

(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
2012年3月8日(08.03.2012)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2012/029488 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/268 (2006.01) H01L 21/20 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/067657
- (22) 国際出願日: 2011年8月2日(02.08.2011)
- (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 2010-194720 2010年8月31日(31.08.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社日本製鋼所 (THE JAPAN STEEL WORKS, LTD.) [JP/JP]; 〒1410032 東京都品川区大崎一丁目1番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 佐藤 亮介 (SATO Ryosuke) [JP/JP]; 〒2360004 神奈川県横浜市金沢区福浦2丁目2番1号株式会社日本製鋼所内 Kanagawa (JP). 草間 秀晃 (KUSAMA Hideaki) [JP/JP]; 〒2360004 神奈川県横浜市金沢区福浦2丁目2番1号株式会社日本製鋼所内 Kanagawa (JP). 富樫 陵太郎 (TOGASHI Ryotaro) [JP/JP]; 〒2360004 神奈川県横浜市金沢区福浦2丁目2番1号株式会社日本製鋼所内 Kanagawa

(JP). 井崎 博太 (IZAKI Hirotomo) [JP/JP]; 〒2360004 神奈川県横浜市金沢区福浦2丁目2番1号株式会社日本製鋼所内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 横井 幸喜 (YOKOI Koki); 〒1080073 東京都港区三田3丁目4番1号三田3丁目ビル2階 Tokyo (JP).

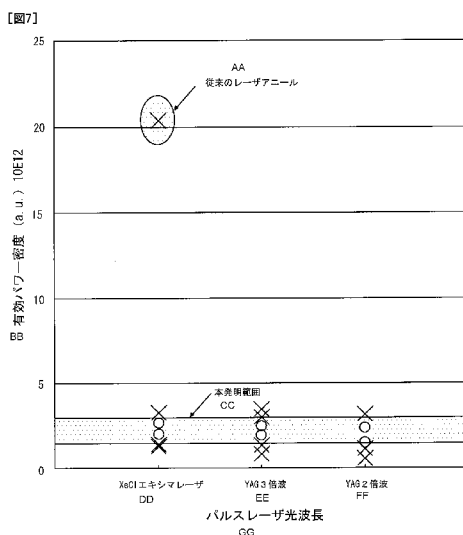
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG,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

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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: LASER ANNEALING DEVICE AND LASER ANNEALING METHOD

(54) 発明の名称: レーザアニール装置およびレーザアニール方法



(57) Abstract: The present invention enables uniform crystallization of a semiconductor film by means of laser annealing. The present invention comprises a pulse laser oscillating device for outputting a pulse laser beam, and an optical transmission means for transmitting the pulse laser beam outputted from the pulse laser oscillating device to irradiate onto the semiconductor film. Since the pulse laser beam, which has an effective power density on the irradiated surface of the semiconductor film calculated by the formula of effective power density ($J / (\text{sec} \cdot \text{cm}^2)$) = pulse energy density (J/cm^2) / pulse width (sec) $\times$ absorption coefficient of semiconductor film (cm^{-1}), is irradiated onto the semiconductor film so as to be in a range of 3×10^{12} to 1.5×10^{12} , the semiconductor film can be crystallized without inducing abnormal grain growth due to complete melting, and uniform crystals with little variation are obtained.

(57) 要約: 半導体膜をレーザアニールによって均一に結晶化することを可能にする。パルスレーザ光を出力するパルスレーザ発振装置と、該パルスレーザ発振装置から出力された前記パルスレーザ光を伝送して半導体膜に照射する光伝送手段とを備え、前記パルスレーザ光は、半導体膜照射面において、有効パワー密度 ($J / (\text{秒} \cdot \text{cm}^2)$) = パルスエネルギー密度 (J / cm^2) / パルス幅 (秒) $\times$ 半導体膜の吸収係数 (cm^{-1}) の式で算出される有効パワー密度が 3×10^{12} から 1.5×10^{12} の範囲内になるように半導体膜に照射されるので、半導体膜を完全熔融による異常粒成長を招くことなく結晶化させることができ、バラツキの小さな均一な結晶が得られる。

WO 2012/029488 A1



(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG). 添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： レーザアニール装置およびレーザアニール方法

技術分野

[0001] この発明は、半導体膜にパルスレーザ光を照射してレーザアニールを行うレーザアニール装置およびレーザアニール方法に関するものである。

背景技術

[0002] 近年、液晶ディスプレイは高解像度や、駆動フレームレート的高速化、3D化などをキーワードに、それを実現するために必要な性能の薄膜トランジスタが求められるようになってきている。薄膜トランジスタの性能向上のために、レーザアニールによってシリコン半導体膜を結晶化する必要がある。

従来、レーザアニール装置は、アモルファスシリコン（a-Si）を結晶化する装置であり、エキシマレーザを用いたアニール技術が用いられている。エキシマレーザはビームが低品質であるため、ビームを微小に絞ることが出来ない。そのため、光学系を組んでXY方向でトップフラット型のビームに整形して用いている。一般的に用いられるエキシマレーザはXeCl（波長308nm）であるため、a-Siへの吸収が高く、アモルファスシリコンへの浸透深さは約7nmと非常に浅く、膜厚方向で温度勾配が生じる。エキシマレーザを用いたアニール技術はこの温度勾配を利用して、アモルファスシリコン膜全体を完全に溶融させないレーザ出力で膜底部に結晶成長の核を残して溶融させ、この核を基点に結晶成長を起こさせる。図8に該結晶化の模式図を示す。

すなわち、ガラス基板30上に形成されたアモルファスシリコン膜31に対し、パルスレーザ光40を照射し、溶融シリコン膜32を生成する。該溶融シリコン膜32が再結晶化して凝固する過程で結晶化して結晶シリコン膜33が形成される。

[0003] 他にも吸収層を用いたレーザアニール方法（特許文献1）、YAG2倍波（波長532nm）を用いたレーザアニール装置（特許文献2）や連続発振

レーザを用いた装置（特許文献３）も提案されている。

さらには、ムラなく均一に結晶化をするために複雑な工程を用いてレーザアニールを行う方法もあり、例えば、特許文献４では加熱ステージを用いる方法が提案されている。その他に、レーザを二回に分けて照射する方法（特許文献５、６）が提案されている。また他波長のレーザを用いて上記問題点を解決しようとした例もあり、例えば、Mo膜吸収層とレーザダイオードを用いた例（非特許文献１）が報告されている。他にはGa_{0.4}N_{0.6}系青色半導体レーザを用いた方法（特許文献７）が提案されている。

先行技術文献

特許文献

- [0004] 特許文献１：特開昭６２－１３２３３１号公報
特許文献２：特開２００５－２９４４９３号公報
特許文献３：特開２０１０－１１８４０９号公報
特許文献４：特開２００８－１４７４８７号公報
特許文献５：特開２０１０－１０３４８５号公報
特許文献６：特開２００１－３３８８７３号公報
特許文献７：特開２００９－１１１２０６号公報

非特許文献

- [0005] 非特許文献１：E. P. Donovan, Calorimetric studies of crystallization and relaxation of amorphous Si and Ge prepared by ion implantation. J. Appl. Phys., Vol. 57, pp. 1795-1804, 1985.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0006] 従来のXeClエキシマレーザアニール装置は以上のような方法を用いるため、結晶性は良いものの瞬間的に融点まで加熱するのでアブレーションを防ぐ目的の脱水素工程やレーザ出力、フォーカスの厳密な制御が必要となる。また一度溶融させるためにビームの長軸繋ぎ合わせ部が特性劣化の問題が

あり、現状ではビームサイズの制約上基板サイズG4（730mm×920mm）までしか対応できないため大面積処理が困難であるという問題点がある。レーザアニールにおいて、レーザ出力の大小により結晶の状態が変化するので、上記の問題を鑑みて、特許文献1ではレーザ出力を変化させる方法も開示されているが、長軸繋ぎ合わせの問題を解決することはできていない。

[0007] 連続発振レーザを用いた特許文献3に開示される装置では、複数のレーザ光を収束化する光学系を必要とするため、レーザ発振器のそれぞれがもつエネルギーの強度にばらつきや干渉が生じ、高精度に均一化を図ることが困難になる。

また、特許文献4のように加熱ステージを用いる方法は加熱冷却に伴うタクトタイムの損失が大きく実用上適さない。また、レーザを二回に分けて照射する特許文献5、6に開示されている方法は、スループットが悪化するという問題がある。また他波長のレーザを用いて上記問題点を解決する非特許文献1に開示されるものでは、吸収層の剥離などといった工程が増えるため実用上適さない。

また、GaN系青色半導体レーザを用いた特許文献7の方法は、本質的に溶融プロセスと変わらない上、このプロセスはGaN系青色半導体レーザに限られるため出力が極めて低く産業上適さない。

[0008] この発明は上記のような従来のものの課題を解決するためになされたものであり、半導体膜に吸収されるレーザ光を用いて本願で示す有効パワー密度をある範囲にすることにより、複雑な工程を要することなく、大面積の半導体膜をムラなく均一に結晶化できるレーザアニール装置およびレーザアニール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

[0009] すなわち、本発明のレーザアニール装置のうち、第1の本発明は、パルスレーザ光を出力するパルスレーザ発振装置と、該パルスレーザ発振装置から出力された前記パルスレーザ光を伝送して半導体膜に照射する光伝送手段と

を備え、前記パルスレーザ光は、半導体膜照射面において、下記式で算出される有効パワー密度が 3×10^{12} から 1.5×10^{12} の範囲内になるように前記半導体膜に照射されるものであることを特徴とする。

$$\text{有効パワー密度 (J / (秒} \cdot \text{cm}^2)) = \text{パルスエネルギー密度 (J / cm}^2) / \text{パルス幅 (秒)} \times \text{半導体膜の吸収係数 (cm}^{-1}) \quad \dots \text{(式)}$$

[0010] 第2の本発明のレーザアニール装置は、連続レーザ光を出力する連続レーザ発振装置と、該連続レーザ発振装置から出力された連続レーザ光および該連続レーザ光から切り出されたパルスレーザ光を伝送して該パルスレーザ光を半導体膜に照射する光伝送手段と、前記連続レーザ光を前記伝送中に切り出して擬似的にパルス状にしてパルスレーザ光を生成するパルスレーザ光生成手段とを備え、

前記パルスレーザ光は、半導体膜照射面において、下記式で算出される有効パワー密度が 3×10^{12} から 1.5×10^{12} の範囲内になるように前記半導体膜に照射されるものであることを特徴とする。

$$\text{有効パワー密度 (J / (秒} \cdot \text{cm}^2)) = \text{パルスエネルギー密度 (J / cm}^2) / \text{パルス幅 (秒)} \times \text{半導体膜の吸収係数 (cm}^{-1}) \quad \dots \text{(式)}$$

[0011] 第3の本発明のレーザアニール装置は、前記第1または第2の本発明において、前記パルスレーザ光のエネルギー密度を調整するエネルギー調整手段を有し、該エネルギー調整手段は、前記式で算出される前記有効パワー密度が 3×10^{12} から 1.5×10^{12} の範囲内になるようにエネルギー密度が設定されていることを特徴とする。

[0012] 第4の本発明のレーザアニール装置は、前記第3の本発明において、前記エネルギー調整手段として、パルスレーザ光を所定の減衰率で減衰させて透過させるアテニュエータおよび前記レーザ発振装置の出力を調整する出力調整手段とを備え、該アテニュエータおよび前記出力調整手段は、前記式で算出される前記有効パワー密度が 3×10^{12} から 1.5×10^{12} の範囲内になるように前記減衰率および前記出力が設定されていることを特徴とする。

[0013] 第5の本発明のレーザアニール装置は、前記第1～第4の本発明のいずれ

かにおいて、前記パルスレーザ光のパルス幅を調整するパルス幅調整手段を備え、該パルス幅調整手段は、前記式で算出される前記有効パワー密度が 3×10^{12} から 1.5×10^{12} の範囲内になるように前記パルスレーザ光のパルス幅を調整するものであることを特徴とする。

[0014] 第6の本発明のレーザアニール装置は、前記第1～第5の本発明のいずれかにおいて、前記半導体膜がシリコン半導体膜であり、前記エネルギー密度が $100 \sim 500 \text{ mJ} / \text{cm}^2$ 、前記パルス幅が $50 \sim 500 \text{ n}$ 秒であることを特徴とする。

[0015] 第7の本発明のレーザアニール方法は、パルスレーザ光を半導体膜に照射して該半導体膜のレーザアニールを行うレーザアニール方法において、前記パルスレーザ光のパルスエネルギー密度およびパルス幅を、照射面において下記式で算出される有効パワー密度が 3×10^{12} から 1.5×10^{12} の範囲内になるように設定をし、該設定がなされた前記パルスレーザ光を前記半導体膜に照射することを特徴とする。

$$\text{有効パワー密度 (J / (秒} \cdot \text{cm}^3)) = \text{パルスエネルギー密度 (J / cm}^2) / \text{パルス幅 (秒)} \times \text{半導体膜の吸収係数 (cm}^{-1}) \quad \dots \text{ (式)}$$

[0016] 本発明によれば、パルスレーザ光を適度なエネルギー密度とパルス幅と吸収係数との関係を有して半導体膜に照射して急速に加熱することで、半導体膜に、完全に溶融しない程度の熱を与えて、従来の完全溶融・再結晶化法と異なる手法で粒径のバラツキの小さな均一な結晶を得ることができる。従来方式の溶融結晶化法や加熱炉によるSPC（固相成長法）では結晶粒のばらつきは大きくなる。

次に、本発明で規定する条件について以下に説明する。

[0017] 有効パワー密度： 3×10^{12} から 1.5×10^{12} の範囲内

下記式で算出される有効パワー密度を適切な範囲に設定することで、半導体膜をアニールしてバラツキの小さな均一な結晶半導体膜とすることができる。有効パワー密度が下限未満であると、半導体膜を十分に加熱することができず、結晶化が不均一になりやすい。また、有効パワー密度が上限を超え

ると、半導体膜の溶融が生じて不均一な結晶になる。

有効パワー密度 ($J / (\text{秒} \cdot \text{cm}^3)$) = パルスエネルギー密度 (J / cm^2) / パルス幅 (秒) $\times$ 半導体膜の吸収係数 (cm^{-1}) ... (式)

なお、上記有効パワー密度は、本発明において定義するものであり、一般的な物理的性質を示すものではない。

[0018] パルスレーザ光波長域

本発明においては、半導体膜に照射するパルスレーザ光の波長域が特定のものに限定されるものではない。ただし、半導体膜、特にアモルファスシリコン膜に対し、吸収のよい波長域であるパルスレーザ光によって設定してパルスレーザ光の照射を行うと、半導体膜を直接加熱させることで、効果的に加熱を行うことができ、半導体膜の上層に間接的にレーザ吸収層を設ける必要がない。また、半導体膜、特にアモルファスシリコン膜に対し吸収はあるが、透過するような波長であると、半導体膜に対する光の吸収率が、下層からの多重反射によりシリコン下層の厚みによる偏差（ばらつき）が大きく依存してしまう。これらの点で紫外域の308～358 nmの波長域が望ましい。

[0019] エネルギー密度

半導体膜に適度なエネルギー密度のパルスレーザ光を照射することにより、半導体膜は完全には溶融しない状態に変化し、微結晶が作製できる。エネルギー密度が低いと有効パワー密度が小さくなって結晶化が十分になされなかったり、結晶化が困難になる。一方、エネルギー密度が高いと、有効パワー密度が大きくなりすぎて溶融結晶が生じたり、アブレーションが生じてしまう。本発明としては、有効パワー密度が適正な範囲内に有ればエネルギー密度は特に限定されるものではないが、100～500 mJ / cm²の範囲を望ましいものとして示すことができる。

[0020] パルス幅

パルス幅は、有効パワー密度を適切にして半導体膜を適度に加熱するために重要な要素の1つであり、パルス幅が小さすぎると有効パワー密度が増大

し、半導体膜が完全に溶融する温度にまで加熱され、均一な結晶化が困難になる。また、パルス幅が大きすぎると有効パワー密度が減少し、結晶化させる温度まで加熱できない場合がある。本発明としては、有効パワー密度が適正な範囲内に有ればパルス幅は特に限定されるものではないが、50～500 nsの範囲を望ましいものとして示すことができる。

[0021] パルスレーザ光の照射面形状は特に限定されるものではなく、例えばスポット状、ライン状にして半導体膜に照射することができる。

ライン状にする場合、前記パルスレーザ光の短軸幅は0.5 mm以下とするのが望ましい。短軸幅方向にパルスレーザ光を相対的に走査することで、半導体膜を部分的に照射・加熱しつつ大領域の結晶化処理が可能になる。但し、短軸幅が大きすぎると効率よく結晶化するために走査速度を大きくしなければならず、装置コストが増大してしまう。

[0022] 前記パルスレーザ光を非晶質膜に対し相対的に走査することで、前記半導体膜を面方向に沿って結晶化させることが可能になる。該走査は、パルスレーザ側を移動させてもよく、非晶質膜側を移動させてもよく、両方を移動させるようにしてもよい。

[0023] なお、本発明は、パルスレーザ光を出力する固体レーザ光源を使用して所望の波長域のパルスレーザ光を出力でき、メンテナンス性の良好なレーザ光源によって均一結晶の作製を行うことができる。なお、パルスレーザ光は、連続レーザ光を切り出して擬似的にパルス状としたものであってもよい。切り出しは、機械的に高速回転などするシャッターや光変調器などを用いて行うことができる。

[0024] パルスレーザ光は、適正な前記有効パワー密度によって均一な微細結晶を得るためにエネルギー調整手段によってエネルギー密度が適切に調整されて半導体膜に照射されるようにすることができる。エネルギー調整手段は、レーザ発振装置の出力を調整して所定のエネルギー密度が得られるようにしてもよく、レーザ発振装置から出力されたレーザ光の減衰率をアテニュエータで調整するなどしてエネルギー密度を調整するようにしてもよい。パルスレ

ーザ光のエネルギー密度調整は、擬似的なパルスレーザ光を使用する場合、パルス状に切り出す前に前記エネルギー調整がなされるものであってもよい。

[0025] また、パルスレーザ光は、適正な前記有効パワー密度によって均一な微細結晶を得るためにパルス幅調整手段によってパルス幅が適切に調整されて半導体膜に照射されるようにすることができる。

パルス幅調整手段としては、パルスレーザ光を複数のビームに分割するビーム分割手段と、分割された各ビームを遅延させる遅延手段と、分割された各ビームを合成するビーム合成手段とを備えるものによって構成することができる。遅延手段における遅延量の設定によってパルス波形を適宜の形にすることができる。遅延手段は、光路長の調整によって遅延量を変更することができる。

例えば、上記ビーム分割手段で分割されたレーザを、夫々光路長の異なる光学系に導く。分割して遅延させたビームを再び単一の光路上に導くことにより、パルス時間幅を伸長させ、パルス波形を調整できる。特に分割時の強度比の調整と、分割後の夫々の光路長の設定によりパルス時間波形を適宜変更することができる。

[0026] パルス幅調整としては、複数のレーザ光源から出力されたパルスレーザ光を重ね合わせることで行うこともできる。複数のパルスレーザ光を半導体膜に照射することで、結果的に所望のパルス波形が得られる。複数のパルスレーザ光を重ね合わせる際に、パルス出力の位相を調整したり、遅延手段を介在させたりすることで所望のパルス幅に調整することができ、これら構成によってパルス幅調整手段が構成される。

[0027] パルスレーザ光は、走査装置によって半導体膜に対し相対的に走査することで、半導体膜の大領域で微細で均一な結晶を得ることができる。該走査によって半導体膜に対する同一領域へのショット数が所定数、例えば1～10となるようにパルスの周波数、パルスレーザ光の短軸幅、走査速度が設定される。

走査装置は、パルスレーザ光が導かれる光学系を移動させてパルスレーザ光を移動させるものでもよく、また、半導体膜が配置される基台を移動させるものであってもよい。

発明の効果

[0028] 以上説明したように、本発明によれば、下記式で示される有効パワー密度を 3×10^{12} から 1.5×10^{12} の範囲内にして半導体膜にパルスレーザ光を照射するので、半導体膜を異常粒成長させることなく結晶化させることができ、バラツキの小さな均一な結晶を得ることができる。

図面の簡単な説明

[0029] [図1]本発明に係るレーザアニール装置の一実施形態を示す概略図である。
[図2]同じく、パルス幅調整手段の一例を示す概略図である。
[図3]他の実施形態におけるレーザアニール装置を示す概略図である。
[図4]本発明の実施例におけるレーザアニール後の結晶を示すSEM写真である。
[図5]同じく、実施例におけるレーザアニール後の結晶を示すSEM写真である。
[図6]同じく、実施例におけるレーザアニール後の結晶を示すSEM写真である。
[図7]同じく、実施例における有効パワー密度を示す図である。
[図8]従来のレーザアニールにおける結晶形成状態を示す説明図である。

発明を実施するための形態

[0030] 以下に、本発明の一実施形態を説明する。

図1は、本発明のレーザアニール装置1の概略を示す図である。

レーザアニール装置1は、処理室2を備えており、該処理室2内にX-Y方向に移動可能な走査装置3を備え、その上部に基台4を備えている。基台4上には、ステージとして基板配置台5が設けられている。アニール処理時には、該基板配置台5上に半導体膜として非晶質のシリコン膜100などが設置される。シリコン膜100は、図示しない基板上に50nm厚で形成さ

れている。該形成は常法により行うことができ、本発明としては半導体膜の形成方法が特に限定されるものではない。また、アニール対象となる半導体膜としては非晶質のものが好適であるが、本発明としては非晶質のものに限定されるものではない。結晶質のものや結晶を一部に含むものであってもよく、これらにおいても結晶の改質としてレーザアニールを適用することができる。

なお、走査装置 3 は、図示しないモータなどによって駆動され、該モータは後述する制御部 8 によって動作が制御されて走査装置 3 の走査速度が設定される。また、処理室 2 には、外部からパルスレーザ光を導入する導入窓 6 が設けられている。

[0031] 処理室 2 の外部には、パルスレーザ発振装置 10 が設置されている。該パルスレーザ発振装置 10 は、エキシマレーザ発振装置で構成されている。該パルスレーザ発振装置 10 には、駆動電圧を供給するレーザ電源 9 が接続されており、該レーザ電源 9 は、制御部 8 に制御可能に接続されている。制御部 8 の指令によってレーザ電源 9 は必要な駆動電圧をパルスレーザ発振装置 10 に供給し、該パルスレーザ発振装置 10 では、所定の出力でパルスレーザ光が出力される。

[0032] 該パルスレーザ発振装置 10 においてパルス発振されて出力されるパルスレーザ光 15 は、必要に応じてアテニュエータ 11 でエネルギー密度が調整される。アテニュエータ 11 は、前記制御部 8 に制御可能に接続されており、制御部 8 の指令によって所定の減衰率に設定される。すなわち、上記レーザ電源 9、制御部 8 およびアテニュエータ 11 は、本発明のエネルギー調整手段を構成する。該エネルギー調整手段によって、好適にはシリコン膜 100 の照射面において、エネルギー密度が $100 \sim 500 \text{ mJ/cm}^2$ となるように調整することができる。

アテニュエータ 11 を透過したパルスレーザ光 15 は、レンズ、反射ミラー、ホモジナイザーなどによって構成される光伝送手段 12 でビーム整形や偏向がなされ、処理室 2 に設けた導入窓 6 を通して処理室 2 内のシリコン膜

100に照射される。照射の際の照射面形状は特に限定されないが、前記光伝送手段12によって、例えばスポット状、円形状、角形状、長尺状などに整形される。

[0033] また、光伝送手段12には、パルス幅調整手段13を有するものであってもよい。該パルス幅調整手段13の概略を図2に基づいて説明する。

パルス幅調整手段13には、光路上に、ハーフミラーからなるビームスプリッタ130が配置されており、一部のビーム15aは90度反射され、残部のビーム15bは透過するように分割される。すなわち、ビームスプリッタ130は、本発明のビーム分割手段に相当する。また、ビームスプリッタ130の反射方向には入射角が45度になるように全反射ミラー131が配置され、該全反射ミラー131の反射方向に入射角が45度になるように全反射ミラー132が配置され、全反射ミラー132の反射方向に入射角が45度になるように全反射ミラー133が配置され、全反射ミラー133の反射方向に入射角が45度になるように全反射ミラー134が配置されている。

全反射ミラー134の反射方向には、前記ビームスプリッタ130の裏面側が位置しており、入射角45度でビームが照射される。

[0034] ビームスプリッタ130で90度反射されたビーム15aは、全反射ミラー131、132、133、134で順次90度ずつ反射されることで遅延したビーム15cとなってビームスプリッタ130の裏面側に至り、一部が90度反射されてビーム15bに遅延した形で重ね合わされ、残りのビームはビームスプリッタ130を透過して前記全反射、ビームスプリッタ130での分割が繰り返される。ビーム15b側で重ね合わされたビームは、遅延したビームが重ね合わされることでパルス波形の整形がなされ、パルス幅の調整がなされ、パルスレーザ光150として光路上を進行する。

なお、各全反射ミラーの位置を変えて光路長を調整することでビームの遅延量を変えることができ、これによって重ね合わされたパルスレーザ光のパルス幅を任意に変更することができる。また、分割されたパルスレーザ光の

強度を個別に調整するようにしてもよい。

パルス幅調整手段によって、好適にはパルス幅を50～500 nsの範囲に設定することができる。なお、本発明としてはパルス幅調整手段を有さず、出力されたパルスレーザ光のパルス幅でシリコン膜100に照射されるものであってもよい。

[0035] パルスレーザ光150は、導入窓6を通して処理室2内に導入され、基板配置台5上のシリコン膜100に照射される。この際に基板配置台5は、走査装置3によって基台4とともに移動され、パルスレーザ光150がシリコン膜100上で相対的に走査されつつ照射されることになる。

この際のパルスレーザ光150は、結晶化に適した有効パワー密度が得られるように、パルスレーザ発振装置10の出力、アテニュエータ11の減衰率、パルス幅、パルスレーザ光の照射断面積が設定されており、前記式で算出される有効パワー密度が 3×10^{12} から 1.5×10^{12} の範囲内になるように設定されている。このパルスレーザ光150の照射によってシリコン膜100が均一に結晶化する。なお、シリコン膜100におけるレーザ光吸収率は、パルスレーザ光の波長によって定まるものであり、既知の情報を用いることができる。

該パルスレーザ光150が照射されて結晶化されたシリコン膜100は、結晶粒径が揃った結晶性に優れたものとなる。

[0036] なお、上記では、パルス幅の調整をパルスレーザ光の分割と遅延によって行うパルス幅調整手段13で行っているが、複数のパルスレーザ発振装置で出力されたパルスレーザ光を同期をずらしてシリコン膜100に照射することでパルス幅を調整することができる。

図3は、当該装置構成を示す図であり、以下に説明する。なお、前記実施形態と同様の構成については同一の符号を付して説明する。

レーザアニール装置は、図3に示すように、処理室2を備えており、該処理室2内にX-Y方向に移動可能な走査装置3を備え、その上部に基台4を備えている。基台4上には、基板配置台5が設けられている。アニール処理

時には、該基板配置台 5 上に処理対象であるシリコン膜 100 が設置される。なお、走査装置 3 は、図示しないモータなどによって駆動され、制御部 8 で制御される。

処理室 2 外部には、パルスレーザ発振装置 10 が設置されている。パルスレーザ発振装置 10 でパルス発振されて出力されるパルスレーザ光 15 は、必要に応じて減衰器 11 でエネルギー密度が調整され、レンズ、反射ミラー、ホモジナイザーなどによって構成される光伝送手段 12 でビーム整形や偏向がなされ、処理室 2 内のシリコン膜 100 に照射される。

[0037] また、処理室 2 外部には、同じくパルスレーザ光 25 を発生するパルスレーザ発振装置 20 が設置されている。パルスレーザ発振装置 20 でパルス発振されて出力されるパルスレーザ光 25 は、必要に応じて減衰器 21 でエネルギー密度が調整され、レンズ、反射ミラー、ホモジナイザーなどによって構成される光伝送手段 22 でビーム整形や偏向がなされ、処理室 2 内のシリコン膜 100 に照射される。

上記装置では、制御部 8 で装置全体が制御されており、前記パルスレーザ発振装置 10 を駆動するレーザ電源 9、前記パルスレーザ発振装置 20 を駆動するレーザ電源 19 にそれぞれ制御可能に接続され、それぞれのパルスレーザ発振装置 10、20 の出力を設定する。また、制御部 8 は、アテニュエータ 11、アテニュエータ 21 に制御可能に接続され、それぞれの減衰率を設定する。したがって、レーザ電源 9、19、アテニュエータ 11、21 および制御部 8 は、本発明のエネルギー調整手段を構成する。

[0038] 上記レーザアニール装置では、図 3 に示すように、パルスレーザ光 15 とパルスレーザ光 25 とが出力され、シリコン膜 100 上で複合照射される。この際のパルスレーザ光の同期をずらすことで、結果的にはシリコン膜 100 に照射されるパルスレーザ光のパルス幅を調整することができる。

パルス幅が調整されたパルスレーザ光において、上記有効パワー密度が 3×10^{12} から 1.5×10^{12} の範囲内になるように設定されてシリコン膜 100 に照射される。

[0039] また、上記各実施形態では、パルスレーザ発振装置から出力されたパルスレーザ光を用いるものとして説明をしたが、レーザ光連続発振装置から出力された連続レーザ光を切り出して、擬似的にパルス状としたレーザ光を用いることも可能である。

実施例 1

[0040] 次に本発明の実施例と比較例とを比較しつつ説明する。

上記実施形態のレーザアニール装置（図1）を用いて、ガラス製の基板の表面に常法によって形成されたアモルファスシリコン薄膜50nmにパルスレーザ光を照射する実験を行なった。

該実験では、パルスレーザ光は、光伝送手段によって加工面で長方形となるように整形し、照射面においてエネルギー密度が $8 \sim 400 \text{ mJ/cm}^2$ 、パルス幅が $20 \sim 600 \text{ ns}$ の範囲にあるように設定して基板上的のアモルファスシリコンに照射した。なお、アモルファスシリコン膜の吸収係数は、 $\text{吸収係数} = 4\pi k / \text{波長}$ と定義する。

（ k ：減衰係数 非特許文献：D. E. Aspnes and J. B. Theeten, J. Electrochem. Soc. 127, 1359 (1980)参照）

[0041] 上記パルスレーザ光の照射によってアモルファスシリコンは加熱され、結晶シリコンへと変化した。この照射を行なった薄膜を顕微鏡とSEM写真により評価した。SEM写真（図面代用写真）は図4～図6に示した。

なお、以下で説明する有効パワー密度は、いずれも下記式で算出した。また、算出結果を図7に示した。該図には、参考データとして従来のレーザアニールにおける有効パワー密度を記載した。図中○印は以下の実施例に相当し、×印は、以下の比較例に相当する。

有効パワー密度（ $\text{J}/(\text{秒} \cdot \text{cm}^2)$ ）＝パルスエネルギー密度（ J/cm^2 ）／パルス幅（秒）×半導体膜の吸収係数（ cm^{-1} ） …（式）

[0042] （実施例1）

レーザ発振装置にXeClエキシマレーザを用いて、有効パワー密度を 2.0×10^{12} に設定してパルスレーザ光の照射を行うと、写真1に示すよう

に、均一でムラのない結晶ができた。

(実施例 2)

レーザ発振装置に X e C l エキシマレーザを用いて、有効パワー密度を 2.7×10^{12} に設定してパルスレーザ光の照射を行うと、写真 2 に示すように、均一でムラのない結晶ができた。

(実施例 3)

レーザ発振装置に Y A G 3 倍波固体レーザを用いて、有効パワー密度を 1.8×10^{12} に設定してパルスレーザ光の照射を行うと、写真 3 に示すように、均一でムラのない結晶ができた。

(実施例 4)

レーザ発振装置に Y A G 3 倍波固体レーザを用いて、有効パワー密度を 2.5×10^{12} に設定してパルスレーザ光の照射を行うと、写真 4 に示すように、均一でムラのない結晶ができた。

(実施例 5)

レーザ発振装置に Y A G 2 倍波固体レーザを用いて、有効パワー密度を 1.6×10^{12} に設定してパルスレーザ光の照射を行うと、写真 5 に示すように、均一でムラのない結晶ができた。

(実施例 6)

レーザ発振装置に Y A G 2 倍波固体レーザを用いて、有効パワー密度を 2.4×10^{12} に設定してパルスレーザ光の照射を行うと、写真 6 に示すように、均一でムラのない結晶ができた。

[0043] (比較例 1)

レーザ発振装置に X e C l エキシマレーザを用いて、有効パワー密度を 2.0×10^{13} に設定してパルスレーザ光の照射を行うと、写真 7 に示すように、長軸重ねあわせ部で結晶状態の異なるムラのある結晶ができた。X R D (X 線回折) で表面解析をしたところほぼ全領域で溶融をしていた。

(比較例 2)

レーザ発振装置に X e C l エキシマレーザを用いて、有効パワー密度を 3

． 5×10^{12} に設定してパルスレーザ光の照射を行うと、写真 8 に示すように、長軸重ねあわせ部で結晶状態の異なるムラのある結晶ができた。XRD で表面解析をしたところ表層 3 nm ほど溶融をしていた。

(比較例 3)

レーザ発振装置に YAG 3 倍波固体レーザを用いて、有効パワー密度を 3×10^{12} に設定してパルスレーザ光の照射を行うと、写真 9 に示すように、長軸重ねあわせ部で結晶状態の異なるムラのある結晶ができた。XRD で表面解析をしたところ表層 8 nm ほど溶融をしていた。

(比較例 4)

レーザ発振装置に YAG 3 倍波固体レーザを用いて、有効パワー密度を 5×10^{12} に設定してパルスレーザ光の照射を行うと、写真 10 に示すように、長軸重ねあわせ部で結晶状態の異なるムラのある結晶ができた。XRD で表面解析をしたところ表層 9 nm ほど溶融をしていた。

(比較例 5)

レーザ発振装置に YAG 2 倍波固体レーザを用いて、有効パワー密度を 2×10^{12} に設定してパルスレーザ光の照射を行うと、写真 11 に示すように、長軸短軸重ねあわせ部で結晶状態の異なるムラのある結晶ができた。

(比較例 6)

レーザ発振装置に XeCl エキシマレーザを用いて、有効パワー密度を 4×10^{12} に設定してパルスレーザ光の照射を行うと、写真 12 に示すように、全体的にムラのある結晶となった。

(比較例 7)

レーザ発振装置に XeCl エキシマレーザを用いて、有効パワー密度を 3×10^{12} に設定してパルスレーザ光の照射を行うと、写真 13 に示すように、全体的にムラのある結晶となった。

(比較例 8)

レーザ発振装置に YAG 3 倍波固体レーザを用いて、有効パワー密度を 4×10^{12} に設定してパルスレーザ光の照射を行うと、写真 14 に示すよ

うに、全体的にムラのある結晶となった。

(比較例 9)

レーザ発振装置に YAG 3 倍波固体レーザを用いて、有効パワー密度を 0.9×10^{12} に設定してパルスレーザ光の照射を行うと、写真 15 に示すように、全体的にムラのある結晶となった。

(比較例 10)

レーザ発振装置に YAG 2 倍波固体レーザを用いて、有効パワー密度を 0.6×10^{12} に設定してパルスレーザ光の照射を行うと、写真 16 に示すように、全体的にムラのある結晶となった。

(比較例 11)

レーザ発振装置に YAG 2 倍波固体レーザを用いて、有効パワー密度を 1.4×10^{12} に設定してパルスレーザ光の照射を行うと、写真 17 に示すように、全体的にムラのある結晶となった。

[0044] 以上、上記実施形態および実施例に基づいて本発明の説明を行ったが、本発明は上記説明の内容に限定されるものではなく、本発明の範囲を逸脱しない限りは適宜の変更が可能である。

符号の説明

- [0045]
- | | |
|----|------------|
| 1 | レーザアニール装置 |
| 2 | 処理室 |
| 3 | 走査装置 |
| 5 | 基板配置台 |
| 8 | 制御部 |
| 9 | レーザ電源 |
| 10 | パルスレーザ発振装置 |
| 11 | アテニュエータ |
| 12 | 光伝送手段 |
| 13 | パルス幅調整手段 |
| 15 | パルスレーザ光 |

- 1 9 レーザ電源
- 2 0 パルスレーザ発振装置
- 2 1 アテニュエータ
- 2 2 光伝送手段
- 2 5 パルスレーザ光
- 1 0 0 シリコン膜
- 1 5 0 パルスレーザ光

請求の範囲

[請求項1] パルスレーザ光を出力するパルスレーザ発振装置と、該パルスレーザ発振装置から出力された前記パルスレーザ光を伝送して半導体膜に照射する光伝送手段とを備え、

前記パルスレーザ光は、半導体膜照射面において、下記式で算出される有効パワー密度が 3×10^{12} から 1.5×10^{12} の範囲内になるように前記半導体膜に照射されるものであることを特徴とするレーザアニール装置。

$$\text{有効パワー密度 (J / (秒} \cdot \text{cm}^2)) = \text{パルスエネルギー密度 (J / cm}^2) \text{ / パルス幅 (秒)} \times \text{半導体膜の吸収係数 (cm}^{-1}) \quad \dots \text{(式)}$$

[請求項2] 連続レーザ光を出力する連続レーザ発振装置と、該連続レーザ発振装置から出力された連続レーザ光および該連続レーザ光から切り出されたパルスレーザ光を伝送して該パルスレーザ光を半導体膜に照射する光伝送手段と、前記連続レーザ光を前記伝送中に切り出して擬似的にパルス状にしてパルスレーザ光を生成するパルスレーザ光生成手段とを備え、

前記パルスレーザ光は、半導体膜照射面において、下記式で算出される有効パワー密度が 3×10^{12} から 1.5×10^{12} の範囲内になるように前記半導体膜に照射されるものであることを特徴とするレーザアニール装置。

$$\text{有効パワー密度 (J / (秒} \cdot \text{cm}^2)) = \text{パルスエネルギー密度 (J / cm}^2) \text{ / パルス幅 (秒)} \times \text{半導体膜の吸収係数 (cm}^{-1}) \quad \dots \text{(式)}$$

[請求項3] 前記パルスレーザ光のエネルギー密度を調整するエネルギー調整手段を有し、該エネルギー調整手段は、前記式で算出される前記有効パワー密度が 3×10^{12} から 1.5×10^{12} の範囲内になるように前記エネルギー密度が設定されていることを特徴とする請求項1または

2に記載のレーザアニール装置。

[請求項4] 前記エネルギー調整手段として、パルスレーザ光を所定の減衰率で減衰させて透過させるアテニュエータおよび前記レーザ発振装置の出力を調整する出力調整手段とを備え、該アテニュエータおよび前記出力調整手段は、前記式で算出される前記有効パワー密度が 3×10^{12} から 1.5×10^{12} の範囲内になるように前記減衰率および前記出力が設定されていることを特徴とする請求項3に記載のレーザアニール装置。

[請求項5] 前記パルスレーザ光のパルス幅を調整するパルス幅調整手段を備え、該パルス幅調整手段は、前記式で算出される前記有効パワー密度が 3×10^{12} から 1.5×10^{12} の範囲内になるように前記パルスレーザ光のパルス幅を調整するものであることを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載のレーザアニール装置。

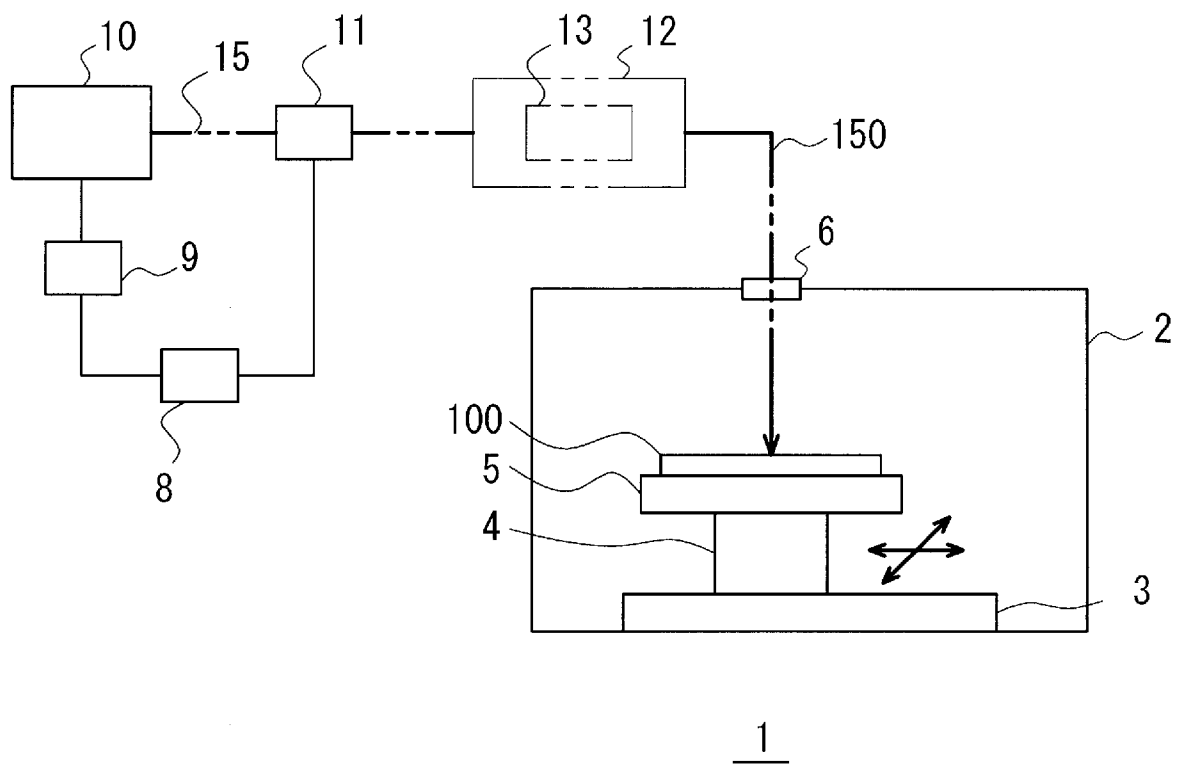
[請求項6] 前記半導体膜がシリコン半導体膜であり、前記エネルギー密度が $100 \sim 500 \text{ mJ} / \text{cm}^2$ 、前記パルス幅が $50 \sim 500 \text{ ns}$ であることを特徴とする請求項1～5のいずれかに記載のレーザアニール装置。

[請求項7] パルスレーザ光を半導体膜に照射して該半導体膜のレーザアニールを行うレーザアニール方法において、

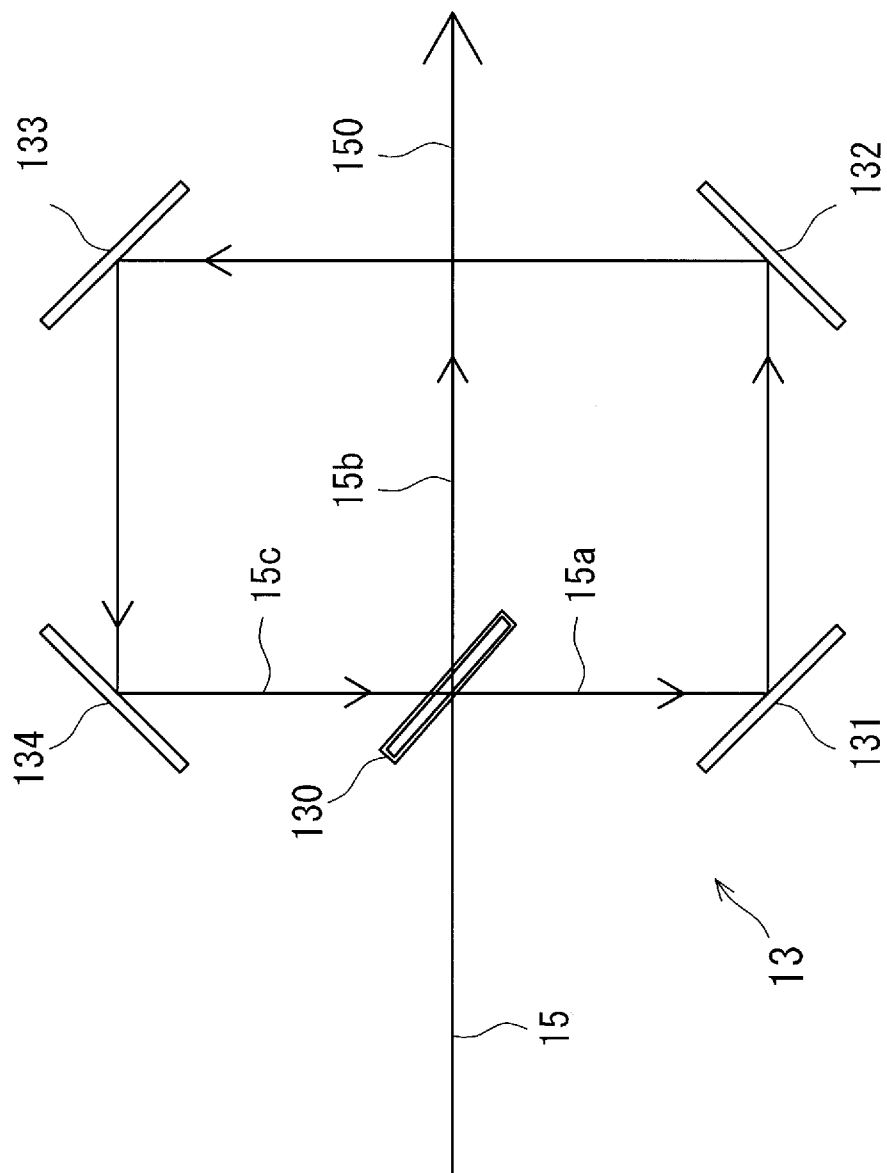
前記パルスレーザ光のパルスエネルギー密度およびパルス幅を、照射面において下記式で算出される有効パワー密度が 3×10^{12} から 1.5×10^{12} の範囲内になるように設定をし、該設定がなされた前記パルスレーザ光を前記半導体膜に照射することを特徴とするレーザアニール方法。

有効パワー密度 ($\text{J} / (\text{秒} \cdot \text{cm}^3)$) = パルスエネルギー密度 (J / cm^2) / パルス幅 (秒) $\times$ 半導体膜の吸収係数 (cm^{-1}) ...
(式)

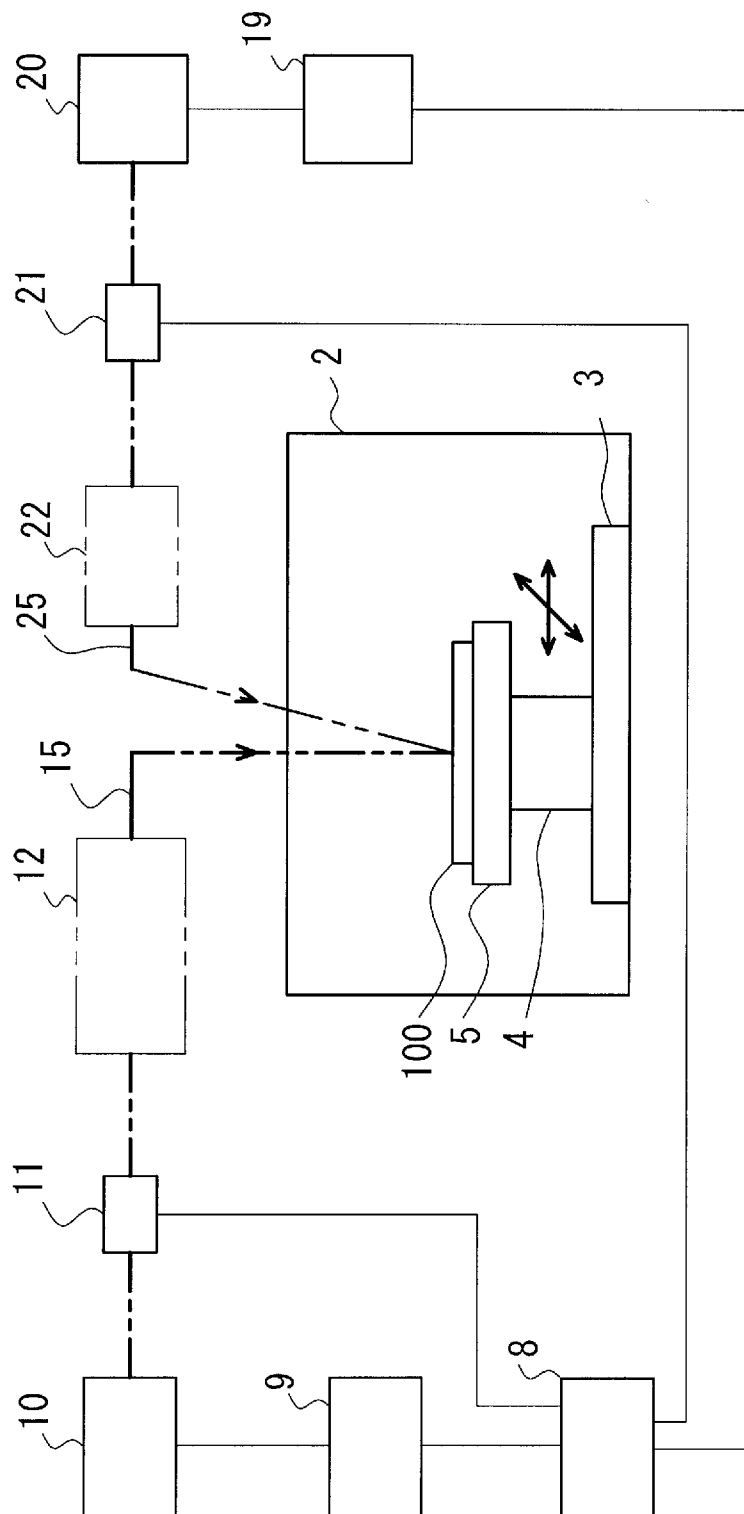
[図1]



[図2]



[図3]



[図4]

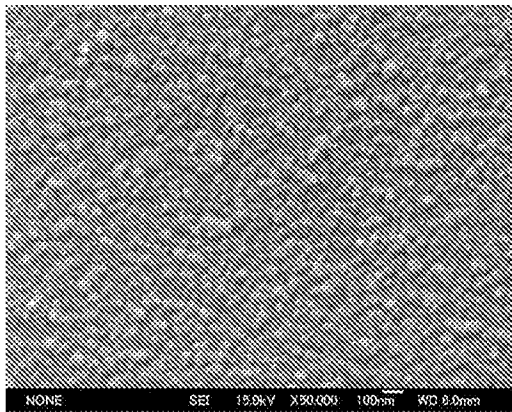


写真 1

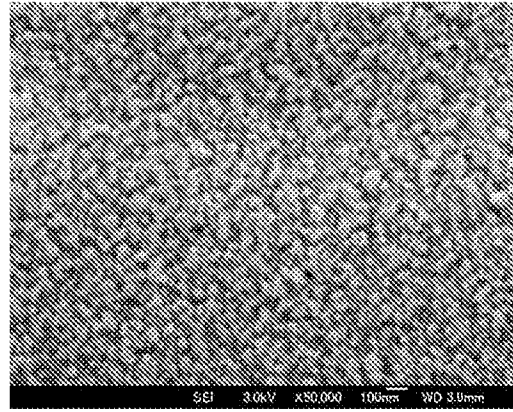


写真 2

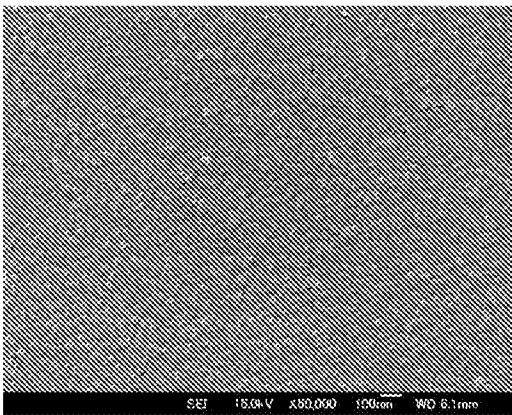


写真 3

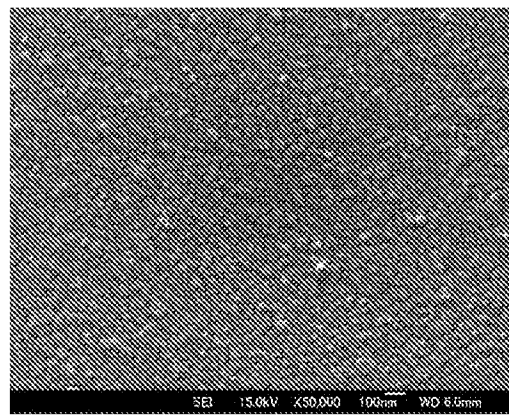


写真 4

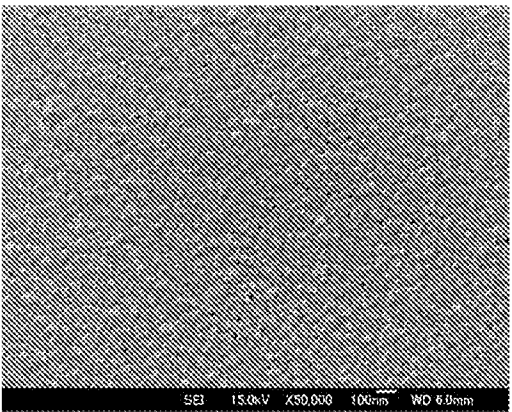


写真 5

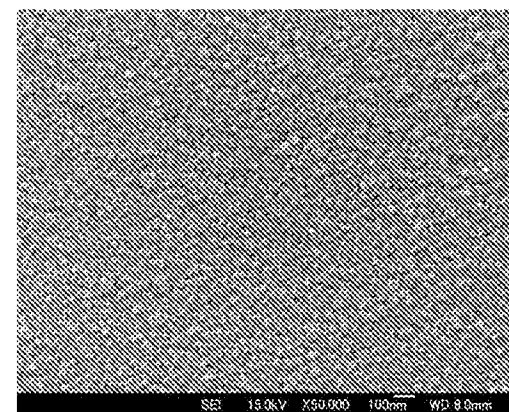


写真 6

図面代用写真

[図5]

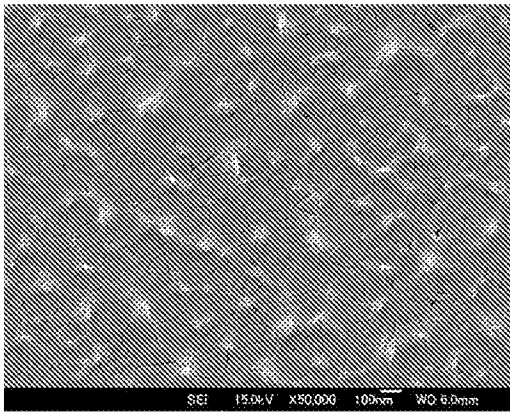


写真 7

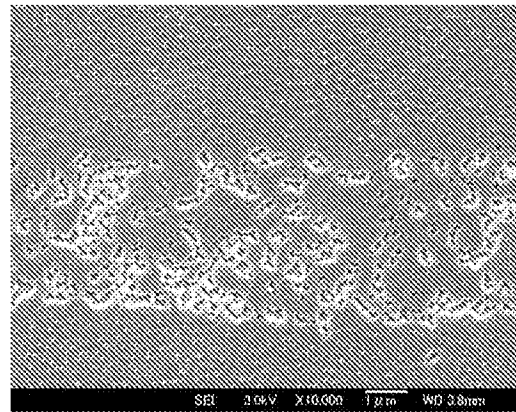


写真 8

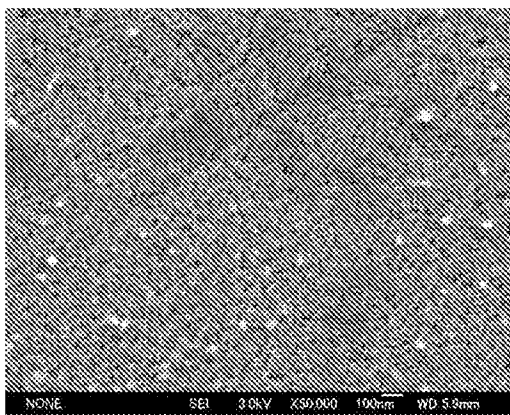


写真 9

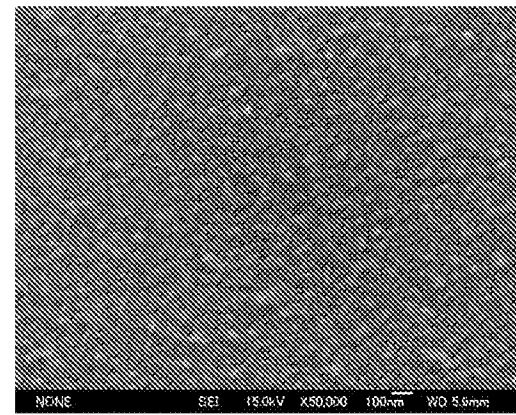


写真 10

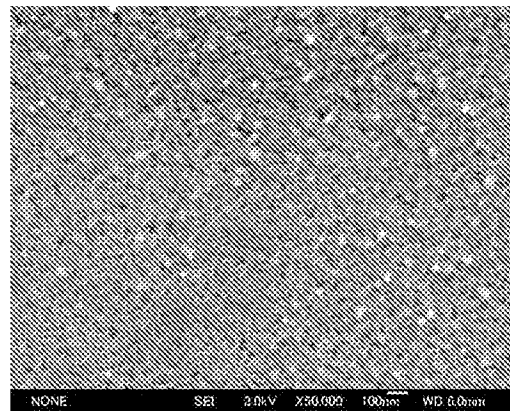


写真 11



写真 12

図面代用写真

[図6]

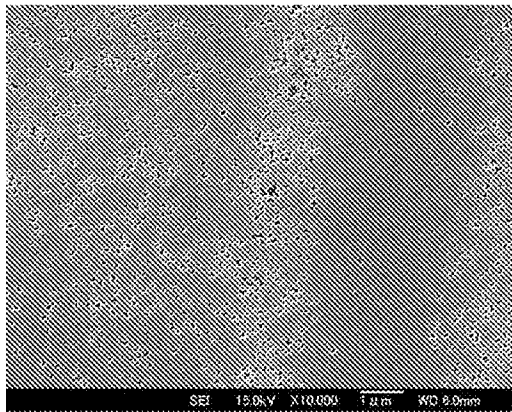


写真 1 3

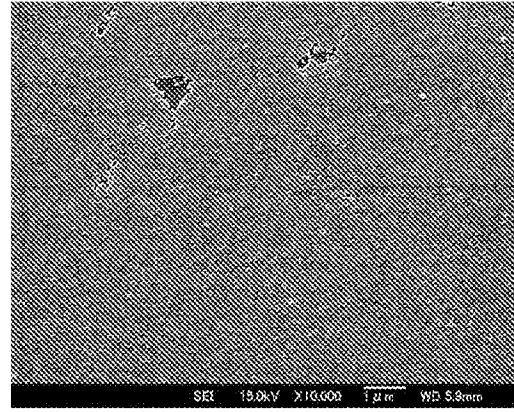


写真 1 4

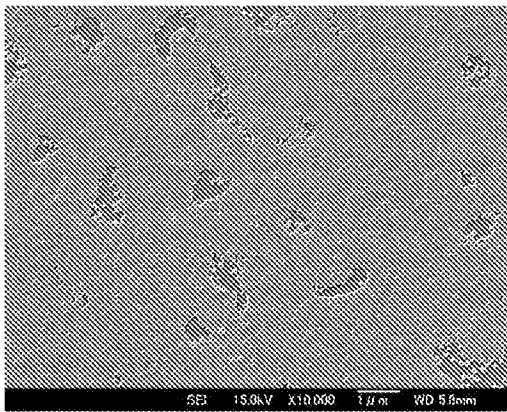


写真 1 5

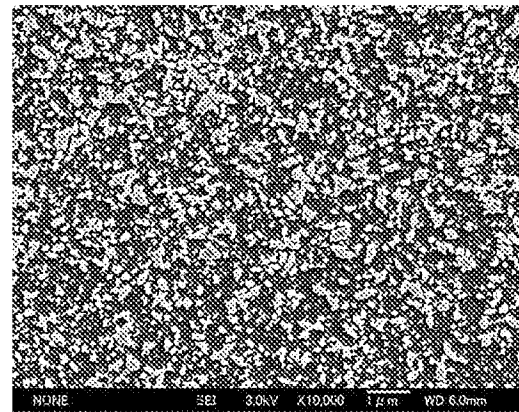


写真 1 6

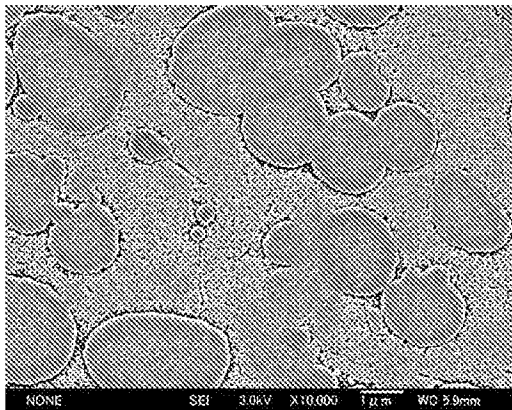
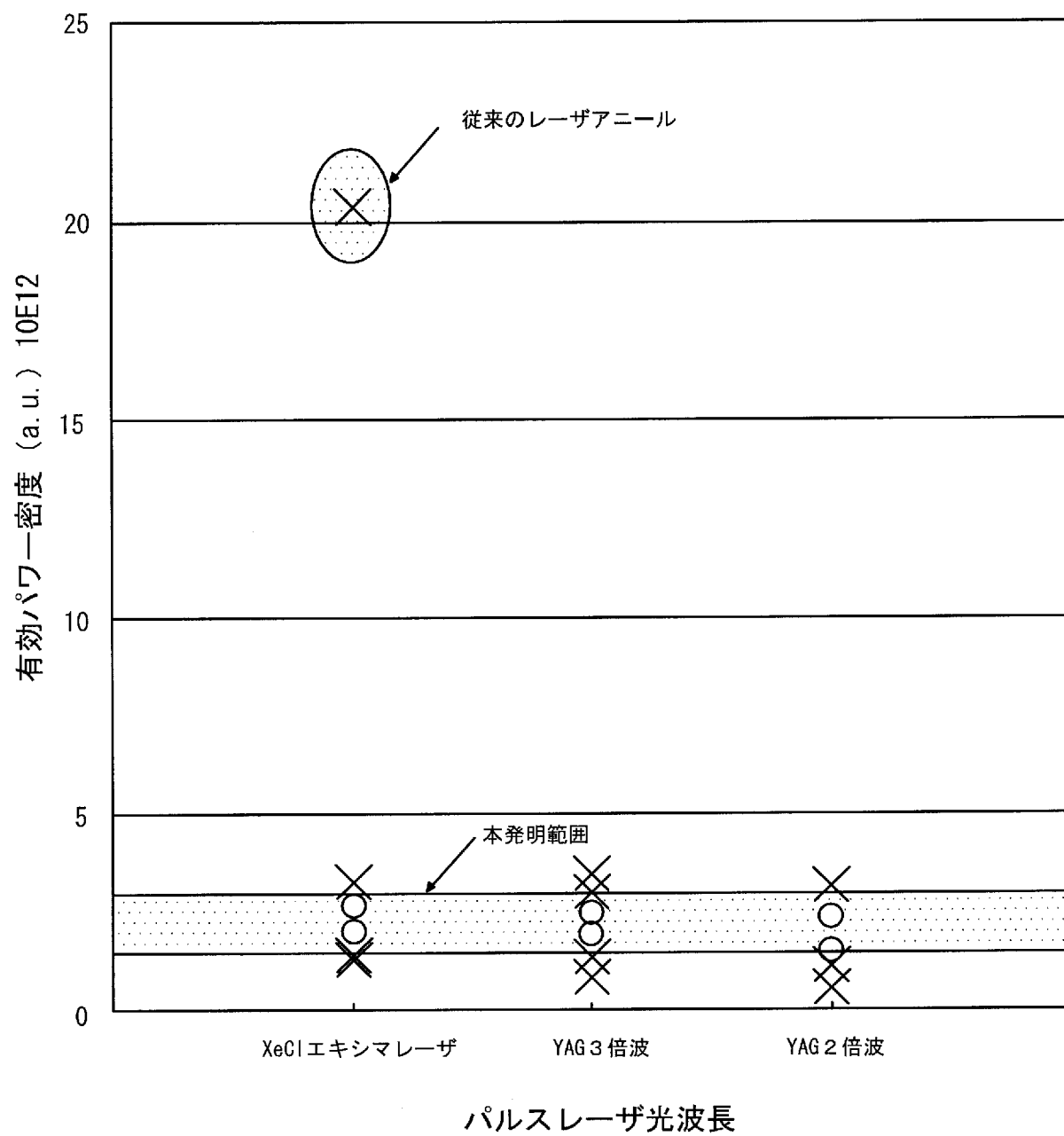


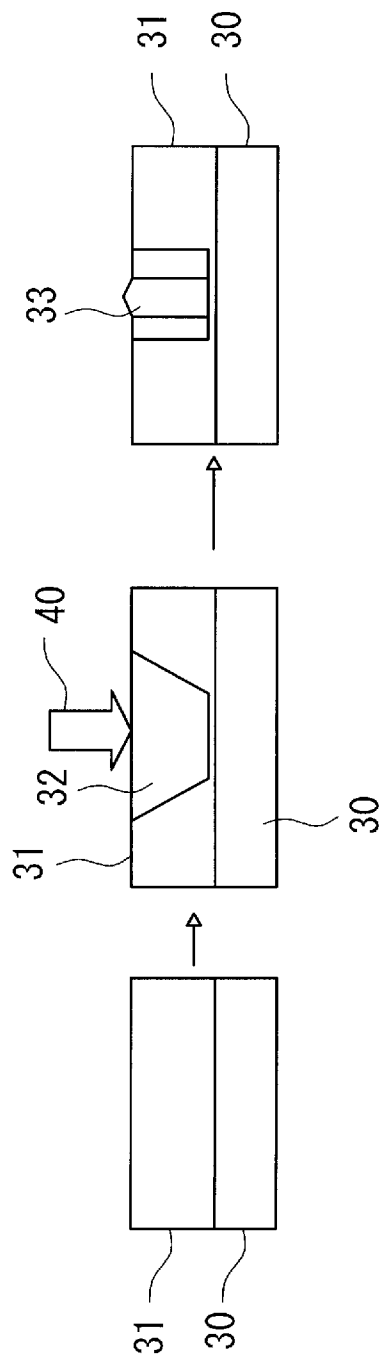
写真 1 7

図面代用写真

[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/067657

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/268(2006.01) i, H01L21/20(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)

H01L21/268, H01L21/20, H01L21/336, H01L29/786

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	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

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.
X	JP 2008-141179 A (Semiconductor Energy Laboratory Co., Ltd.), 19 June 2008 (19.06.2008), paragraphs [0013] to [0048]; fig. 1 & US 2008/0108206 A1 & EP 1921667 A2	1-7
X	JP 2002-359251 A (Semiconductor Energy Laboratory Co., Ltd.), 13 December 2002 (13.12.2002), paragraphs [0017] to [0019] (Family: none)	1-7
X	JP 2000-058835 A (Semiconductor Energy Laboratory Co., Ltd.), 25 February 2000 (25.02.2000), paragraphs [0110] to [0118] & US 6555422 B1	1-7



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
24 October, 2011 (24.10.11)

Date of mailing of the international search report
08 November, 2011 (08.11.11)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L21/268 (2006.01)i, H01L21/20 (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（I P C））

Int.Cl. H01L21/268, H01L21/20, H01L21/336, H01L29/786

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 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
X	JP 2008-141179 A（株式会社半導体エネルギー研究所）2008.06.19, 段落【0013】－【0048】, 図1 & US 2008/0108206 A1 & EP 1921667 A2	1－7
X	JP 2002-359251 A（株式会社半導体エネルギー研究所）2002.12.13, 段落【0017】－【0019】（ファミリーなし）	1－7
X	JP 2000-058835 A（株式会社半導体エネルギー研究所）2000.02.25, 段落【0110】－【0118】 & US 6555422 B1	1－7

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

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

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

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

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

2 4 . 1 0 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

0 8 . 1 1 . 2 0 1 1

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

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）

太田 一平

4 L

3 8 4 1

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 4 9 8