

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2007年3月22日 (22.03.2007)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2007/032322 A1

(51) 国際特許分類:

H01L 21/268 (2006.01) H01L 21/336 (2006.01)
H01L 21/20 (2006.01) H01L 29/786 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2006/318006

(22) 国際出願日: 2006年9月12日 (12.09.2006)

(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2005-266607 2005年9月14日 (14.09.2005) JP
特願2006-027096 2006年2月3日 (03.02.2006) JP(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 石川
島播磨重工業株式会社 (ISHIKAWAJIMA-HARIMA
HEAVY INDUSTRIES CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1358710
東京都江東区豊洲三丁目1番1号 Tokyo (JP).

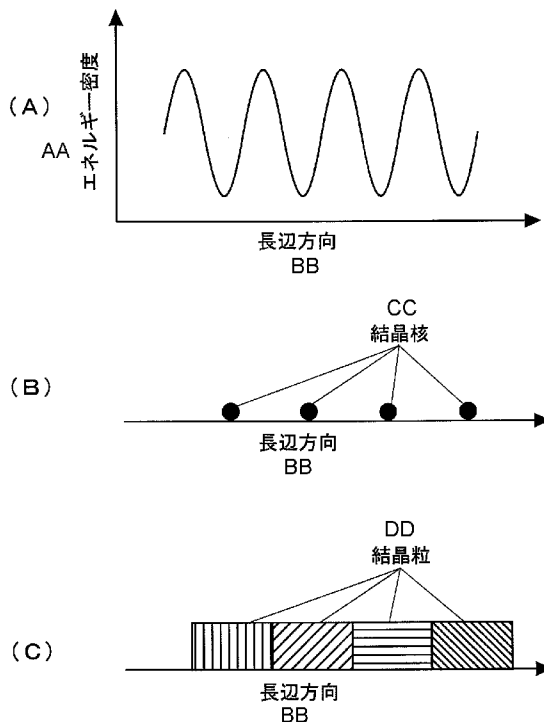
(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 川上 隆介
(KAWAKAMI, Ryusuke) [JP/JP]; 〒1358710 東京都江
東区豊洲三丁目1番1号 石川島播磨重工業株式
会社内 Tokyo (JP). 西田 健一郎 (NISHIDA, Kenichiro)
[JP/JP]; 〒1358710 東京都江東区豊洲三丁目1番1号
石川島播磨重工業株式会社内 Tokyo (JP). 河口 紀仁
(KAWAGUCHI, Norihito) [JP/JP]; 〒1358710 東京都
江東区豊洲三丁目1番1号 石川島播磨重工業株式
会社内 Tokyo (JP). 正木 みゆき (MASAKI, Miyuki)
[JP/JP]; 〒1358710 東京都江東区豊洲三丁目1番1号
石川島播磨重工業株式会社内 Tokyo (JP). 芳之内 淳
(YOSHINOUCHI, Atsushi) [JP/JP]; 〒1358710 東京都
江東区豊洲三丁目1番1号 石川島播磨重工業株式
会社内 Tokyo (JP).(74) 代理人: 堀田 実 (HOTTA, Minoru); 〒1080014 東京都
港区芝五丁目2番20号 建築会館4階 アサ国際
特許事務所 Tokyo (JP).

[続葉有]

(54) Title: LASER ANNEALING METHOD AND DEVICE

(54) 発明の名称: レーザアニール方法及び装置

AA ENERGY DENSITY
BB LONG-SIDE DIRECTION
CC CRYSTAL NUCLEUS
DD CRYSTAL GRAIN

(57) Abstract: A laser annealing method which is carried out by irradiating with a laser beam a semiconductor film formed on the surface of a substrate, and which comprises the step of generating a linearly polarized rectangular laser beam having a rectangular section perpendicular to an advancing direction with its electric field directed toward the long-side direction of the rectangle, or an elliptically polarized rectangular laser beam with its major axis directed toward the long-side direction, the step of allowing the rectangular laser beam to enter the surface of the substrate, and the step of setting the wavelength of the rectangular laser beam to a length which is about the desired size of a crystal grain in a stationary wave direction.

(57) 要約: 基板の表面に形成された半導体膜にレーザビームを照射することにより行うレーザアニール方法であって、進行方向と垂直な断面が矩形であり、電場が矩形の長辺方向を向く直線偏光の矩形レーザビーム、又は、長軸が長辺方向を向く楕円偏光の矩形レーザビームを生成する段階と、前記矩形レーザビームを基板の表面に入射させる段階と、前記矩形レーザビームの波長を、定在波方向の所望の結晶粒寸法程度の長さに設定する段階と、を含む。

WO 2007/032322 A1



(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, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, 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, 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 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

レーザアニール方法及び装置

発明の背景

[0001] 発明の技術分野

本発明は、半導体装置の製造などにおいて基板上のシリコン膜などの非晶質半導体膜に矩形レーザビームを照射して多結晶又は単結晶半導体膜に改質する技術、及び、基板上の多結晶又は単結晶半導体膜に矩形レーザビームを照射して多結晶又は単結晶半導体膜の質を向上させる技術に関する。質を向上させる対象である元の多結晶又は単結晶半導体膜としては、固相成長により作製した膜や、レーザアニールにより作製した膜がある。また、多結晶又は単結晶半導体膜の質の向上とは、(1) 結晶粒の寸法が大きくなること、(2) 結晶粒中にある欠陥が減少すること、及び、(3) 結晶粒間に残っている非晶質部分を結晶化することを言う。

関連技術の説明

[0002] 半導体装置の製造などにおいて基板上に薄膜トランジスタ(以下、TFT(Thin Film Transistor)と言う)を形成する場合に、TFTが形成される半導体層として非晶質シリコン膜などの非晶質半導体膜を用いると、キャリアの移動度が小さいため高速動作ができない。そのため、通常、非晶質シリコン膜をレーザアニールによって結晶化した多結晶又は単結晶シリコン膜にする。

[0003] 非晶質シリコン膜をレーザアニールによって多結晶又は単結晶シリコン膜にするために、進行方向と垂直な断面が矩形のレーザビーム(以下、矩形レーザビームと呼ぶ)を用いることが多い。非晶質シリコン膜が形成された基板をこの矩形の短辺方向にずらしながら非晶質シリコン膜上に照射していく。矩形レーザビームによって多結晶又は単結晶シリコン膜を形成する方法は、例えば特許文献1に開示されている。

[0004] また、本発明に関連する技術として非特許文献2及び3がある。これらの文献には、偏光レーザビームを固体表面に照射した場合に、固体表面に表面電磁波が励起され、この表面電磁波と入射レーザ光との干渉で固体表面に定在波が発生し、これにより、固体表面に微細周期的構造が形成されることが記載されている。

特許文献1:特開2003-347210「半導体装置およびその製造方法」

非特許文献1:www.nml.co.jp/new-business/SUB2/investigation/ripples/texture.pdf

非特許文献2:レーザ研究2000年12月、第28巻第12号、頁824～828「レーザ誘起表面電磁波による金属・半導体のリップル形成入射角度依存性」

非特許文献3:頁1384～1401, IEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS. VOL. QE-22, NO.8, AUGUST, 1986

- [0005] 矩形レーザビームの照射によって多結晶又は単結晶シリコンを形成する処理において、結晶粒の成長方向は、温度勾配、即ち、レーザビームのエネルギー勾配の影響を大きく受ける。図1に示すように、矩形レーザビームの長辺方向のエネルギーは一定であるため、長辺方向に関してランダムな位置に核が発生し、結果として、核がランダムな寸法に成長することになる。
- [0006] また、矩形レーザビームの短辺方向のエネルギー分布には、図2に示すように、大きな勾配がある。従って、結晶成長は短辺方向のエネルギー分布に極めて敏感であるので、短辺方向の結晶寸法を均一にするのは極めて困難であった。結果として、図3に示すように、短辺方向の結晶寸法ばらつきは、長辺方向の結晶寸法ばらつきよりも大きくなってしまう。
- [0007] このように、従来では、寸法が不均一な結晶粒を有する多結晶又は単結晶シリコン膜が形成される。従って、この多結晶又は単結晶シリコン膜にTFTを形成すると、チャネル部において単位長さあたりの結晶粒の数の違いに起因してTFTの間で性能がばらついてしまう。また、短辺方向と長辺方向とで結晶粒寸法が大きく異なるので、長辺方向と短辺方向とでTFTの性能が大きく異なってしまう。これは、TFTの性能はチャネル部を移動するキャリアが遭遇する結晶粒界が多いほど低下するためである。

発明の要約

- [0008] そこで、本発明の第1の目的は、長辺方向に均一な寸法の結晶粒からなる多結晶又は単結晶半導体膜を得ることができるレーザアニール方法を提供することにある。
- [0009] また、本発明の第2の目的は、短辺方向に均一な寸法の結晶粒からなる多結晶又は単結晶半導体膜を得ることができるレーザアニール方法及び装置を提供することにある。

- [0010] 本発明の第3の目的は、長辺方向と短辺方向との間で寸法が均一な結晶粒からなる多結晶又は単結晶半導体膜を得ることができるレーザアニール方法及び装置を提供することにある。
- [0011] 上記第1の目的を達成するために、本発明によると、基板の表面に形成された半導体膜にレーザビームを照射することにより行うレーザアニール方法であって、進行方向と垂直な断面が矩形であり、電場が矩形の長辺方向を向く直線偏光の矩形レーザビーム、又は、長軸が長辺方向を向く楕円偏光の矩形レーザビームを生成する段階と、前記矩形レーザビームを基板の表面に入射させる段階と、前記矩形レーザビームの波長を、定在波方向の所望の結晶粒寸法程度の長さに設定する段階と、を含む、ことを特徴とするレーザアニール方法が提供される(請求項1)。
- [0012] この方法により、入射矩形レーザビームの前記半導体膜表面による散乱光と、入射矩形レーザビームとに起因する定在波を半導体膜表面上に発生させ、定在波方向に寸法が均一な結晶からなる多結晶又は単結晶半導体膜を形成することができる。
- すなわち、半導体膜上に偏光方向である長辺方向に定在波が発生し、この定在波の周期的なエネルギー、即ち、これに対応する温度勾配が生じることになる。従って、この方法で非晶質半導体膜にレーザアニールを行うと、この周期的エネルギーの谷の位置に結晶核が発生し、各結晶核は温度のより高い方向へ成長し互いにぶつかりあった箇所が結晶粒界となる。よって、周期的な位置に発生した結晶核は、長辺方向の同じ温度勾配の影響を受けて成長するので、長辺方向の寸法が均一な結晶粒からなる多結晶又は単結晶半導体膜を形成することができる。また、この方法で多結晶又は単結晶半導体膜にレーザアニールを行うと、長辺方向の周期的な温度勾配の影響を受けて結晶が成長するので、長辺方向の結晶粒の大きさが均一になるように多結晶又は単結晶半導体膜の質が向上される。さらに、矩形レーザビームの波長を選択することで、長辺方向に所望の結晶粒寸法を得ることができる。
- [0013] また、上記第2の目的を達成するため、本発明によると、基板の表面に形成された半導体膜にレーザビームを照射することにより行うレーザアニール方法であって、進行方向と垂直な断面が矩形であり、電場が矩形の短辺方向を向く直線偏光の矩形レーザビーム、又は、長軸が短辺方向を向く楕円偏光の矩形レーザビームを生成する

段階と、

前記矩形レーザビームを基板に入射させる段階と、を含むことを特徴とするレーザアニール方法が提供される(請求項2)。

[0014] また、上記第2の目的を達成するため、本発明によると、基板の表面に形成された半導体膜にレーザビームを照射することにより行うレーザアニール装置であって、進行方向と垂直な断面が矩形であり、電場が矩形の短辺方向を向く偏光した直線偏光の矩形レーザビーム、又は、長軸が短辺方向を向く楕円偏光の矩形レーザビームを生成して半導体膜表面に入射させる短辺偏光ビーム生成手段を備えることを特徴とするレーザアニール装置が提供される(請求項6)。

[0015] この方法及び装置により、入射矩形レーザビームの前記半導体膜表面による散乱光と、入射矩形レーザビームとに起因する定在波を半導体膜表面上に発生させ、定在波方向に寸法が均一な結晶からなる多結晶又は単結晶半導体膜を形成することができる。

すなわち、半導体膜上に偏光方向である短辺方向に定在波が発生し、又は、楕円偏光の長軸方向に定在波が強く発生し、この定在波の周期的なエネルギー、即ち、これに対応する温度勾配が生じることになる。従って、この方法及び装置で非晶質半導体膜にレーザアニールを行うと、この周期的エネルギーの谷の位置に結晶核が発生し、各結晶核は温度のより高い方向へ成長し互いにぶつかりあった箇所が結晶粒界となる。よって、周期的な位置に発生した結晶核は、短辺方向の同じ温度勾配の影響を受けて成長するので、短辺方向の寸法が均一な結晶粒からなる多結晶又は単結晶半導体膜を形成することができる。また、この方法及び装置で多結晶又は単結晶半導体膜にレーザアニールを行うと、短辺方向の周期的な温度勾配の影響を受けて結晶が成長するので、短辺方向の結晶粒の大きさが均一になるように多結晶又は単結晶半導体膜の質が向上される。

[0016] 本発明の好ましい実施形態によると、上記方法は、矩形レーザビームの長辺と垂直な方向に基板を搬送しながら基板の半導体膜表面を矩形レーザビームで照射する段階を含み、半導体膜への矩形レーザビームの入射角を、基板の搬送方向、又は、基板の搬送方向と反対方向に増加させるように、前記入射角を調節する(請求項3)

。

[0017] 前記入射角を、基板の搬送方向に増加させると、短辺方向の結晶粒寸法が増加し、基板の搬送方向と反対方向に増加させると、短辺方向の結晶粒寸法が減少する。

従って、前記入射角を調節することで、短辺方向の結晶粒寸法を調整することができる。例えば、入射角を調整して、短辺方向の結晶粒寸法を長辺方向に形成される結晶粒の寸法と同程度にすることができる。

[0018] 上記第3の目的を達成するため、本発明によると、基板の表面に形成された半導体膜にレーザビームを照射することにより行うレーザアニール方法であって、進行方向と垂直な断面が矩形であり、電場の向きが矩形の長辺方向と短辺方向に交互に切り換わる偏光した矩形レーザビームを生成する段階と、前記矩形レーザビームを基板の表面に入射させる段階と、を含むことを特徴とするレーザアニール方法が提供される(請求項4)。

[0019] また、上記第3の目的を達成するため、本発明によると、基板の表面に形成された半導体膜にレーザビームを照射することにより行うレーザアニール装置であって、レーザビームを出射する第1及び第2のレーザ発振器と、第1及び第2のレーザ発振器のレーザパルス出射のタイミングが互いにずれるように第1及び第2のレーザ発振器を制御するパルス制御部と、第1のレーザ発振器からのレーザビームを直線偏光にする第1の偏光手段と、第2のレーザ発振器からのレーザビームを直線偏光にする第2の偏光手段と、第1の偏光手段からのレーザビームと第2の偏光手段からのレーザビームとを合成するビーム合成手段と、ビーム合成手段からのレーザビームを進行方向と垂直な断面が矩形である矩形レーザビームにして、基板上に入射させる矩形ビーム生成手段と、を備え、第1の偏光手段はレーザビームを前記矩形の長辺方向に偏光させ、第2の偏光手段はレーザビームを矩形の短辺方向に偏光させることを特徴とするレーザアニール装置が提供される(請求項8)。

[0020] この方法及び装置により、入射矩形レーザビームの前記半導体膜表面による散乱光と、入射矩形レーザビームとに起因する向きが互いに垂直な定在波を半導体膜表面上に交互に発生させ、各定在波方向に寸法が均一な結晶からなる多結晶又は単結晶半導体膜を形成することができる。

すなわち、半導体膜上に偏光方向である長辺方向及び短辺方向に交互に定在波が発生し、この定在波の周期的なエネルギー、即ち、これに対応する温度勾配が生じることになる。従って、この方法及び装置で非晶質半導体膜にレーザアニールを行うと、この周期的エネルギーの谷の位置に結晶核が発生し、各結晶核は温度のより高い方向へ成長し互いにぶつかりあった箇所が結晶粒界となる。よって、周期的な位置に発生した結晶核は、長辺方向及び短辺方向の同じ温度勾配の影響を受けて成長するので、長辺方向及び短辺方向の寸法が均一な結晶粒からなる多結晶又は単結晶半導体膜を形成することができる。また、この方法及び装置で多結晶又は単結晶半導体膜にレーザアニールを行うと、長辺方向及び短辺方向の周期的な温度勾配の影響を受けて結晶が成長するので、長辺方向及び短辺方向の結晶粒の大きさが均一になるように多結晶又は単結晶半導体膜の質が向上される。

[0021] 本発明の好ましい実施形態によると、前記矩形レーザビームのエネルギー密度を、又は、前記矩形レーザビームの短辺幅を調整して、形成される多結晶又は単結晶半導体膜の結晶粒の寸法を調整する(請求項5)。

[0022] これにより、さらに細かい結晶粒寸法の調整を行うことができ、より均一な結晶粒からなる多結晶又は単結晶半導体膜を形成することができる。

[0023] また、上記第3の目的を達成するため、本発明によると、基板の表面に形成された半導体膜にレーザビームを照射することにより行うレーザアニール方法であって、直線偏光した第1のレーザビームを生成する段階と、直線偏光した第2のレーザビームを生成する段階と、前記第1のレーザビームの偏光方向と、前記第2のレーザビームの偏光方向とが垂直になるように、前記第1のレーザビームと第2のレーザビームとを合成する段階と、前記合成されたレーザビームを、進行方向と垂直な断面が矩形である矩形レーザビームにする段階と、前記矩形レーザビームを基板の表面に入射させる段階と、を含むことを特徴とするレーザアニール方法が提供される(請求項9)。

[0024] さらに、上記第3の目的を達成するため、本発明によると、基板の表面に形成された半導体膜にレーザビームを照射することにより行うレーザアニール装置であって、レーザビームを出射する第1及び第2のレーザ発振器と、第1のレーザ発振器からのレーザビームと第2のレーザ発振器からのレーザビームとを合成するビーム合成手段

と、ビーム合成手段からのレーザビームを、進行方向と垂直な断面が矩形である矩形レーザビームにして、基板上に入射させる矩形ビーム生成手段と、を備え、前記第1及び第2のレーザ発振器からのレーザビームは直線偏光しており、第1のレーザ発振器からのレーザビームの偏光方向と、第2のレーザ発振器からのレーザビームの偏光方向とは、前記基板への入射位置において垂直になっている、ことを特徴とするレーザアニール装置が提供される(請求項12)。

[0025] この方法及び装置により、入射矩形レーザビームの前記半導体膜表面による散乱光と、入射矩形レーザビームとに起因する向きが互いに垂直な定在波を半導体膜表面上に発生させ、各定在波方向に寸法が均一な結晶からなる多結晶又は単結晶半導体膜を形成することができる。

すなわち、半導体膜上に互いに垂直な偏光方向に定在波が発生し、この定在波の周期的なエネルギー、即ち、これに対応する温度勾配が生じることになる。

従って、この方法及び装置で非晶質半導体膜にレーザアニールを行うと、この周期的エネルギーの谷の位置に結晶核が発生し、各結晶核は温度のより高い方向へ成長し互いにぶつかりあった箇所が結晶粒界となる。よって、周期的な位置に発生した結晶核は、互いに垂直な方向に生じる同じ温度勾配の影響を受けて成長するので、互いに垂直な方向に寸法が均一な結晶粒からなる多結晶又は単結晶半導体膜を形成することができ、その結果、長辺方向と短辺方向との間での結晶粒寸法も均一となる。

また、この方法及び装置で多結晶又は単結晶半導体膜にレーザアニールを行った場合にも、互いに垂直な各方向での周期的な温度勾配の影響を受けて結晶が均一に成長し、その結果、長辺方向及び短辺方向の結晶粒の大きさが均一になるように多結晶又は単結晶半導体膜の質が向上される。

[0026] また、上記第3の目的を達成するため、本発明によると、基板の表面に形成された半導体膜にレーザビームを照射することにより行うレーザアニール方法であって、進行方向と垂直な断面が矩形である、円偏光した矩形レーザビームを生成する段階と、前記矩形レーザビームを基板の表面に入射させる段階と、を含むことを特徴とするレーザアニール方法が提供される(請求項10)。

[0027] さらに、上記第3の目的を達成するため、本発明によると、基板の表面に形成された半導体膜にレーザビームを照射することにより行うレーザアニール装置であって、進行方向と垂直な断面が矩形である、円偏光の矩形レーザビームを生成して半導体膜表面に入射させる円偏光ビーム生成手段を備えることを特徴とするレーザアニール装置が提供される(請求項13)。

[0028] この方法及び装置により、入射矩形レーザビームの半導体膜表面による散乱光と、入射矩形レーザビームとに起因する定在波が、半導体膜表面上において偏光方向に発生する。矩形レーザビームは円偏光ビームであるので、この定在波は、光の進行方向に垂直な面で円運動する。これにより、この定在波の周期的なエネルギー、即ち、これに対応する温度勾配が半導体膜表面上のすべての方向に均等に生じることになる。

従って、この方法及び装置で非晶質半導体膜にレーザアニールを行うと、この周期的エネルギーの谷の位置に結晶核が発生し、各結晶核は温度のより高い方向へ成長し互いにぶつかりあった箇所が結晶粒界となる。よって、周期的な位置に発生した結晶核は、すべての方向に均等に生じる周期的な温度勾配の影響を受けて成長するので、すべての方向に寸法が均一な結晶粒からなる多結晶又は単結晶半導体膜を形成することができ、その結果、長辺方向と短辺方向との間での結晶粒寸法も均一となる。

また、この方法及び装置で多結晶又は単結晶半導体膜にレーザアニールを行った場合にも、すべての方向に均等に生じる周期的な温度勾配の影響を受けて結晶が均一に成長し、その結果、長辺方向及び短辺方向の結晶粒の大きさが均一になるように多結晶又は単結晶半導体膜の質が向上される。

[0029] また、上記第3の目的を達成するため、本発明によると、基板の表面に形成された半導体膜にレーザビームを照射することにより行うレーザアニール方法であって、直線偏光したレーザビームを生成する段階と、直線偏光した前記レーザビームを無偏光にする段階と、無偏光の前記レーザビームを、進行方向と垂直な断面が矩形である矩形レーザビームにする段階と、前記矩形レーザビームを基板の表面に入射させる段階と、を含むことを特徴とするレーザアニール方法が提供される(請求項11)。

[0030] さらに、上記第3の目的を達成するため、本発明によると、基板の表面に形成された半導体膜にレーザビームを照射することにより行うレーザアニール装置であって、直線偏光したレーザビームを出射するレーザ発振器と、該レーザ発振器からのレーザビームを無偏光にする無偏光手段と、該無偏光手段からのレーザビームを、進行方向と垂直な断面が矩形である矩形レーザビームにして、基板上に入射させる矩形ビーム生成手段と、を備えることを特徴とするレーザアニール装置が提供される(請求項14)。

[0031] レーザ発振器から出射されたレーザビームは直線偏光している場合が多いが、この方法及び装置により、直線偏光したレーザビームを無偏光にして、基板に入射させるので、基板の半導体膜表面には、定在波が生じない。

従って、この方法及び装置で基板の半導体膜にレーザアニールを行った場合、結晶粒がランダムな位置に発生し、しかも、結晶粒の成長もランダムな方向に成長するので、ある特定の方向にのみ結晶粒の寸法が大きくなることが抑制される。その結果、半導体膜の結晶粒の寸法が全体として均一化され、長辺方向と短辺方向との間での結晶粒寸法も均一となる。

また、この方法及び装置で多結晶又は単結晶半導体膜にレーザアニールを行った場合にも、結晶粒の成長もランダムな方向に成長するので、ある特定の方向にのみ結晶粒の寸法が大きくなることが抑制される。その結果、半導体膜の結晶粒の寸法が全体として均一化され、長辺方向と短辺方向との間での結晶粒寸法が均一となるように多結晶又は単結晶半導体膜の質が向上される。

本発明のその他の目的及び有利な特徴は、添付図面を参照した以下の説明から明らかになる。

図面の簡単な説明

[0032] [図1]A、B、Cは、矩形レーザビームの照射により発生する基板上のエネルギー密度と、形成される結晶粒寸法との従来との関係を示す図である。

[図2]従来における、矩形レーザビームの短辺方向のエネルギー分布を示す図である。

[図3]従来の方法で得られる結晶粒寸法を示す図である。

[図4]本発明の第1実施形態によるレーザアニール装置に設けられる長辺用光学系の構成図である。

[図5]本発明の第1実施形態によるレーザアニール装置に設けられる短辺用光学系の構成図である。

[図6]A、Bは、レーザビームの長辺方向のエネルギー分布を示す図である。

[図7]A、Bは、レーザビームの短辺方向のエネルギー分布を示す図である。

[図8]矩形レーザビームを照射しながら基板を搬送する動作の説明図である。

[図9]A、B、Cは、長辺方向に偏光させた矩形レーザビームの照射により、基板表面で発生する長辺方向のエネルギー分布と、形成される結晶粒寸法との関係を示す図である。

[図10]実験により長辺方向に偏光させた矩形ビームを照射して得られた結晶粒寸法の状態図である。

[図11]実験により長辺方向に偏光させた高エネルギー密度の矩形ビームを照射して得られた結晶粒寸法の状態図である。

[図12]A、B、Cは、短辺方向に偏光させた矩形レーザビームの照射により、基板表面で発生する短辺方向のエネルギー分布と、形成される結晶粒寸法との関係を示す図である。

[図13]短辺方向に偏光させた矩形レーザビームの照射により得られる結晶粒寸法を示す図である。

[図14]A、Bは、短辺方向に偏光させた矩形レーザビームを斜めから入射させる場合の説明図である。

[図15]実験により短辺方向に偏光させた矩形レーザビームを照射して得られた結晶粒寸法の状態図である。

[図16]実験により短辺方向に偏光させた高エネルギー密度の矩形ビームを照射して得られた結晶粒寸法の状態図である。

[図17]偏光方向を長辺方向と短辺方向に交互に切り換えて矩形レーザビームを基板に照射するための、第3実施形態によるレーザアニール装置の構成図である。

[図18]A、Bは、偏光方向の調整を説明するための図である。

[図19]本発明の第5実施形態によるレーザアニール装置の構成図である。

好ましい実施例の説明

[0033] まず、本発明の原理について説明する。

直線偏光のレーザビームをシリコン基板に入射すると、レーザビームの偏光方向、即ち、電場の振動方向に周期的に現れる微細構造が形成される。この周期的微細構造の周期は、シリコン基板に入射させたレーザビームの波長程度である。

[0034] この現象について簡単に説明する(より詳しくは、非特許文献2及び3を参考)。空气中から固体に入射したレーザビームは固体表面の微小な凹凸によって散乱され表面電磁波が固体媒質と空気との間に励起される。この表面電磁波の電界と入射レーザビームの電界が干渉し、固体表面にレーザ光の波長程度の周期を持つ定在波が生じる。この定在波によるアブレーションによって、周期的微細構造が固体表面に形成される。

[0035] 本発明は、この表面電磁波と入射レーザビームの干渉によって発生する定在波の周期的エネルギー分布を利用して、シリコン膜などの半導体膜にレーザアニール処理を行う。より具体的には、この周期的なエネルギー分布を利用して、結晶粒の成長を制御して均一な寸法に成長した結晶粒からなる多結晶又は単結晶半導体膜を形成する。

[0036] 以下において、本発明の好ましい実施形態を図面を参照して説明する。なお、各図において共通する部分には同一の符号を付し、重複した説明を省略する。

[0037] [第1実施形態]

図4及び図5は、半導体装置などの基板1上の非晶質シリコン膜にアニール処理を行うレーザアニール装置の構成を示している。レーザアニール装置は、矩形レーザビームを生成するための光学系を有する。この光学系は、この矩形レーザビームの長辺方向に対応する長辺用光学系2と、短辺用光学系4とから構成される。図4は長辺用光学系2の構成を示し、図5は短辺用光学系4の構成を示している。図4と図5において同一の符号は、長辺用光学系2と短辺用光学系4で共有される光学要素を示している。

[0038] 図4及び図5に示すように、レーザアニール装置は、レーザビームを出射するレー

ザ発振器(図示せず)と、レーザ発振器から出射されたレーザビームを直線偏光させる偏光素子5と、この直線偏光ビームを進行方向に垂直な断面が矩形の矩形レーザビームに生成するビームエキスパンダ7と、を備える。以下の説明において、矩形レーザビームの断面矩形の長辺方向及び短辺方向を、それぞれ単に長辺方向及び短辺方向と言う。

[0039] ビームエキスパンダ7は入射レーザビームを長辺方向に拡大する。レーザアニール装置は、ビームエキスパンダ7により長辺方向に拡大されたレーザビームが入射されるシリンドリカルレンズアレイ9をさらに備える。

[0040] また、レーザアニール装置は、シリンドリカルレンズアレイ9を通過した矩形レーザビームを基板1上での長辺方向の長さを調整する長辺用集光レンズ11と、シリンドリカルレンズアレイ9を通過した矩形レーザビームを基板1上の短辺方向に関して集光させる短辺用集光レンズ12とを備える。

[0041] 図6Aは、ビームエキスパンダ7を通過する前の長辺方向のレーザビームの幅Aを持つエネルギー分布を示しており、図6Bは、非晶質シリコン膜を照射する時の長辺方向の幅A'を持つエネルギー分布を示している。また、図7Aは、ビームエキスパンダ7を通過する前の短辺方向のレーザビームの幅Bを持つエネルギー分布を示しており、図7Bは、非晶質シリコン膜を照射する時の短辺方向の幅B'を持つエネルギー分布を示している。図6Bに示すように、照射時の矩形レーザビームのエネルギーは、長辺方向にほぼ一定である。

[0042] 第1実施形態によると、上述の偏光素子5によりレーザビームは直線偏光されるが、その偏光の向きは長辺方向である。即ち、非晶質シリコン膜に照射される矩形レーザビームの電場は長辺方向を向いている。なお、偏光素子5の代わりに、ガラス面などでレーザビームをブリュースター角で反射させて直線偏光にするなど、他の方法で直線偏光させてもよい。

[0043] また、レーザアニール装置は、長辺用光学系2及び短辺用光学系4により非晶質シリコン膜に矩形レーザビームを入射させている時に、非晶質シリコン膜が表面に形成された基板1を、図8の矢印方向に所定の速度で搬送する搬送装置(図示せず)をさらに備える。この搬送装置により、矩形レーザビームを半導体膜表面に入射させなが

ら、長辺方向と垂直な方向に基板を搬送して半導体膜表面の所望の範囲を矩形レーザービームで照射することができる。図8の矢印で示される方向は、長辺方向に垂直であり短辺方向に対応する。以下、矩形レーザービームの短辺を基板表面上に垂直投影させた方向も、単に短辺方向と言う。なお、搬送装置は搬送手段を構成する。

[0044] なお、他の適切な光学系を用いて矩形レーザービームを生成して非晶質シリコン膜に照射してもよい。

[0045] この長辺方向に偏光した矩形レーザービームを基板1上の非晶質シリコン膜に照射することで、非晶質シリコン膜表面の微小な凹凸で散乱されて励起された表面電磁波と矩形レーザービームとが干渉して生じる非晶質シリコン膜上の定在波に対応して長辺方向に周期的なエネルギー分布が発生する。図9Aは、この定在波に対応する長辺方向の周期的なエネルギー分布を示している。

[0046] 非晶質シリコン膜には、この周期的なエネルギー分布に対応して周期的な温度分布が生じる。従って、熔融シリコンの凝固過程において、核発生の臨界温度まで冷却された箇所に結晶粒の核が発生する。この核の発生箇所は、温度のより低い箇所であり、具体的には、図9Bに示すように、図9Aの周期的エネルギー分布の谷の位置である。この核発生箇所から核が周辺の温度の高い部分に向かって成長して互いの結晶がぶつかりあい成長が止まった箇所が結晶粒界となる。結果的に、結晶粒が、図9Cに示すようにエネルギー分布に依存した周期的な位置にできることになり、長辺方向の結晶粒の寸法が均一になる。

[0047] このように矩形レーザを照射しながら、基板1を短辺方向に搬送して非晶質シリコン膜全体を矩形レーザービームで照射する。この時、レーザービームの長辺方向のエネルギー分布は時間的に変化しないため、長辺方向に等間隔の結晶をシリコン膜全体にわたって形成することができる。

[0048] また、定在波のエネルギー周期は矩形レーザービームの波長程度になる。従って、照射に用いる矩形レーザービームの波長を選択することで、長辺方向の所望の結晶粒寸法を得ることができる。

[0049] また、矩形レーザービームのエネルギー密度を変化させることによっても、形成される結晶粒の寸法を調整することができる。図10は、電場の向きが長辺方向であり波長

が $1\ \mu\text{m}$ の矩形レーザビームをエネルギー密度 $450\sim 500\text{mJ}/\text{cm}^2$ で非晶質シリコン膜に垂直に照射して得られた多結晶又は単結晶シリコン中の結晶粒を示している。一方、図11は、電場の向きが長辺方向であり波長が $1\ \mu\text{m}$ の矩形レーザビームを $500\text{mJ}/\text{cm}^2$ より大きいエネルギー密度で非晶質シリコン膜に垂直に照射して得られた多結晶又は単結晶シリコン中の結晶粒を示している。図10では、長辺方向の結晶粒寸法は $1.0\ \mu\text{m}$ 程度であるのに対して、図11では、長辺方向の結晶粒寸法は $1.5\ \mu\text{m}$ 程度である。この実験結果から分かるように、エネルギー密度を増加すると、上述の定在波のエネルギー周期よりも大きい寸法の結晶粒が得られる。

[0050] なお、直線偏光レーザビームの代わりに、長軸が長辺方向を向いた楕円偏光のレーザビームから矩形レーザビームを生成しても、上述と同様の効果が得られる。

[0051] [第2実施形態]

次に、本発明の第2実施形態について説明する。

第2実施形態では、レーザアニール装置は第1実施形態のものと同一であるが、偏光素子5の偏光方向が第1実施形態と異なる。第2実施形態では、偏光素子5は、レーザ発振器から出射されたレーザビームを電場が短辺方向を向くように直線偏光させ、その後ビームエキスパンダ7により矩形レーザビームを生成する。このようにして、電場が短辺方向を向いた矩形レーザビームを生成して、非晶質シリコン膜に入射させる。なお、レーザビームを出射させるレーザ発振器と、短辺方向に偏光させる偏光素子5を含む長辺用光学系2及び短辺用光学系4は、短辺偏光ビーム生成手段を構成する。レーザ発振器が短辺方向に直線偏光したレーザビームを出射する場合には、偏光素子5を省略できる。

[0052] 第1実施形態と同様に図8に示すように、矩形レーザビームが非晶質シリコン基板1上に入射している状態で、短辺方向に基板1を所定速度で移動させる。これにより、非晶質シリコン膜全体に短辺方向に偏光した矩形レーザビームを照射する。

[0053] 非晶質シリコン膜に入射した矩形レーザビームが、非晶質シリコン膜上の微小な凹凸により散乱されて表面電磁波が励起される。この表面電磁波と入射してくる矩形レーザビームとが干渉することで、非晶質シリコン膜表面に短辺方向に定在波が発生する。従って、この定在波は短辺方向に周期的なエネルギーを持つ。一方、入射す

る矩形レーザビームの短辺方向のエネルギー分布は、上述したように図7Bに示すようになる。この定在波の周期的なエネルギー分布と矩形レーザビームの短辺方向のエネルギー分布を重ね合わせたものが、非晶質シリコン膜上のエネルギー分布になる。図12Aの実線で表した曲線は、この定在波のエネルギー分布と、入射してくる矩形レーザビームのエネルギー分布(破線で示した曲線)とを合わせたエネルギー分布を示している。

[0054] 図12Aのエネルギー分布によって熔融したシリコンの短辺方向には、このエネルギー分布に対応した温度分布が発生する。図12Bに示すように、エネルギー分布の谷の位置に結晶核が発生する。その後、短辺方向で結晶核は温度のより高い箇所に向かって成長し、互いの結晶がぶつかり合い、成長が止まった箇所が結晶粒界となる。結果として、図12Cに示すように短辺方向に寸法が均一の結晶からなる多結晶又は単結晶シリコン形成される。

定在波のエネルギー周期は矩形レーザビームの波長程度になる。従って、形成される結晶粒の短辺方向の寸法は、定在波の節又は腹の間隔、即ち、矩形レーザビームの半波長程度となる。よって、照射に用いる矩形レーザビームの波長を選択することで、短辺方向の所望の結晶粒寸法を得ることができる。

[0055] 一方、図6Bを参照して上述したように、矩形レーザビームの長辺方向のエネルギーは一定であるので、長辺方向にはランダムな位置に結晶核が発生し、長辺方向にランダムな寸法に成長した結晶粒が形成される。典型的には、長辺方向に成長した結晶粒の寸法は数百ナノメートル程度になる。数百ナノメートル程度の波長を用いることで、長辺方向と短辺方向の結晶粒の寸法を同程度にすることができる。従って、形成される多結晶又は単結晶シリコンの長辺方向の結晶粒寸法程度になるように矩形レーザビームの波長を選択することが好ましい。これにより、図13に示すような結晶粒寸法を得ることができる。

[0056] さらに、第2実施形態によると、非晶質シリコン膜への矩形レーザビームの入射角を調整して基板1を搬送させながら矩形レーザビームを非晶質シリコン膜に入射させると、入射角に応じた短辺方向の結晶粒寸法を得ることができる。即ち、入射角を調整することで、短辺方向の結晶粒寸法を調整することができる。以下、これについて

説明する。

- [0057] 図14Aのように入射角 θ を基板1の搬送方向に増加させると、[数1]で示すように、この定在波の節又は腹の間隔Xは増加する。なお、[数1]において、 λ はレーザービームの波長である。

[数1]

$$X = \frac{\lambda}{1 - \sin \theta}$$

- [0058] 一方、図14Bのように入射角 θ を基板1の搬送方向と反対方向に増加させると、[数2]で示すように、この定在波の節又は腹の間隔Xは減少する。なお、[数2]において、 λ はレーザービームの波長である。これに関する説明は非特許文献1に記載されている。

[数2]

$$X = \frac{\lambda}{1 + \sin \theta}$$

- [0059] 従って、矩形レーザービームの入射角を調整することで、定在波の周期が変化し、短辺方向においてこの定在波のエネルギー周期と同じ寸法の結晶粒からなる多結晶又は単結晶シリコンを形成することができる。このように、矩形レーザービームの入射角を調整して結晶粒の寸法を調整することができる。

- [0060] 矩形レーザービームの入射角を調整するには、光学系側又は基板側を傾けることができる。光学系側を傾ける場合には、例えば、光学系を一体的に構成しておき、光学系全体を揺動装置で傾ける。基板側を傾ける場合には、基板1を搬送する搬送台を揺動装置で傾ける。これらの揺動装置は公知の適切なものであってよい。光学系又は搬送台を傾ける揺動装置は入射角調整手段を構成する。

- [0061] 第2実施形態によると矩形レーザービームの波長を選択する代わりに、又は、矩形レーザービームの波長の選択に加えて、矩形レーザービームが非晶質シリコン膜に入射する角度を調整することで、発生する定在波の波長、即ち、短辺方向の結晶粒寸法を調整することができる。

[0062] また、矩形レーザビームのエネルギー密度を変化させることによって、形成される結晶粒の寸法を調整することができる。図15は、電場の向きが短辺方向であり波長が $1\mu\text{m}$ の矩形レーザビームを、エネルギー密度 $450\sim 500\text{mJ}/\text{cm}^2$ で、入射角を基板搬送方向へ 10° にして、非晶質シリコン膜に照射して得られた多結晶又は単結晶シリコン中の結晶粒を示している。一方、図16は、電場の向きが短辺方向であり波長が $1\mu\text{m}$ の矩形レーザビームを、 $500\text{mJ}/\text{cm}^2$ より大きいエネルギー密度で、入射角を基板搬送方向へ 10° にして、非晶質シリコン膜に垂直に照射して得られた多結晶又は単結晶シリコン中の結晶粒を示している。図15では、短辺方向の結晶粒寸法は $1.0\mu\text{m}$ 程度であるのに対して、図16では、短辺方向の結晶粒寸法は $1.5\mu\text{m}$ 程度である。この実験結果から分かるように、エネルギー密度を増加すると、上述の定在波のエネルギー周期よりも大きい寸法の結晶粒が得られる。

[0063] [第3実施形態]

次に、本発明の第3実施形態について説明する。

図17は、第3実施形態による進行方向に垂直な断面が矩形の矩形レーザビームを非晶質シリコン膜に照射して多結晶又は単結晶シリコンを形成するレーザアニール装置の構成を示している。このレーザアニール装置は、1対のレーザ発振器21, 22と、各レーザ発振器21, 22に対応して設けられる偏光素子24, 25と、レーザ発振器21からのレーザビームを反射させる反射ミラー27と、2つのレーザ発振器21, 22からのレーザビームを合成するビームスプリッタ28と、を備える。ビームスプリッタ28からの合成ビームは、第1実施形態の図4及び図5に示されたものと同様の光学系に入射されて矩形ビームが生成され、この矩形ビームが基板1の非晶質シリコン膜に入射される。図17では、破線で示すように図4に対応する長辺用光学系2のみを示しており(ただし、図4の偏光素子5は用いない)、短辺用光学系4は図5のものと同じなので省略する。なお、偏光素子24, 25は偏光手段を構成するが、他の適切なもので偏光手段を構成してもよい。また、第3実施形態で用いている長辺用光学系2及び短辺用光学系4は矩形ビーム生成手段を構成するが、他の適切なもので矩形ビーム生成手段を構成してもよい。ビームスプリッタ28と反射ミラー27はビーム合成手段を構成するが、他の適切なものでビーム合成手段を構成してもよい。

- [0064] 第3実施形態によると、偏光素子24、25はそれぞれレーザ発振器21、22からのレーザビームを直線偏光させる。偏光素子24による偏光方向は長辺方向であり、偏光素子25による偏光方向は短辺方向である。
- [0065] また、第3実施形態にいるレーザアニール装置は、レーザ発振器21、22からのレーザパルス出射のタイミングが互いにずれるように、レーザ発振器21、22を制御するパルス制御部29をさらに備える。従って、ビームスプリッタ28により合成されたレーザビームの偏光方向は長辺方向と短辺方向に交互に切り換わっていることになる。
- [0066] また、レーザアニール装置は、第1実施形態と同様に、基板1を短辺方向に所定速度で搬送する搬送装置をさらに備える。
- [0067] 電場の向きが交互に切り換わる矩形レーザビームを基板1上の非晶質シリコン膜に入射させながら、基板1を短辺方向に搬送することで、非晶質シリコン膜全体を矩形レーザビームで照射する。
- [0068] 電場が長辺方向を向いた矩形レーザビームによる基板1上の照射箇所の長辺方向エネルギー分布は図9Aに示されるものと同じであり、電場が短辺方向を向いた矩形レーザビームによる基板1上の照射箇所の短辺方向エネルギー分布は図12Aに示されるものと同じである。よって、熔融したシリコンの長辺方向及び短辺方向には、それぞれ図9A及び図12Aのエネルギー分布に対応した温度分布が発生する。熔融シリコンの凝固過程において、核発生の臨界温度まで冷却された箇所に結晶粒の核が発生する。結晶核の発生箇所は図9A及び図12Aのエネルギー分布の谷の位置である。これらの結晶核は温度の高い長辺方向及び短辺方向に向かって成長し、結晶が互いにぶつかり合い、成長が止まった箇所が結晶粒界となる。結果として、長辺方向及び短辺方向に寸法が均一の結晶からなる多結晶又は単結晶シリコンが形成される。
- [0069] なお、電場の向きが長辺方向と短辺方向に交互に切り換わる合成レーザビームの代わりに、円偏光したレーザビームを用いて矩形ビームを生成しても上述と同様の効果が得られる。
- [0070] また、第3実施形態でも、矩形レーザビームのエネルギー密度を変化させて、結晶粒の寸法を調整してもよい。

[0071] [第4実施形態]

次に、本発明の第4実施形態について説明する。

第4実施形態によるレーザアニール装置は、図17に示す第3実施形態のレーザアニール装置と同様である。

ただし、第4実施形態では、パルス制御部29は、レーザ発振器21、22からのレーザパルス出射のタイミングが互いにずれるように、レーザ発振器21、22を制御しなくてもよい。即ち、パルス制御部29は、レーザ発振器21、22からのレーザパルス出射のタイミングを制御するが、レーザ発振器21、22からのレーザパルスが互いに重なっていてもよい。また、レーザ発振器21、22は、直線偏光を出射するように構成されており、図17の偏光素子24、25が省略することができる。例えば、レーザ発振器21、22自体が直線偏光を出射するものであってもよいが、そうでない場合には、レーザ発振器21、22に、それぞれ図17の偏光素子24、25が組み込まれている。

[0072] 第4実施形態によると、第1のレーザ発振器21からのレーザビームの偏光方向と、第2のレーザ発振器22からのレーザビームの偏光方向とは、基板1への入射位置において垂直になっているように、レーザアニール装置が設定される。

[0073] 従って、基板1の非晶質シリコン膜上に互いに垂直な偏光方向に定在波が発生し、図9Aに示すものと同様な定在波の周期的なエネルギーが生じ、これに対応する温度勾配が生じることになる。

その結果、第3実施形態の場合と同様に、この周期的エネルギーの谷の位置に結晶核が発生し、各結晶核は温度のより高い方向へ成長し互いにぶつかりあった箇所が結晶粒界となる。よって、周期的な位置に発生した結晶核は、互いに垂直な方向に生じる同じ温度勾配の影響を受けて成長するので、互いに垂直な方向に寸法が均一な結晶粒からなる多結晶又は単結晶半導体膜を形成することができ、その結果、長辺方向と短辺方向との間での結晶粒寸法も均一となる。

[0074] 第4実施形態では、ビームスプリッタ28と長辺用光学系2及び短辺用光学系4との間に、偏光方向を調節する $\lambda/2$ 波長板などの偏光素子を設けてもよい。この偏光素子により、例えば、図18Aのように、レーザビームの偏光方向が長辺方向と短辺方向に向いている状態から、図18Bのように、レーザビームの偏光方向が長辺方向と短

辺方向から45度だけ傾いている状態にすることができる。

[0075] [第5実施形態]

次に、本発明の第5実施形態について説明する。

図19は、第5実施形態による、進行方向に垂直な断面が矩形の矩形レーザビームを非晶質シリコン膜に照射して多結晶又は単結晶シリコンを形成するレーザアニール装置の構成を示している。

このレーザアニール装置は、第4実施形態と同様のレーザ発振器21と、レーザ発振器21からの直線偏光レーザビームを円偏光にする $\lambda/4$ 波長板31と、 $\lambda/4$ 波長板31からのレーザビームを矩形レーザビームにする上述した長辺用光学系2及び短辺用光学系4(ただし、図4、図5の偏光素子5は用いない)と、を備える。図19において、簡単のため短辺用光学系4は省略してある。

なお、 $\lambda/4$ 波長板は31、直線偏光レーザビームを円偏光にする円偏光手段を構成するが、他の適切なもので円偏光手段を構成してもよい。また、レーザ発振器21、円偏光手段、長辺用光学系2及び短辺用光学系4は、円偏光ビーム生成手段を構成するが、他の適切なもので円偏光ビーム生成手段を構成してもよい。

[0076] このような構成を有するレーザアニール装置により、基板1の非晶質シリコン膜上に円偏光の矩形レーザビームを入射させる。

これにより、非晶質シリコン膜上で発生する定在波は、光の進行方向に垂直な面で円運動する。これにより、この定在波の周期的なエネルギー、即ち、これに対応する温度勾配が半導体膜表面上のすべての方向に均等に生じることになる。

従って、この方法及び装置で非晶質半導体膜にレーザアニールを行うと、この周期的エネルギーの谷の位置に結晶核が発生し、各結晶核は温度のより高い方向へ成長し互いにぶつかりあった箇所が結晶粒界となる。よって、周期的な位置に発生した結晶核は、すべての方向に均等に生じる周期的な温度勾配の影響を受けて成長するので、すべての方向に寸法が均一な結晶粒からなる多結晶又は単結晶半導体膜を形成することができ、その結果、長辺方向と短辺方向との間での結晶粒寸法も均一となる。

[0077] [第6実施形態]

次に、本発明の第6実施形態について説明する。

第6実施形態によるレーザアニール装置は、上記 $\lambda/4$ 波長板31を除いて図19に示す第5実施形態のレーザアニール装置と同様である。

第6実施形態によると、レーザアニール装置は、図19の $\lambda/4$ 波長板31の代わりに、レーザ発振器21からの直線偏光レーザビームを無偏光にする偏光解消板を備える。なお、偏光解消板は直線偏光を無偏光にする無偏光手段を構成するが、他の適切なもので無偏光手段を構成してもよい。

[0078] この偏光解消板により、レーザ発振器21からの直線偏光レーザビームを無偏光のレーザビームにすることができる。そして、偏光解消板からの無偏光のレーザビームが長辺用光学系2及び短辺用光学系4を通過して矩形レーザビームになる。従って、無偏光の矩形レーザビームが基板1の非晶質シリコン膜に入射される。

[0079] このように、第6実施形態によると、直線偏光したレーザビームを無偏光にして、基板1に入射させるので、基板1の非晶質シリコン膜表面には、定在波が生じない。

従って、結晶粒がランダムな位置に発生し、しかも、結晶粒の成長もランダムな方向に成長するので、ある特定の方向にのみ結晶粒の寸法が大きくなることが抑制される。その結果、半導体膜の結晶粒の寸法が全体として均一化され、長辺方向と短辺方向との間での結晶粒寸法も均一となる。

[0080] [その他の実施形態]

なお、本発明は上述した実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々変更を加え得ることは勿論である。例えば、矩形レーザビームの短辺方向の形状を調整して結晶粒寸法を調整してもよい。この短辺方向の形状調整は、矩形レーザビームの短辺の長さを調整して行ってもよい。これにより、短辺方向のエネルギー勾配を小さくすることができ、結晶粒の短辺方向の成長を抑制できる。また、本発明は、非晶質シリコン膜だけでなく、他の非晶質半導体膜にも適用できる。

[0081] さらに、上述の実施形態は、非晶質半導体膜に矩形レーザビームを照射して多結晶又は単結晶半導体膜に改質する場合のものであるが、非晶質半導体膜の代わりに多結晶又は単結晶半導体膜に矩形レーザビームを照射して多結晶又は単結晶半導体膜の質を向上させてもよい。これにより、長辺方向及び短辺方向の一方又は両

方に周期的な温度勾配の影響を受けて結晶が成長するので、長辺方向及び短辺方向の一方又は両方の結晶粒の大きさが均一になるように多結晶又は単結晶半導体膜の質が向上される。この場合、本発明は多結晶又は単結晶シリコン膜や他の多結晶又は単結晶半導体膜の質向上に適用できる。ただし、第6実施形態の場合には、ある特定の方向にのみ結晶粒の寸法が大きくなることが抑制されることにより、多結晶又は単結晶半導体膜の質が向上される。

請求の範囲

- [1] 基板の表面に形成された半導体膜にレーザービームを照射することにより行うレーザーアニール方法であって、
- 進行方向と垂直な断面が矩形であり、電場が矩形の長辺方向を向く直線偏光の矩形レーザービーム、又は、長軸が長辺方向を向く楕円偏光の矩形レーザービームを生成する段階と、
- 前記矩形レーザービームを基板の表面に入射させる段階と、
- 前記矩形レーザービームの波長を、定在波方向の所望の結晶粒寸法程度の長さに設定する段階と、を含む、ことを特徴とするレーザーアニール方法。
- [2] 基板の表面に形成された半導体膜にレーザービームを照射することにより行うレーザーアニール方法であって、
- 進行方向と垂直な断面が矩形であり、電場が矩形の短辺方向を向く直線偏光の矩形レーザービーム、又は、長軸が短辺方向を向く楕円偏光の矩形レーザービームを生成する段階と、
- 前記矩形レーザービームを基板に入射させる段階と、を含むことを特徴とするレーザーアニール方法。
- [3] 矩形レーザービームの長辺と垂直な方向に基板を搬送しながら基板の半導体膜表面を矩形レーザービームで照射する段階を含み、
- 半導体膜への矩形レーザービームの入射角を、基板の搬送方向、又は、基板の搬送方向と反対方向に増加させるように、前記入射角を調節することを特徴とする請求項2に記載のレーザーアニール方法。
- [4] 基板の表面に形成された半導体膜にレーザービームを照射することにより行うレーザーアニール方法であって、
- 進行方向と垂直な断面が矩形であり、電場の向きが矩形の長辺方向と短辺方向に交互に切り換わる偏光した矩形レーザービームを生成する段階と、
- 前記矩形レーザービームを基板の表面に入射させる段階と、を含むことを特徴とするレーザーアニール方法。
- [5] 前記矩形レーザービームのエネルギー密度を、又は、前記矩形レーザービームの短辺

幅を調整して、形成される多結晶又は単結晶半導体膜の結晶粒の寸法を調整することを特徴とする請求項1乃至4に記載のレーザアニール方法。

- [6] 基板の表面に形成された半導体膜にレーザビームを照射することにより行うレーザアニール装置であって、

進行方向と垂直な断面が矩形であり、電場が矩形の短辺方向を向く偏光した直線偏光の矩形レーザビーム、又は、長軸が短辺方向を向く楕円偏光の矩形レーザビームを生成して半導体膜表面に入射させる短辺偏光ビーム生成手段を備えることを特徴とするレーザアニール装置。

- [7] 矩形レーザビームの長辺と垂直な方向に基板を搬送する搬送手段と、

半導体膜への矩形レーザビームの入射角を、基板の搬送方向、又は、基板の搬送方向と反対方向に増加させる入射角調整手段と、を備えることを特徴とする請求項6に記載のレーザアニール装置。

- [8] 基板の表面に形成された半導体膜にレーザビームを照射することにより行うレーザアニール装置であって、

レーザビームを出射する第1及び第2のレーザ発振器と、

第1及び第2のレーザ発振器のレーザパルス出射のタイミングが互いにずれるように第1及び第2のレーザ発振器を制御するパルス制御部と、

第1のレーザ発振器からのレーザビームを直線偏光にする第1の偏光手段と、

第2のレーザ発振器からのレーザビームを直線偏光にする第2の偏光手段と、

第1の偏光手段からのレーザビームと第2の偏光手段からのレーザビームとを合成するビーム合成手段と、

ビーム合成手段からのレーザビームを進行方向と垂直な断面が矩形である矩形レーザビームにして、基板上に入射させる矩形ビーム生成手段と、を備え、

第1の偏光手段はレーザビームを前記矩形の長辺方向に偏光させ、第2の偏光手段はレーザビームを矩形の短辺方向に偏光させることを特徴とするレーザアニール装置。

- [9] 基板の表面に形成された半導体膜にレーザビームを照射することにより行うレーザアニール方法であって、

直線偏光した第1のレーザービームを生成する段階と、
直線偏光した第2のレーザービームを生成する段階と、
前記第1のレーザービームの偏光方向と、前記第2のレーザービームの偏光方向とが垂直になるように、前記第1のレーザービームと第2のレーザービームとを合成する段階と、
前記合成されたレーザービームを、進行方向と垂直な断面が矩形である矩形レーザービームにする段階と、
前記矩形レーザービームを基板の表面に入射させる段階と、を含むことを特徴とするレーザーアニール方法。

- [10] 基板の表面に形成された半導体膜にレーザービームを照射することにより行うレーザーアニール方法であって、
進行方向と垂直な断面が矩形である、円偏光した矩形レーザービームを生成する段階と、

前記矩形レーザービームを基板の表面に入射させる段階と、を含むことを特徴とするレーザーアニール方法。

- [11] 基板の表面に形成された半導体膜にレーザービームを照射することにより行うレーザーアニール方法であって、

直線偏光したレーザービームを生成する段階と、
直線偏光した前記レーザービームを無偏光にする段階と、
無偏光の前記レーザービームを、進行方向と垂直な断面が矩形である矩形レーザービームにする段階と、

前記矩形レーザービームを基板の表面に入射させる段階と、を含むことを特徴とするレーザーアニール方法。

- [12] 基板の表面に形成された半導体膜にレーザービームを照射することにより行うレーザーアニール装置であって、

レーザービームを出射する第1及び第2のレーザー発振器と、
第1のレーザー発振器からのレーザービームと第2のレーザー発振器からのレーザービームとを合成するビーム合成手段と、

ビーム合成手段からのレーザービームを、進行方向と垂直な断面が矩形である矩形

レーザビームにして、基板に入射させる矩形ビーム生成手段と、を備え、
前記第1及び第2のレーザ発振器からのレーザビームは直線偏光しており、
第1のレーザ発振器からのレーザビームの偏光方向と、第2のレーザ発振器からの
レーザビームの偏光方向とは、前記基板への入射位置において垂直になっている、
ことを特徴とするレーザアニール装置。

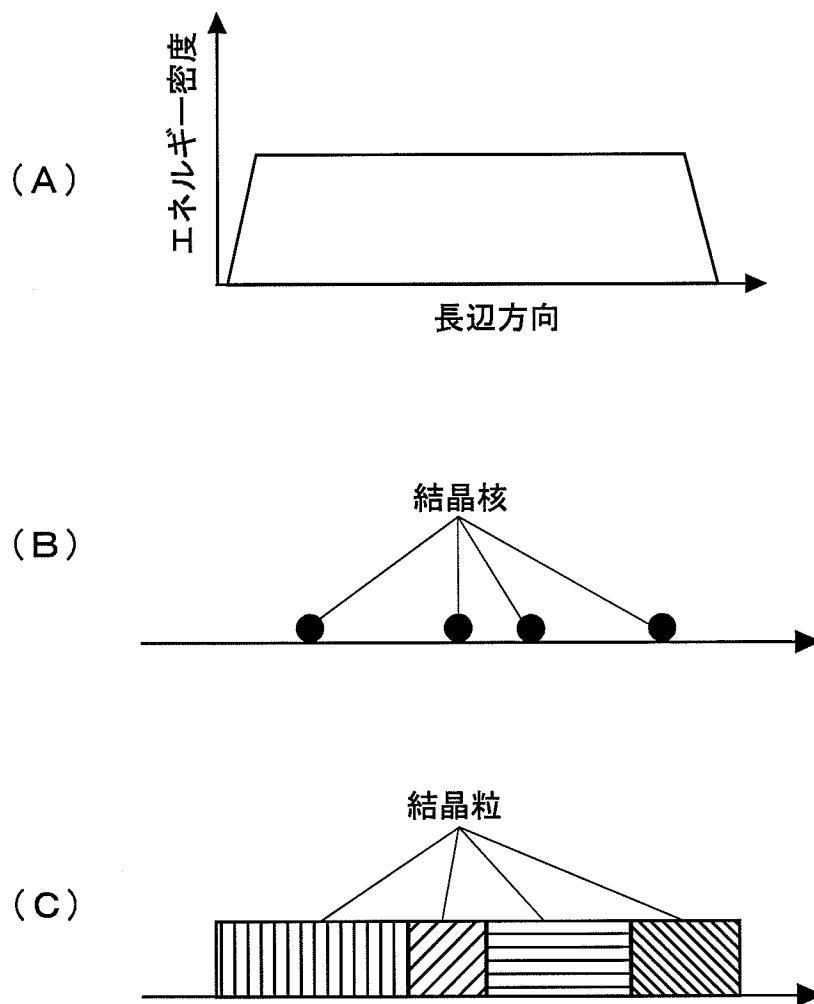
- [13] 基板の表面に形成された半導体膜にレーザビームを照射することにより行うレーザ
アニール装置であって、

進行方向と垂直な断面が矩形である、円偏光の矩形レーザビームを生成して半導
体膜表面に入射させる円偏光ビーム生成手段を備えることを特徴とするレーザアニ
ール装置。

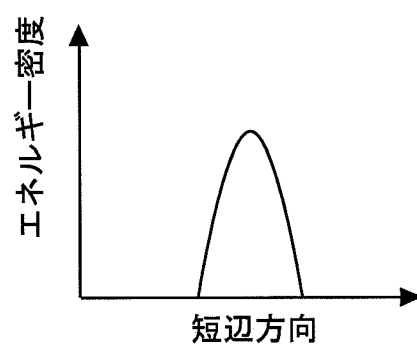
- [14] 基板の表面に形成された半導体膜にレーザビームを照射することにより行うレーザ
アニール装置であって、

直線偏光したレーザビームを出射するレーザ発振器と、
該レーザ発振器からのレーザビームを無偏光にする無偏光手段と、
該無偏光手段からのレーザビームを、進行方向と垂直な断面が矩形である矩形レ
ーザビームにして、基板に入射させる矩形ビーム生成手段と、を備えることを特徴
とするレーザアニール装置。

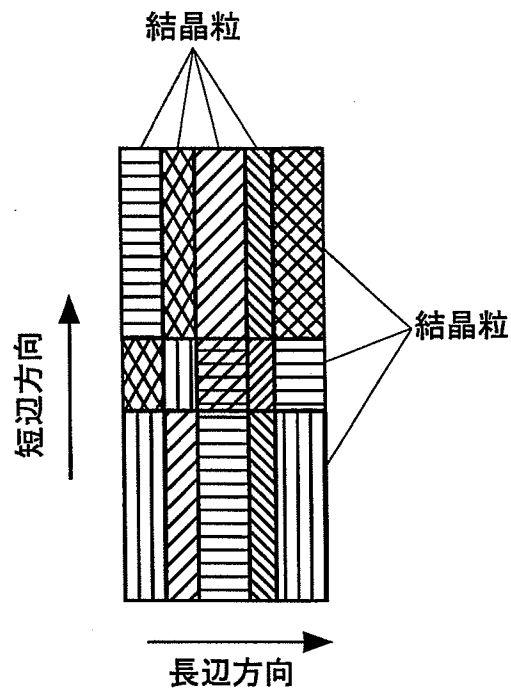
[図1]



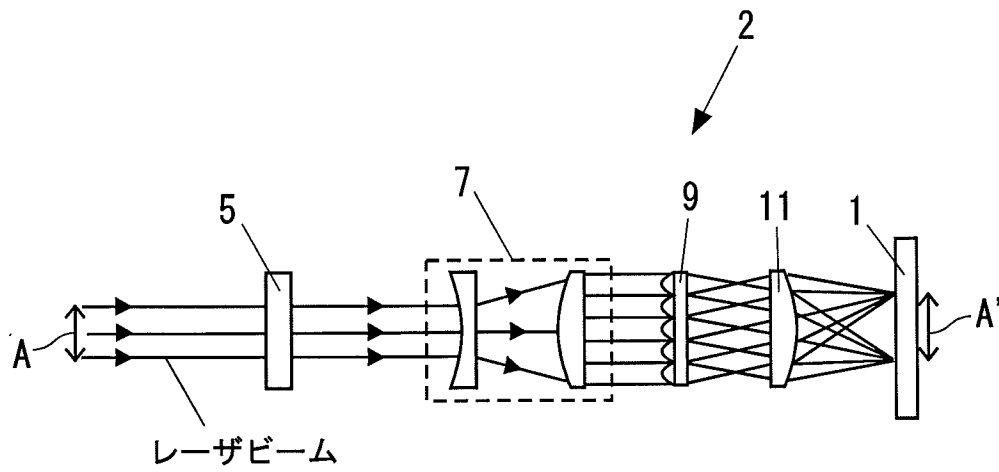
[図2]



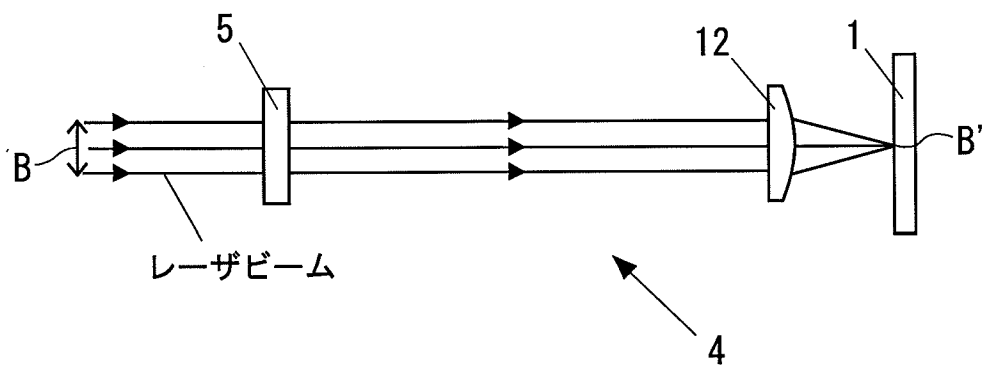
[図3]



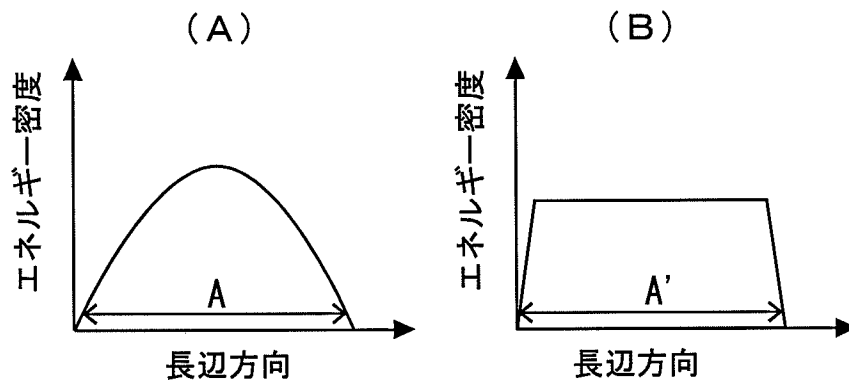
[図4]



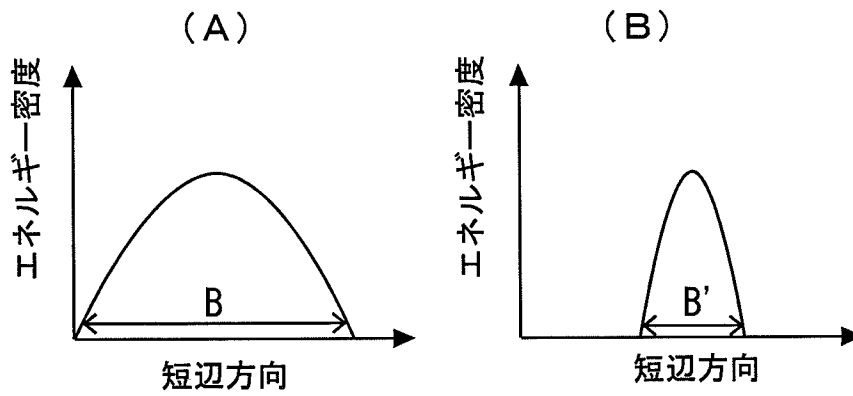
[図5]



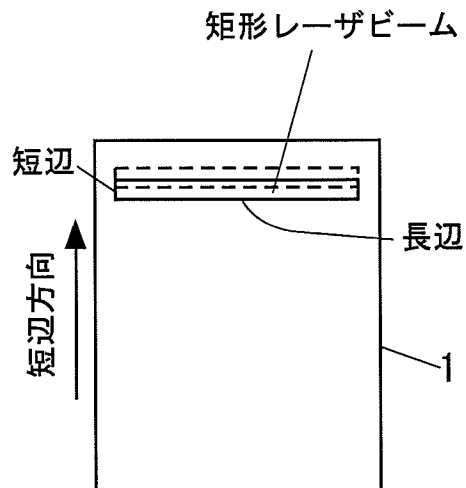
[図6]



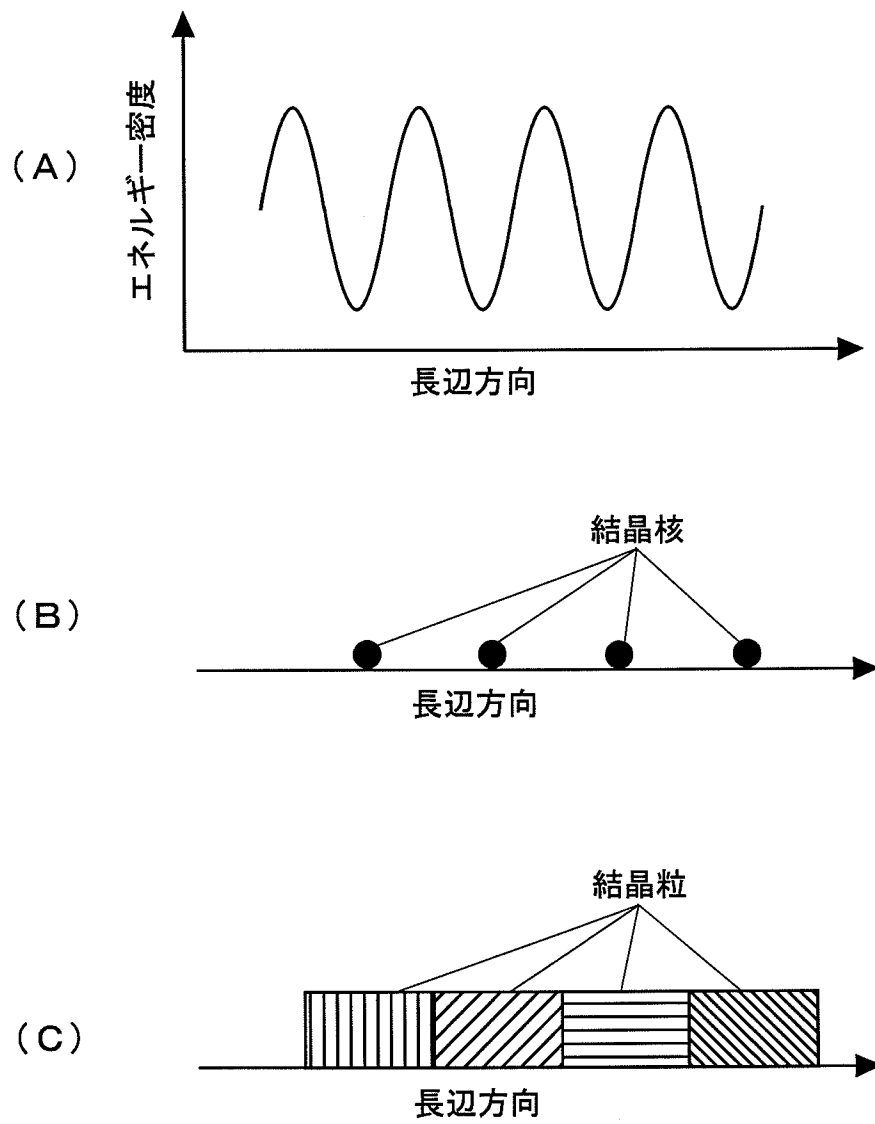
[図7]



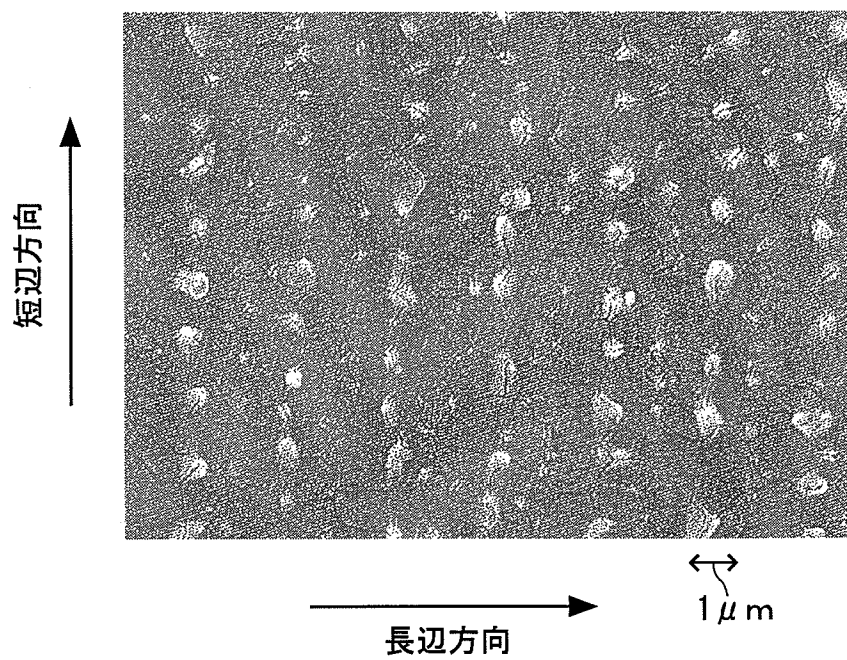
[図8]



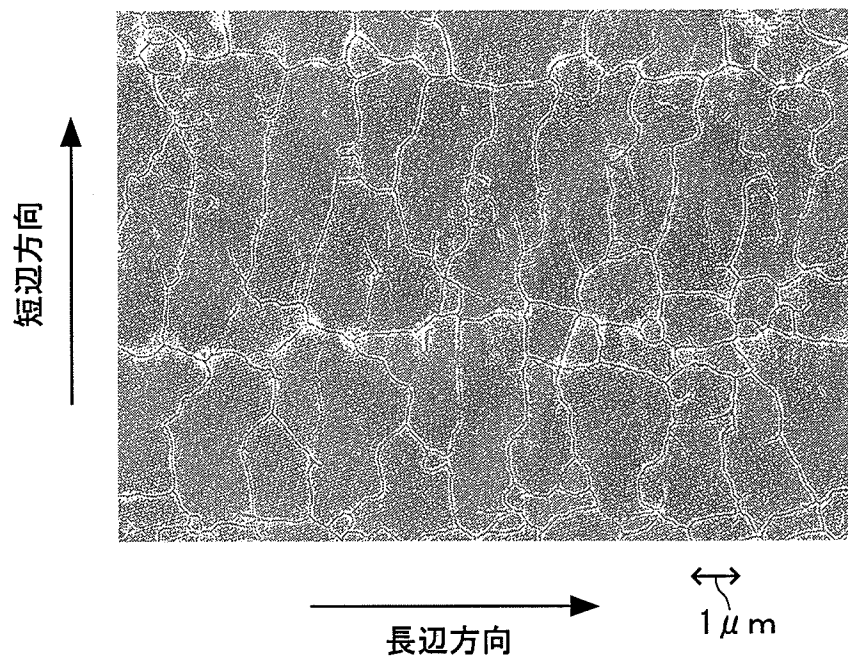
[図9]



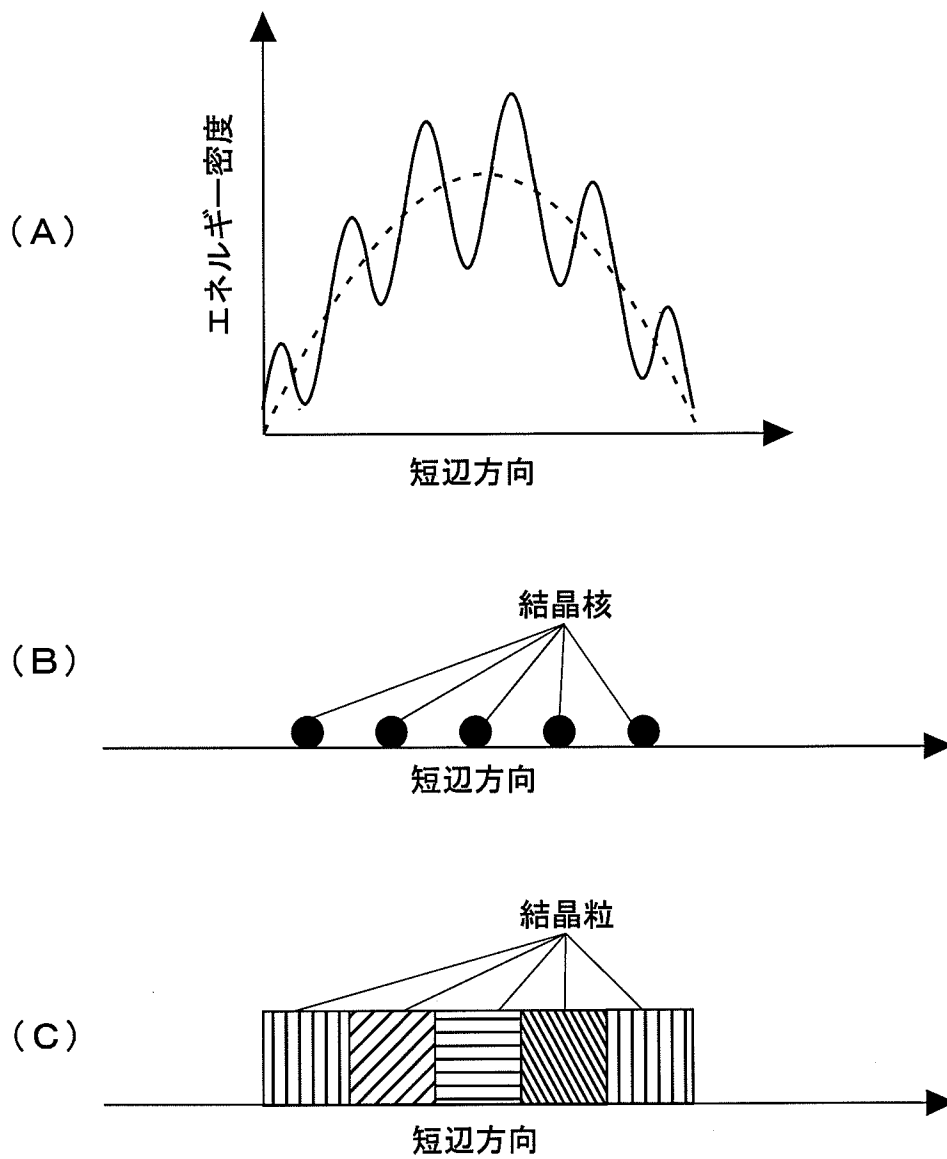
[図10]



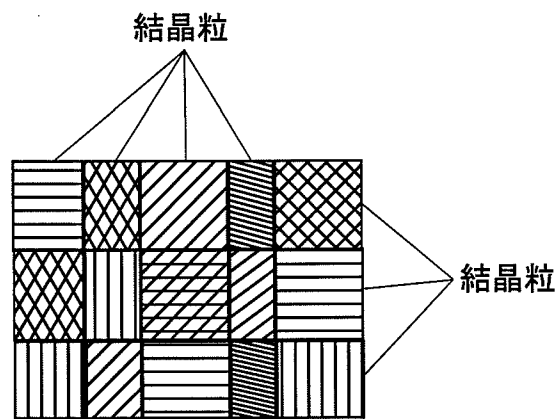
[図11]



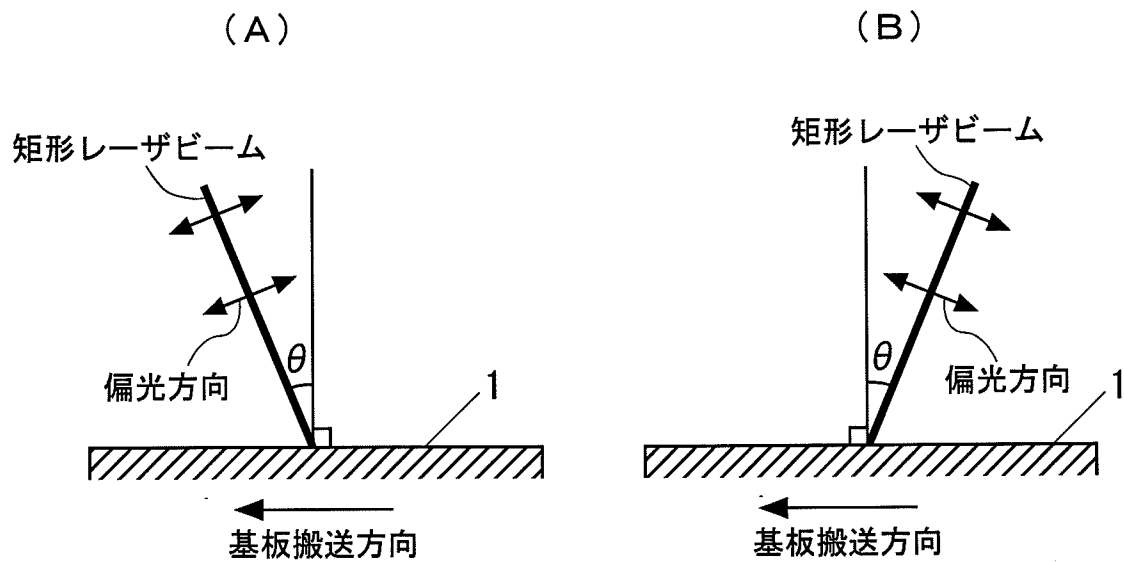
[図12]



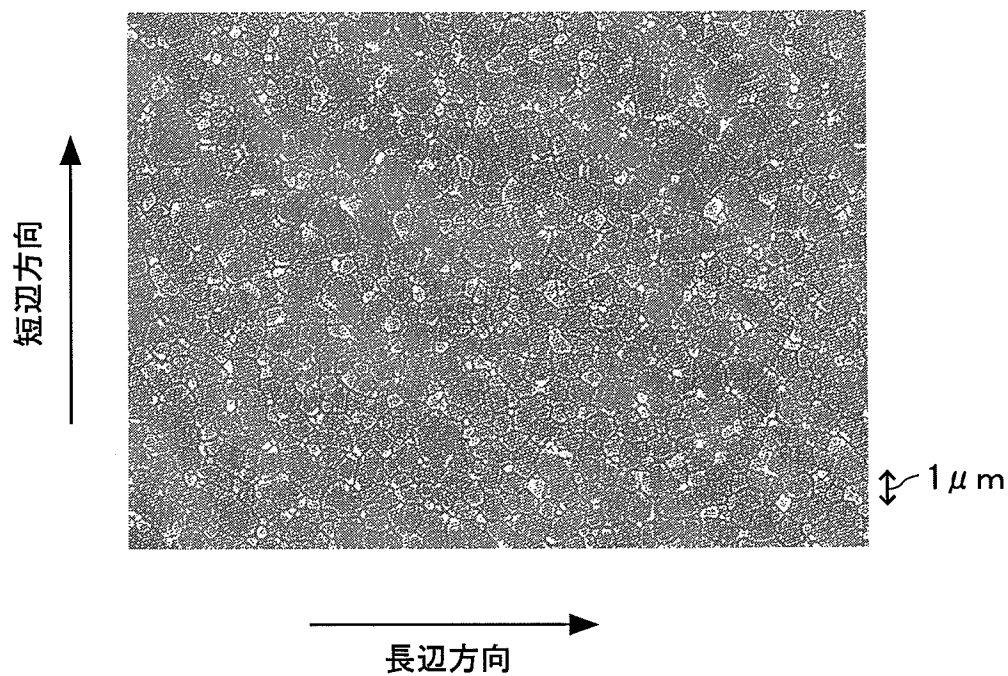
[図13]



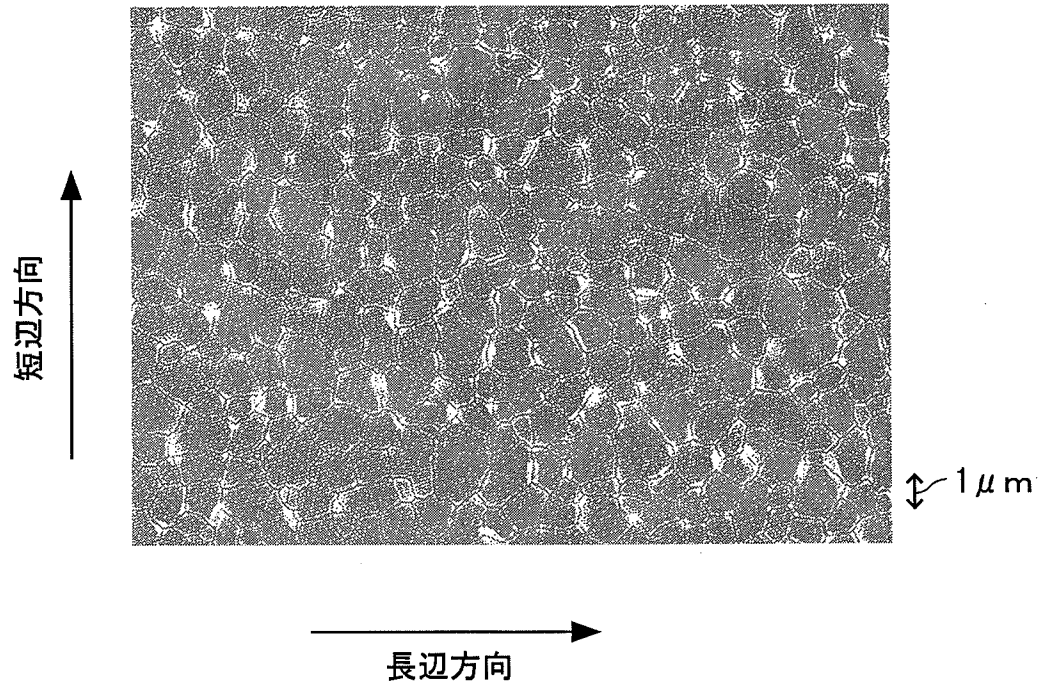
[図14]



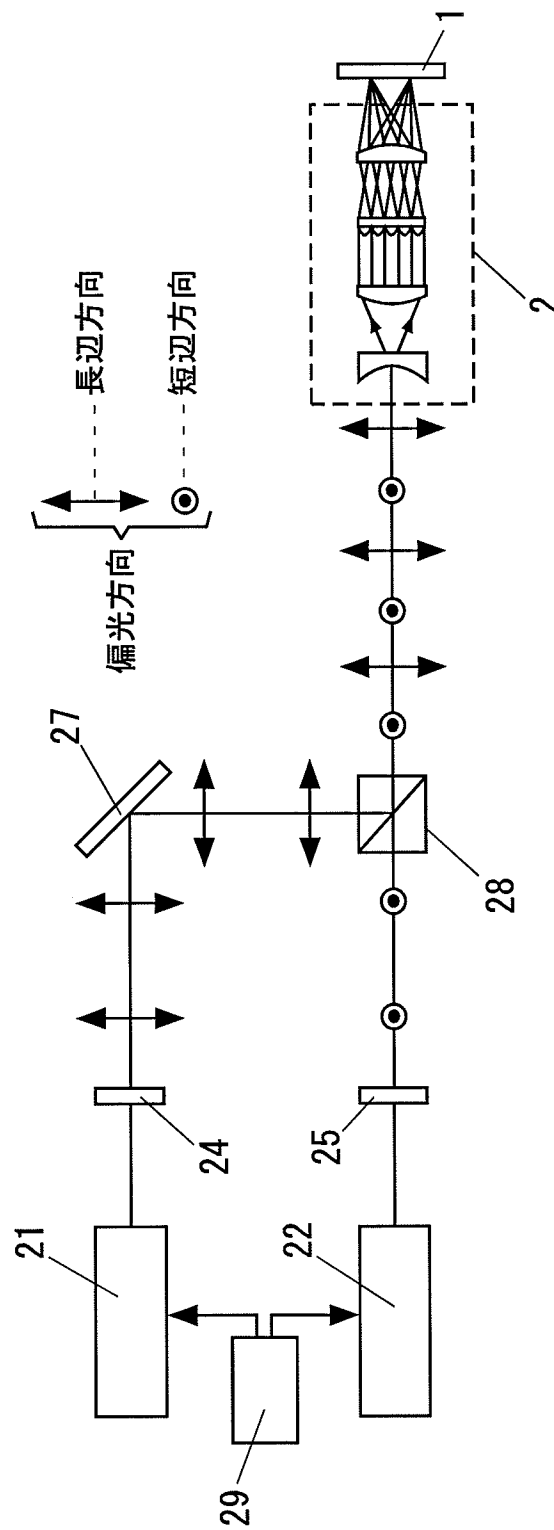
[図15]



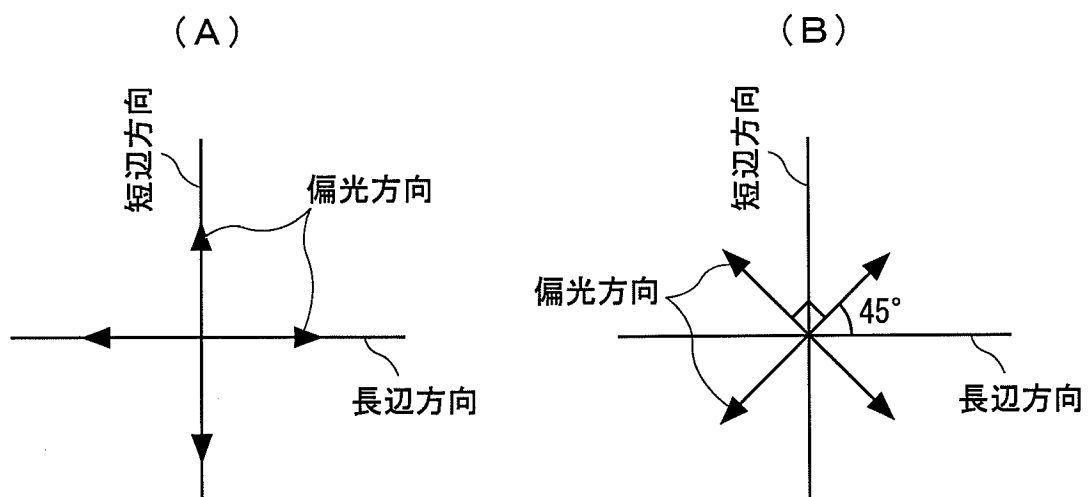
[図16]



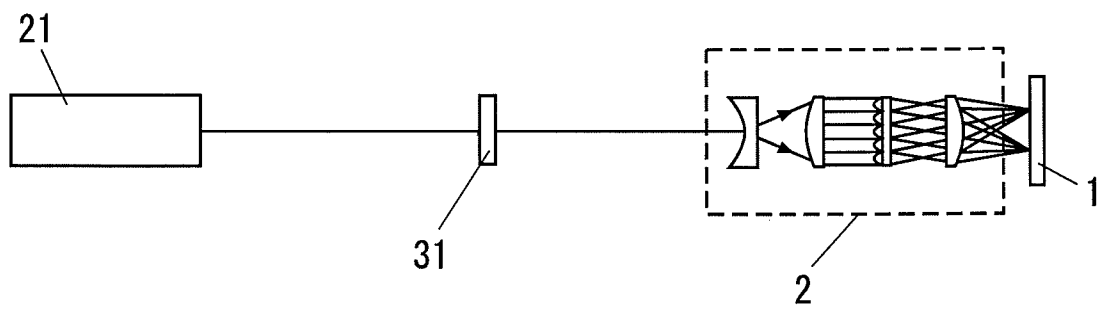
[図17]



[図18]



[図19]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/318006

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/268(2006.01) i, H01L21/20(2006.01) i, H01L21/336(2006.01) i,
H01L29/786(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	1996-2006
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2006	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2006

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 2003-347210 A (Mitsubishi Electric Corp.), 05 December, 2003 (05.12.03), Par. Nos. [0006] to [0053]; Figs. 1 to 7 (Family: none)	1, 5
X	JP 2003-347211 A (Mitsubishi Electric Corp.), 05 December, 2003 (05.12.03), Par. Nos. [0003] to [0033]; Figs. 1 to 7 (Family: none)	1-3, 5-7
X	JP 2003-347207 A (Mitsubishi Electric Corp.), 05 December, 2003 (05.12.03), Par. Nos. [0007] to [0066]; Figs. 1 to 17 (Family: none)	2, 3, 5-7

☒ 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
07 December, 2006 (07.12.06)

Date of mailing of the international search report
19 December, 2006 (19.12.06)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/318006

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2003-332236 A (Fujitsu Ltd.), 21 November, 2003 (21.11.03), Par. Nos. [0013] to [0033]; Figs. 1 to 10 & US 2003/0216012 A1 & CN 1461045 A & KR 2003089490 A & TW 200401346 A	4, 8, 9, 12
X	JP 2002-158184 A (Mitsubishi Electric Corp.), 31 May, 2002 (31.05.02), Par. Nos. [0003] to [0043]; Figs. 1 to 6 (Family: none)	4, 10, 11, 13, 14

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, H01L21/336(2006.01)i, H01L29/786(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 0 6 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 6 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 6 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 請求の範囲の番号
X	JP 2003-347210 A（三菱電機株式会社）2003. 12. 05, 段落 0006-0053、図 1-7（ファミリーなし）	1, 5
X	JP 2003-347211 A（三菱電機株式会社）2003. 12. 05, 段落 0003-0033、図 1-7（ファミリーなし）	1-3, 5-7
X	JP 2003-347207 A（三菱電機株式会社）2003. 12. 05, 段落 0007-0066、図 1-17（ファミリーなし）	2, 3, 5-7

☒ 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

0 7 . 1 2 . 2 0 0 6

国際調査報告の発送日

1 9 . 1 2 . 2 0 0 6

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 1 0 0 - 8 9 1 5
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）

綿引 隆

4 M

2 9 3 4

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 4 6 2

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 請求の範囲の番号
X	JP 2003-332236 A (富士通株式会社) 2003. 11. 21, 段落 0013-0033、図 1-10 & US 2003/0216012 A1 & CN 1461045 A & KR 2003089490 A & TW 200401346 A	4, 8, 9, 12
X	JP 2002-158184 A (三菱電機株式会社) 2002. 05. 31, 段落 0003-0043、図 1-6 (ファミリーなし)	4, 10, 11, 13, 14