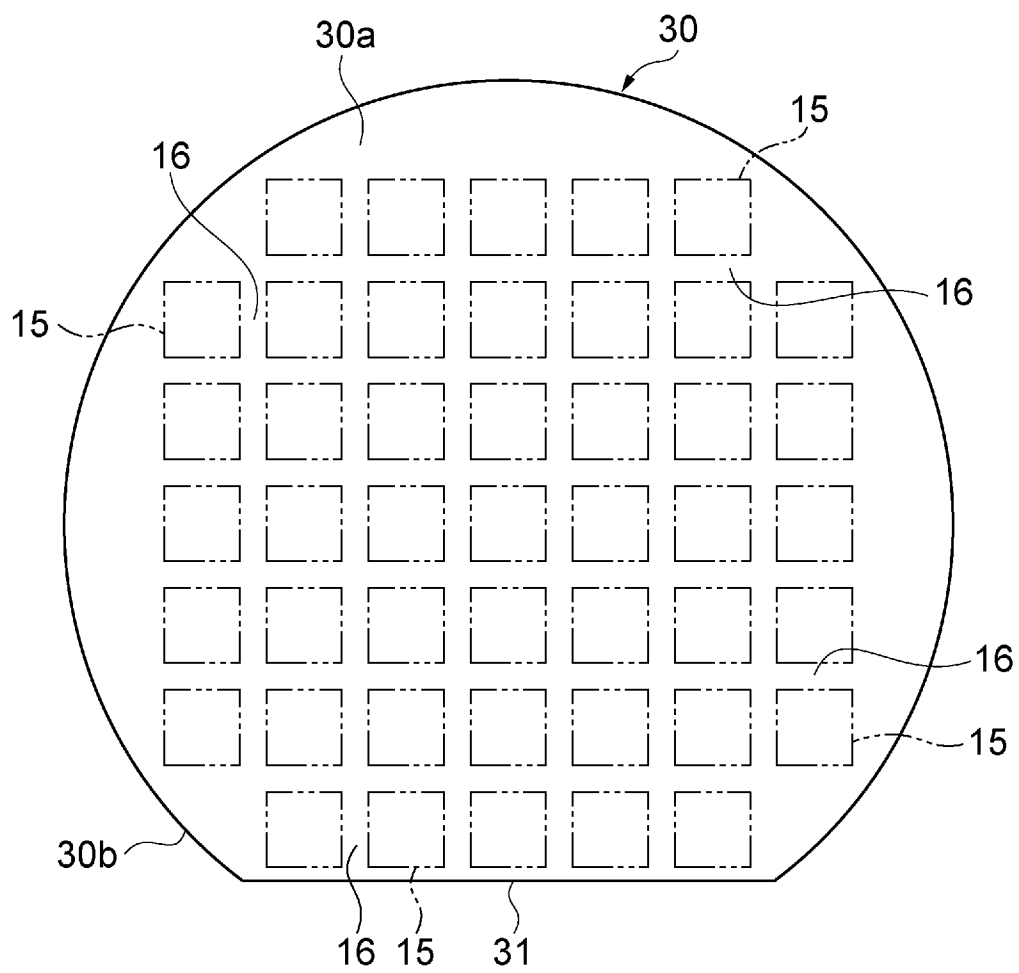
(c)



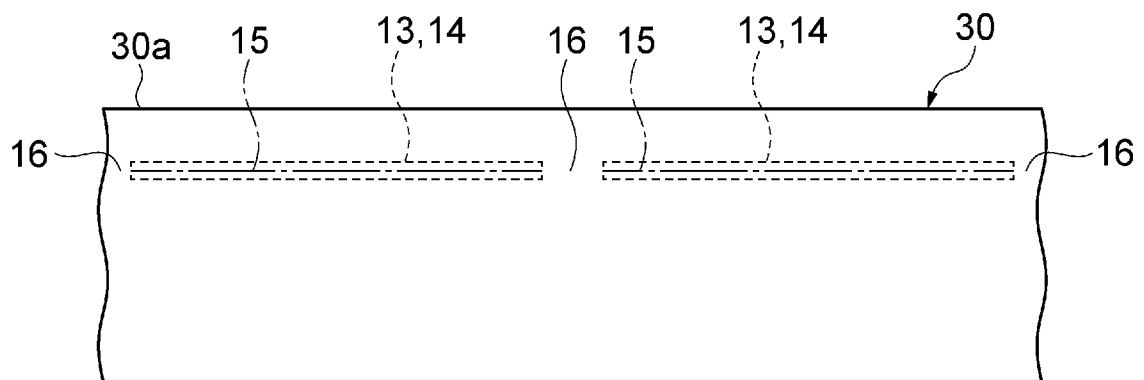
(d)



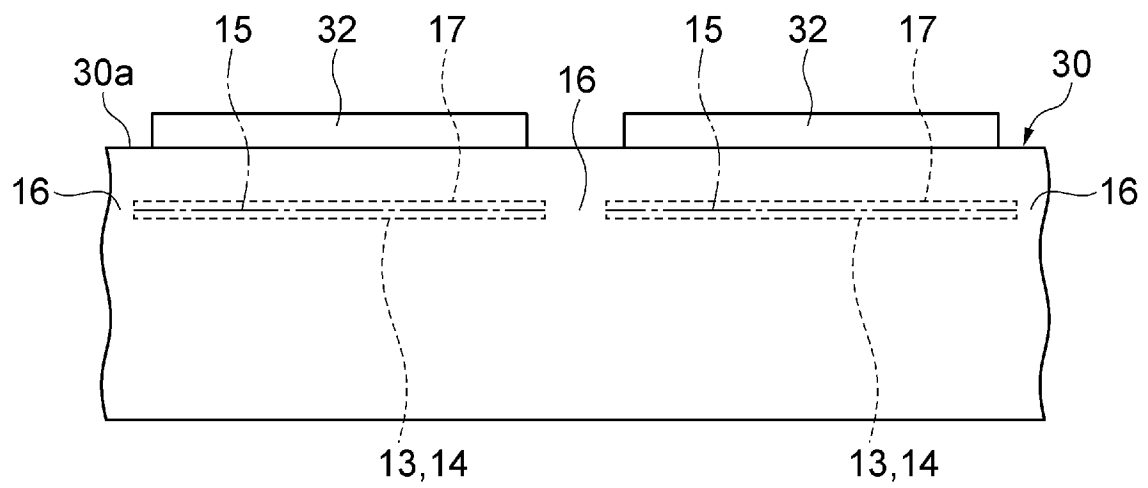
[図25]



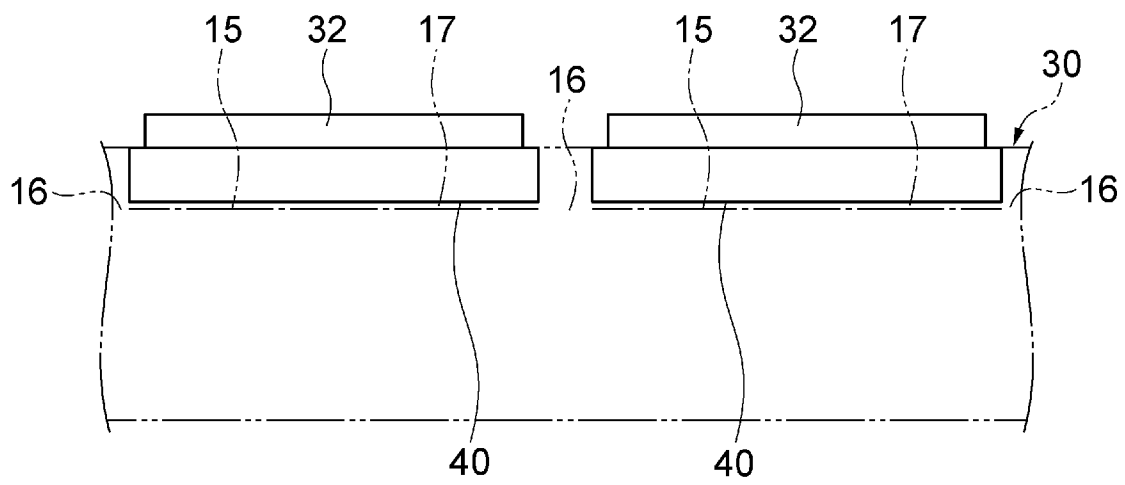
[図26]



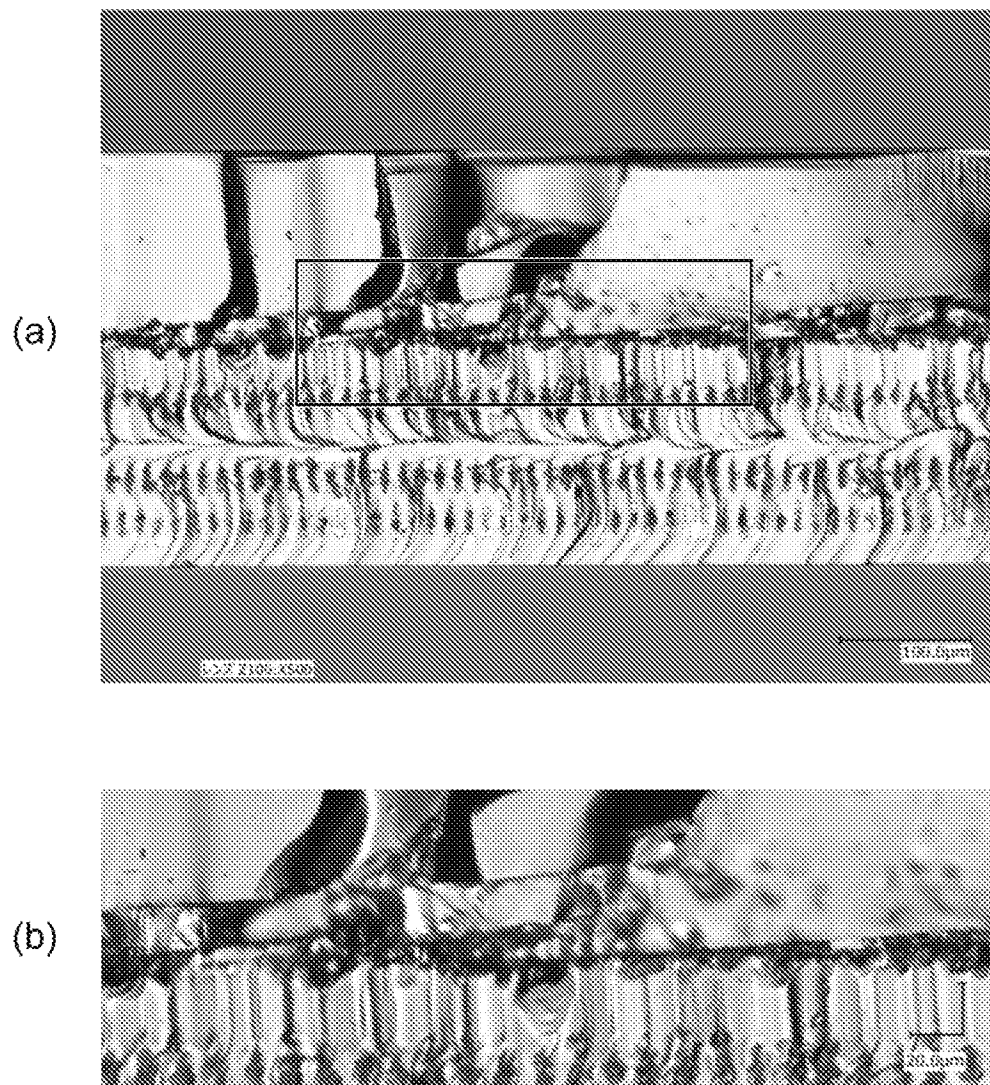
[図27]



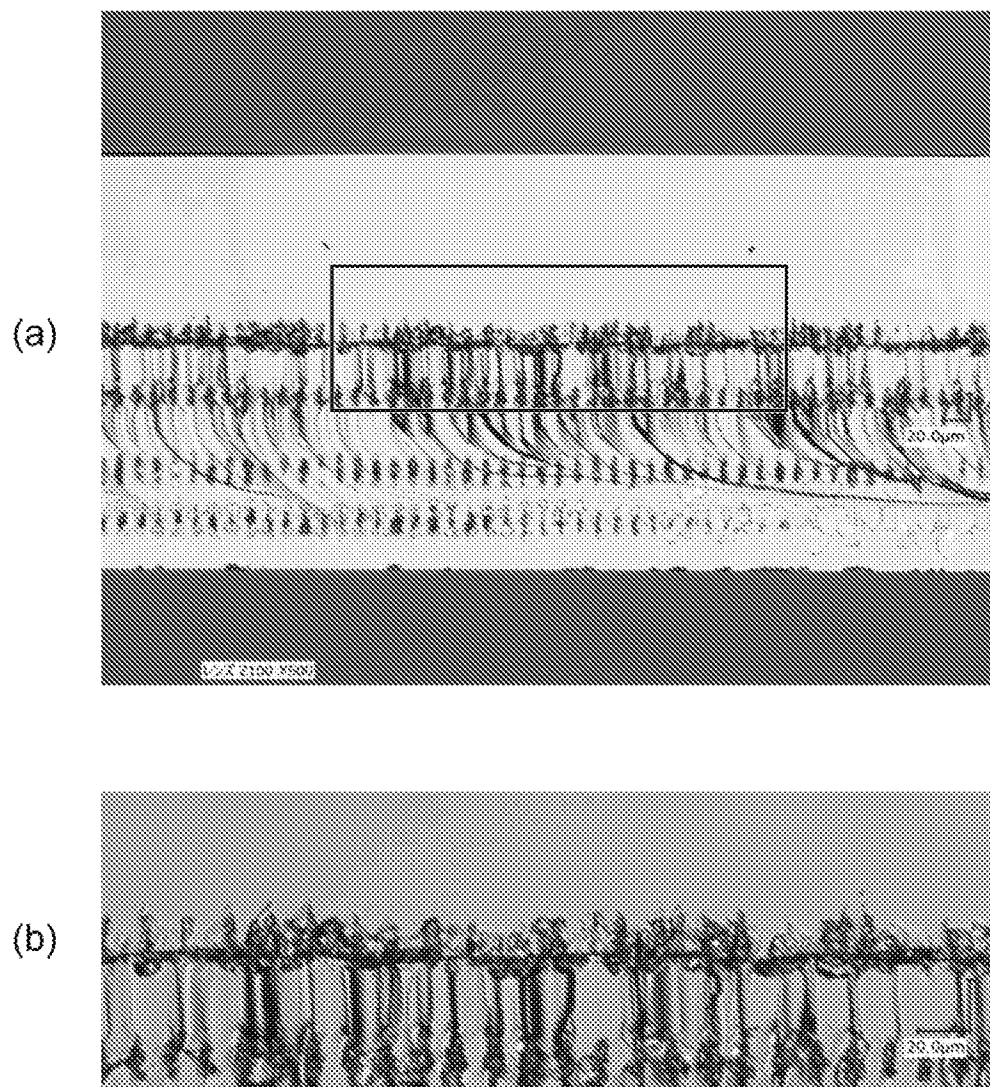
[図28]



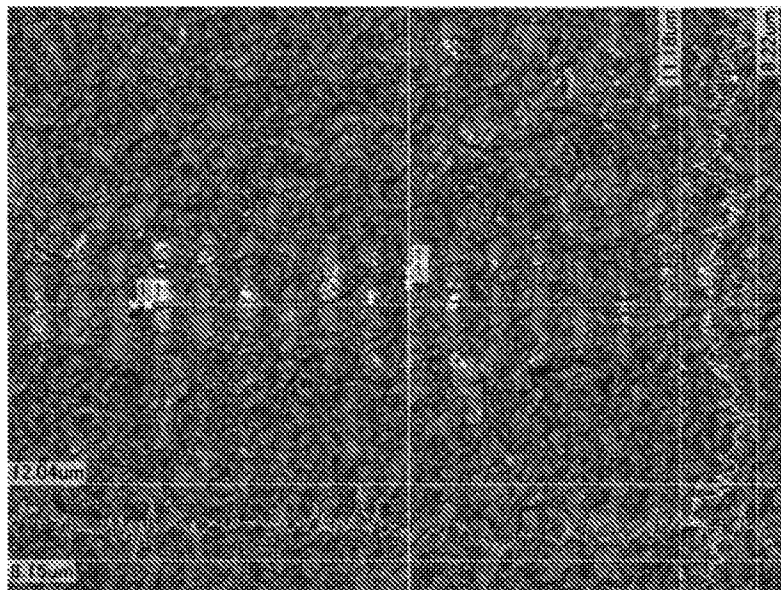
[図29]



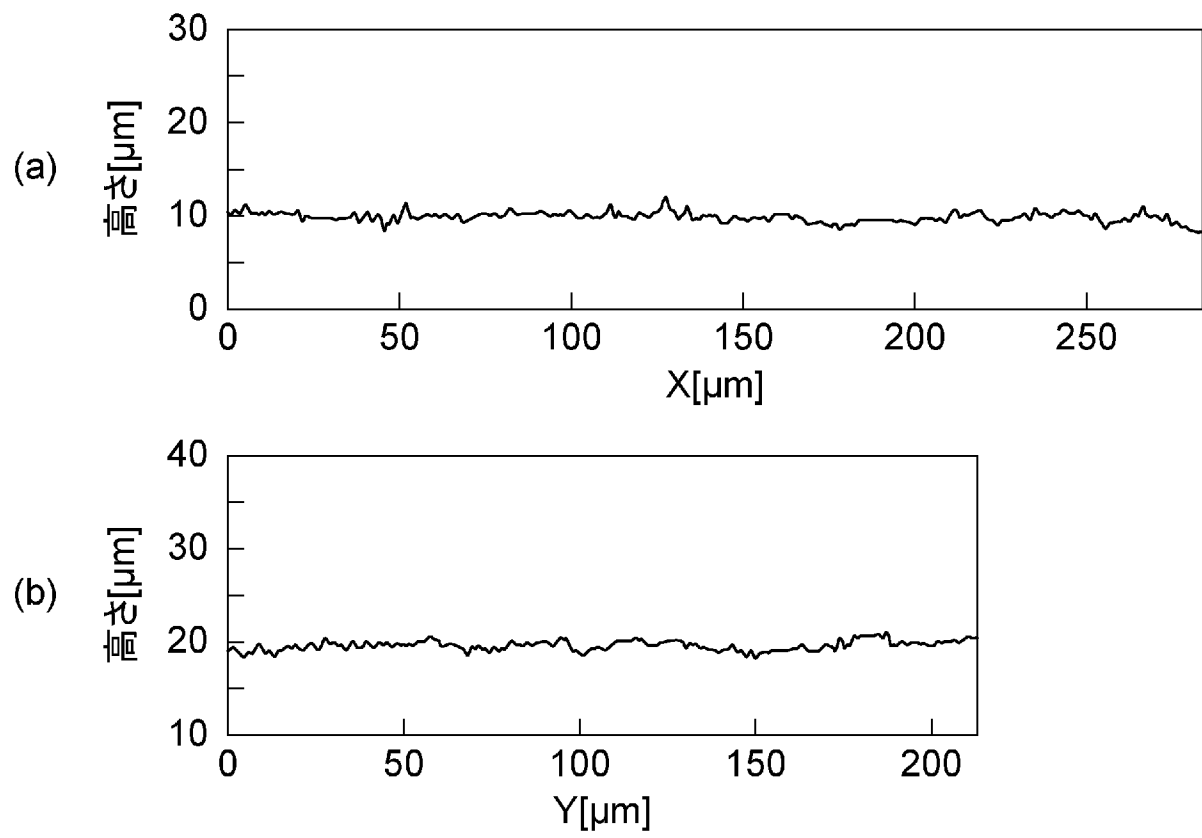
[図30]



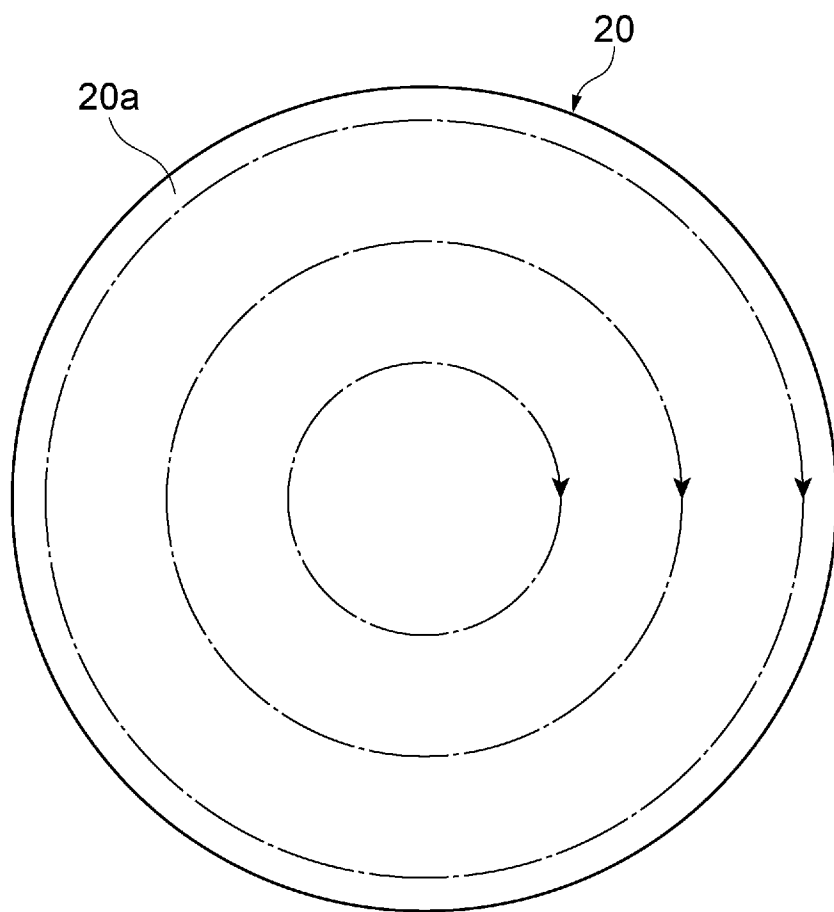
[図31]



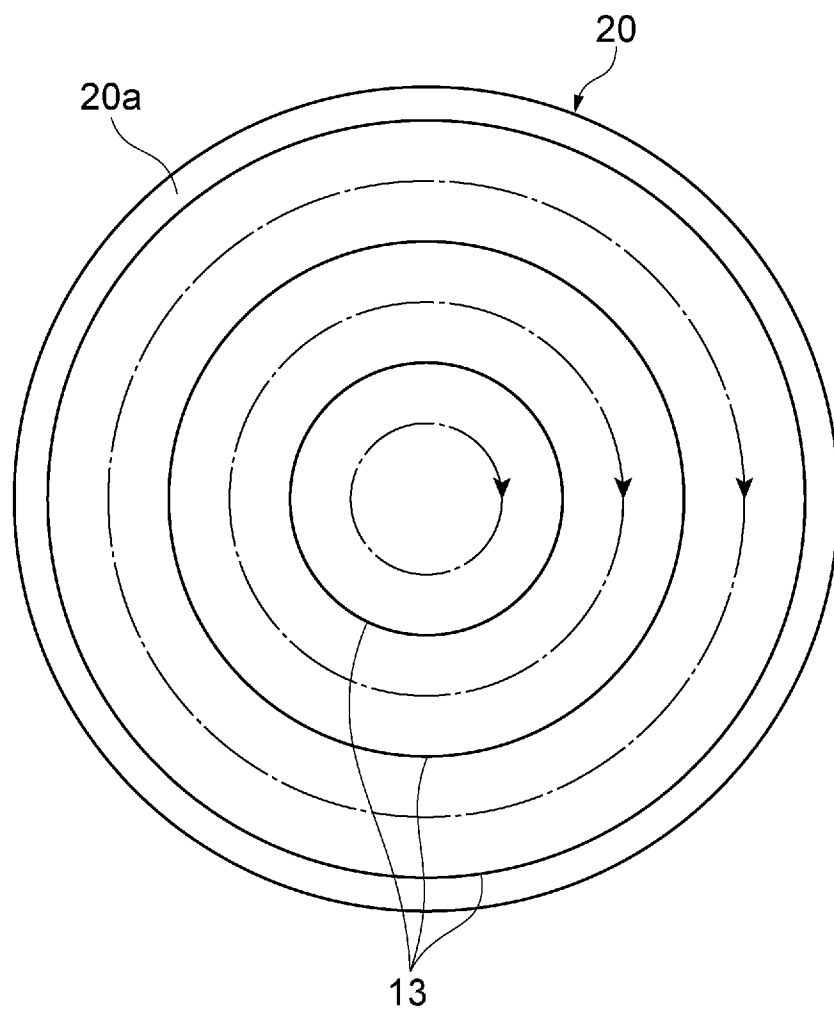
[図32]



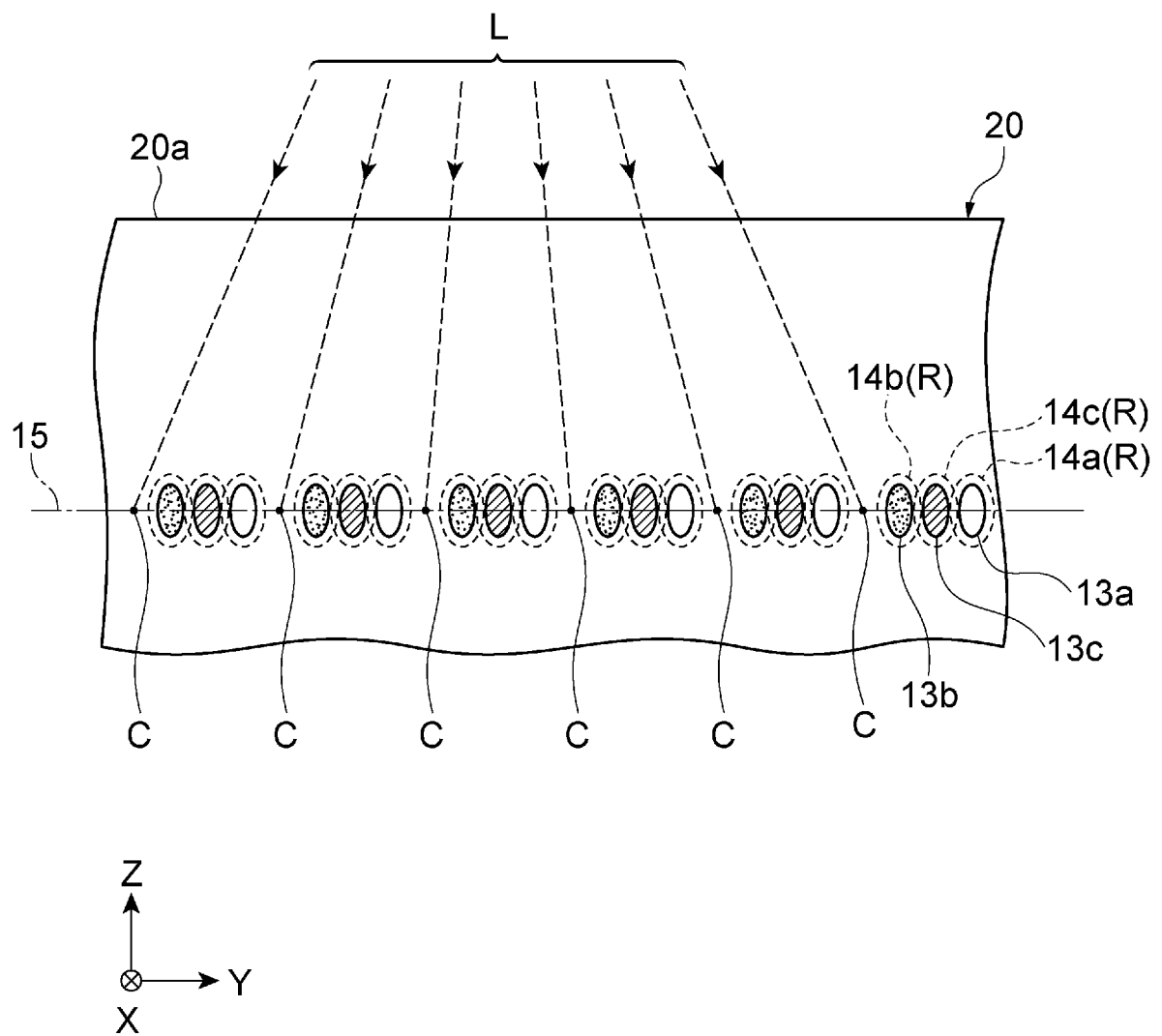
[図33]



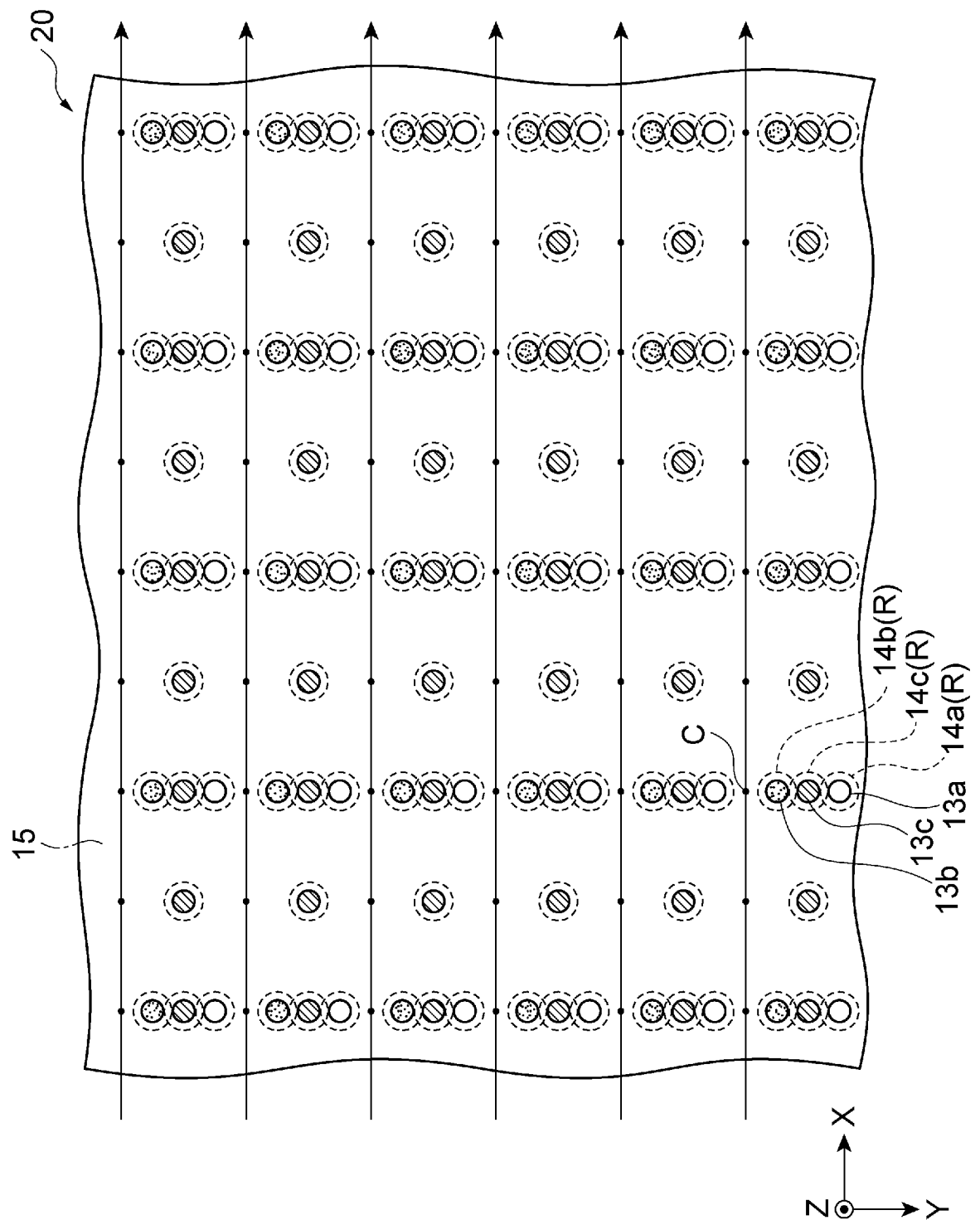
[図34]



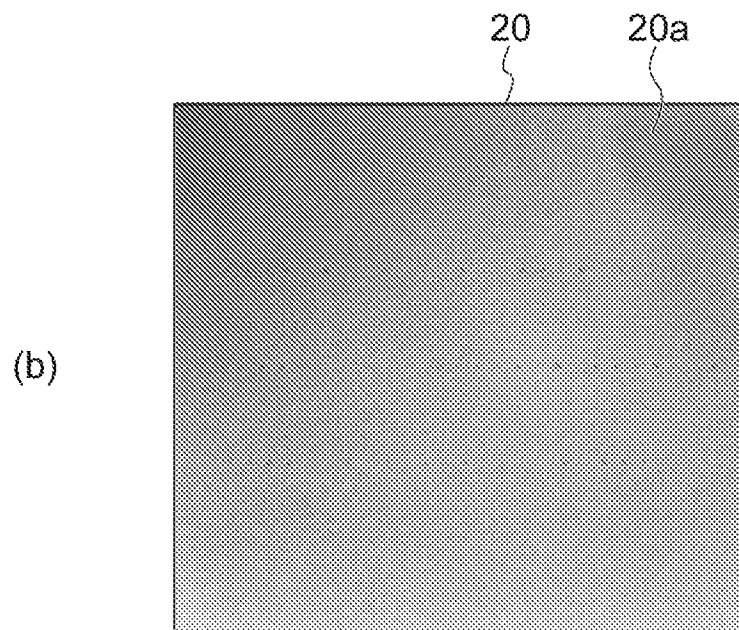
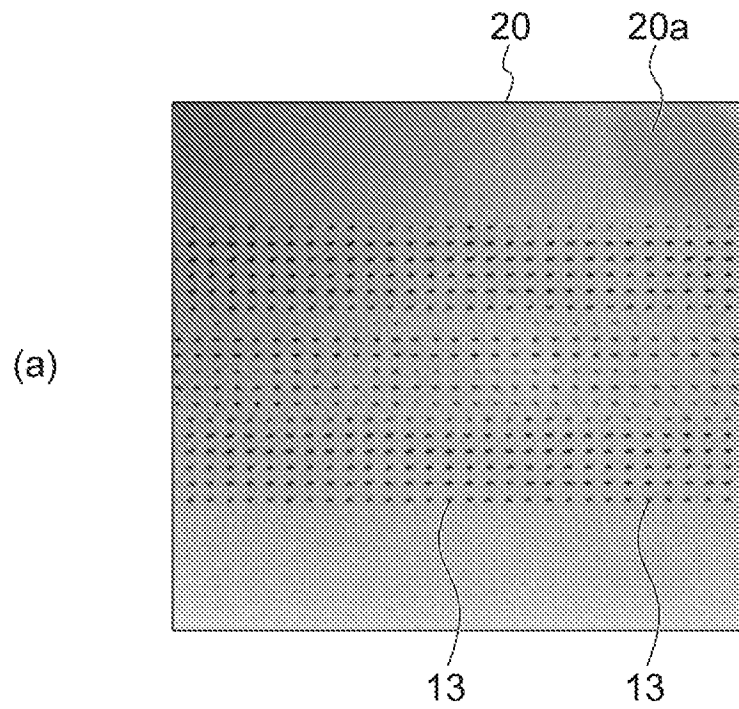
[図35]



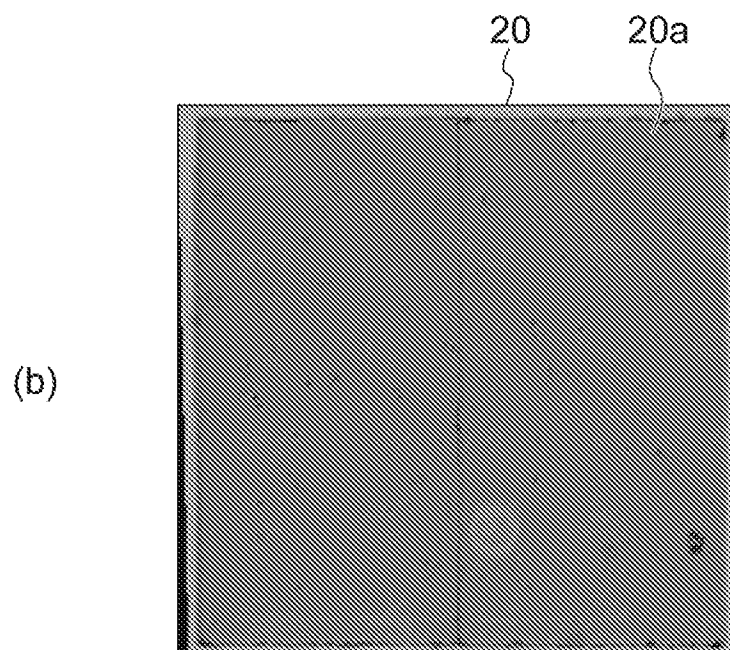
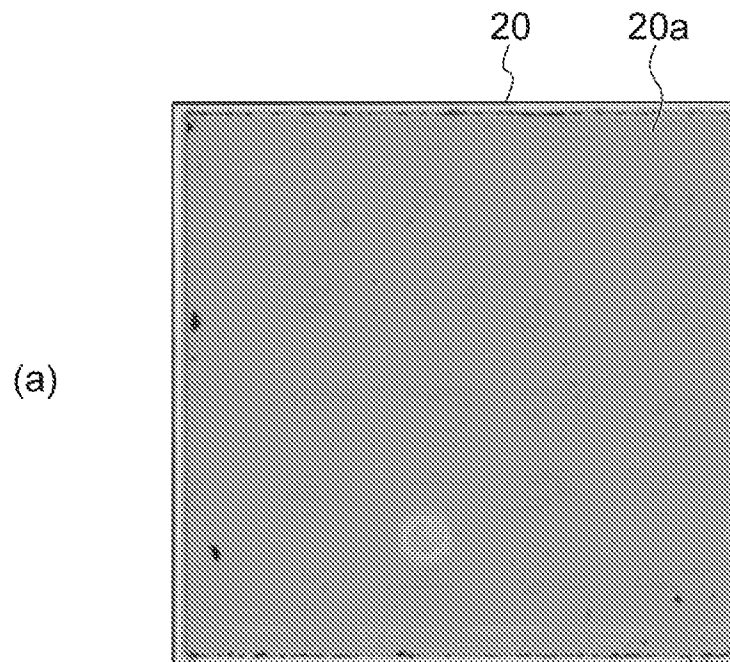
[図36]



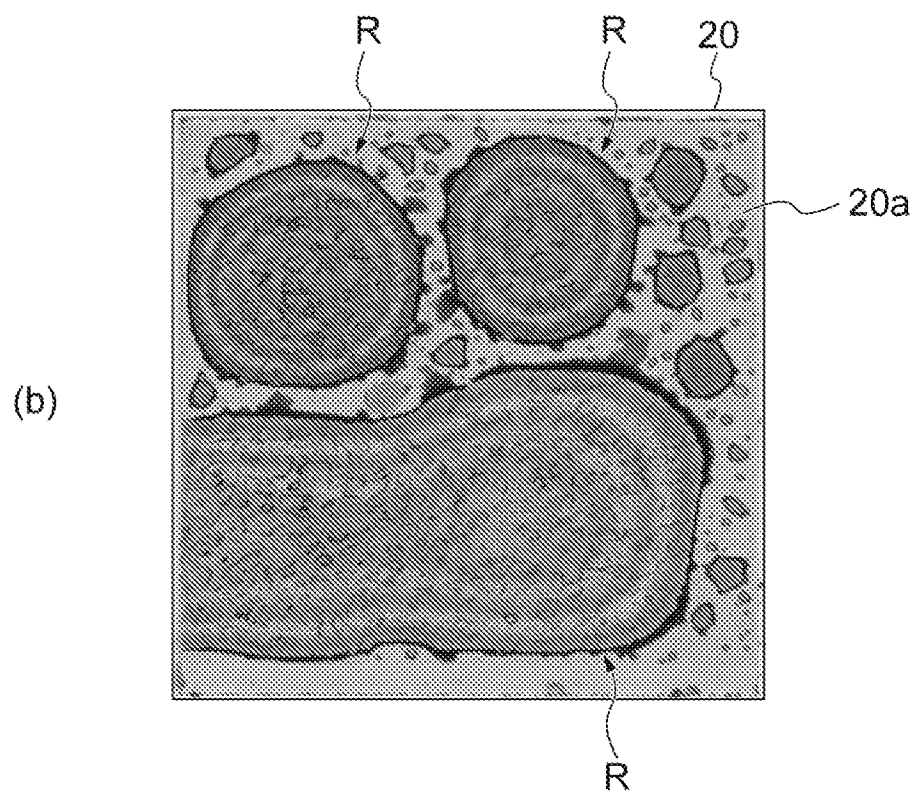
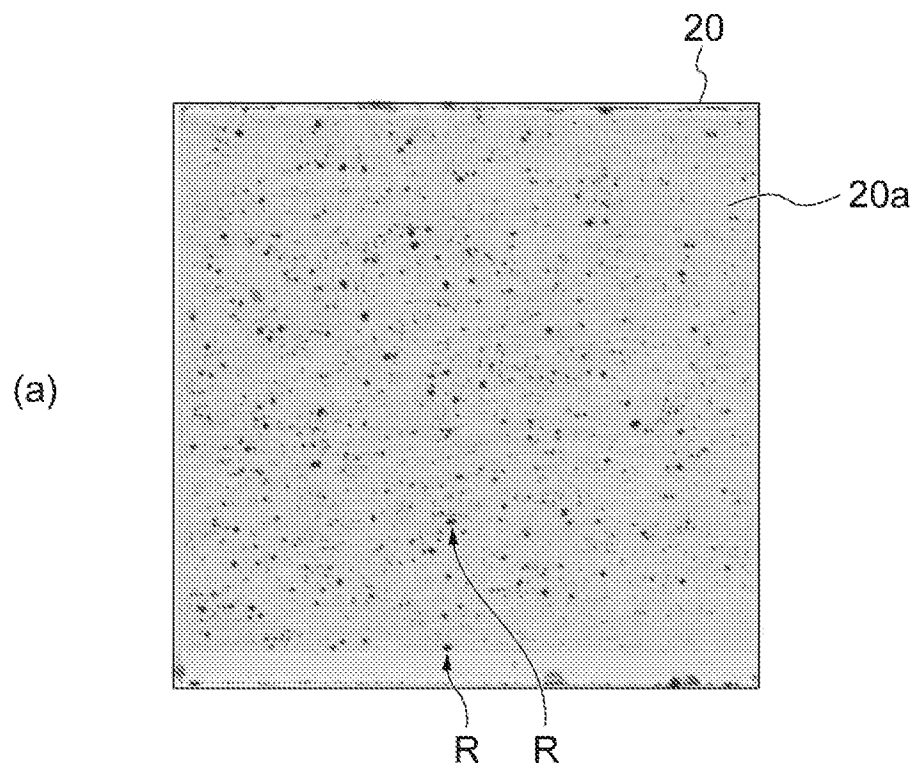
[図37]



[図38]



[図39]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/049956

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B28D 5/00(2006.01)i; B23K 26/53(2014.01)i; H01L 21/304(2006.01)i; H01L 21/301(2006.01)i

FI: H01L21/304 611Z; B23K26/53; B28D5/00 Z; H01L21/304 611B; H01L21/78 B

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)

B28D5/00; B23K26/53; H01L21/304; H01L21/301

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2020

Registered utility model specifications of Japan 1996-2020

Published registered utility model applications of Japan 1994-2020

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 2017-183600 A (PANASONIC IP MANAGEMENT CO., LTD.) 05.10.2017 (2017-10-05) paragraphs [0023]-[0045], fig. 1-3	1-11
A	WO 2017/199784 A1 (EL-SEED CORP.) 23.11.2017 (2017-11-23) paragraphs [0014]-[0028], fig. 1-9	1-11
A	WO 2005/098916 A1 (HAMAMATSU PHOTONICS K.K.) 20.10.2005 (2005-10-20) paragraph [0012], fig. 16	1-11



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

03 March 2020 (03.03.2020)

Date of mailing of the international search report

17 March 2020 (17.03.2020)

Name and mailing address of the ISA/

Japan Patent Office

3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,

Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2019/049956

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2017-183600 A	05 Oct. 2017	(Family: none)	
WO 2017/199784 A1	23 Nov. 2017	(Family: none)	
WO 2005/098916 A1	20 Oct. 2005	US 2009/0166808 A1 paragraph [0012], fig. 16 EP 1742253 A1 KR 10-2007-0005713 A CN 1938828 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） B28D 5/00(2006.01)i; B23K 26/53(2014.01)i; H01L 21/304(2006.01)i; H01L 21/301(2006.01)i FI: H01L21/304 611Z; B23K26/53; B28D5/00 Z; H01L21/304 611B; H01L21/78 B														
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）） B28D5/00; B23K26/53; H01L21/304; H01L21/301														
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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2020年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2020年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2020年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2020年				
日本国実用新案公報	1922 - 1996年													
日本国公開実用新案公報	1971 - 2020年													
日本国実用新案登録公報	1996 - 2020年													
日本国登録実用新案公報	1994 - 2020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 2017-183600 A（パナソニックIPマネジメント株式会社）05.10.2017（2017 - 10 - 05） 段落[0023]-[0045], 図1-3	1-11												
A	WO 2017/199784 A1（エルシード株式会社）23.11.2017（2017 - 11 - 23） 段落[0014]-[0028], 図1-9	1-11												
A	WO 2005/098916 A1（浜松ホトニクス株式会社）20.10.2005（2005 - 10 - 20） 段落[0012], 図16	1-11												
☐ 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。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“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	“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	“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	“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）	“&” 同一パテントファミリー文献	“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	
* 引用文献のカテゴリー	“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの													
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“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													
“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	“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													
“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）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“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														
国際調査を完了した日 03.03.2020	国際調査報告の発送日 17.03.2020													
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 内田 正和 50 9065 電話番号 03-3581-1101 内線 3559													

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2019/049956

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2017-183600	A	05.10.2017	(ファミリーなし)	
WO	2017/199784	A1	23.11.2017	(ファミリーなし)	
WO	2005/098916	A1	20.10.2005	US 2009/0166808	A1
				段落[0012], 図16	
				EP 1742253	A1
				KR 10-2007-0005713	A
				CN 1938828	A