

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-17292

(P2017-17292A)

(43) 公開日 平成29年1月19日(2017.1.19)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/20 (2006.01)	HO 1 L 21/20	5 F 0 0 4
HO 1 L 21/336 (2006.01)	HO 1 L 29/78 6 1 6 L	5 F 0 4 3
HO 1 L 29/786 (2006.01)	HO 1 L 29/78 6 1 7 J	5 F 1 1 0
HO 1 L 21/268 (2006.01)	HO 1 L 29/78 6 2 7 C	5 F 1 5 2
HO 1 L 21/306 (2006.01)	HO 1 L 29/78 6 2 7 G	

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 11 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2015-135706 (P2015-135706)
 (22) 出願日 平成27年7月6日 (2015.7.6)

(71) 出願人 504155293
 国立大学法人島根大学
 島根県松江市西川津町1060
 (74) 代理人 100116861
 弁理士 田邊 義博
 (72) 発明者 葉 文昌
 島根県松江市西川津町1060 国立大学
 法人島根大学内
 Fターム(参考) 5F004 AA09 DA24 DB01 EA38 FA05
 5F043 AA02 BB04 DD02 DD30

最終頁に続く

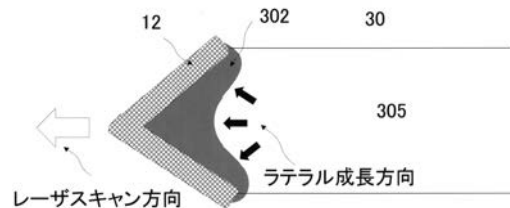
(54) 【発明の名称】 結晶化方法、パターニング方法、および、薄膜トランジスタ作製方法

(57) 【要約】

【課題】 半導体レーザを用いて非晶質の半導体膜等の所望箇所を効率のかつ簡便に単結晶化する方法を提供すること。

【解決手段】 半導体レーザ装置からのレーザ光を、プリズムを用いて光の進行方向から見て略V字状のビームスポットに形状変更し、平面的に広がる非晶質ないし微結晶の対象素材に対してビームスポットをV字頂点が進行方向前側となるように配向して相対的に移動させ、照射軌跡部分をラテラル成長により単結晶化することを特徴とする結晶化方法。

【選択図】 図5



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

半導体レーザー装置からのレーザー光を、プリズムを用いて光の進行方向から見て略 V 字状のビームスポットに形状変更し、

平面的に広がる非晶質ないし微結晶の対象素材に対してビームスポットを V 字頂点が進行方向前側となるように配向して相対的に移動させ、照射軌跡部分をラテラル成長により単結晶化することを特徴とする結晶化方法。

【請求項 2】

ダブリズムを用いてレーザー光の半分を反転させビームスポットを略 V 字状とすることを特徴とする請求項 1 に記載の結晶化方法。

10

【請求項 3】

基板上または積層体上に形成された、非晶質ないし微結晶の半導体膜に対して、請求項 1 または 2 に記載の結晶化方法により所定箇所を単結晶化し、

単結晶に対する速度より非晶質ないし微結晶に対するエッチング速度が早い剤を用いて、非晶質ないし微結晶のままである領域を除去し、

基板上または積層体上にパターンを形成することを特徴とするパターンニング方法。

【請求項 4】

請求項 3 に記載のパターンニング方法を用いてチャネル領域および / またはソースドレイン領域および / またはゲート電極を形成する工程を含むことを特徴とする薄膜トランジスタ作製方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、簡素簡便な装置構成で非晶質の半導体膜等の所望箇所を効率的に単結晶化する方法に関し、特に、半導体レーザーを用いた結晶化方法、パターンニング方法、および、薄膜トランジスタの作製方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、Si 薄膜トランジスタの性能向上を目的とした研究が進められている。たとえば、液晶ディスプレイの高速駆動化・高精細化には、高キャリア移動度と均一性が要求され、これは結晶質に依存する。

30

【0003】

ここで、エキシマレーザー結晶化方法によれば、Si 薄膜を非晶質から多結晶へと相変換させ、キャリア移動度を 100 倍程度向上させることが可能である（非特許文献 1, 2）。しかしながら同方法では結晶粒径が均一とならず、薄膜トランジスタの性能がばらつきやすい。したがって、粒界消失すなわち単結晶化を目指した改質技術が研究されている。ただし、エキシマレーザーはパルス発振であるため、同方法では結晶粒が大面積 Si 膜上で連続的に成長できない。

【0004】

近年、大面積 Si 膜上で連続的に結晶成長させられる方法として、連続波レーザー結晶化方法が提案されている。この方法ではレーザースポットのスキャン方向に結晶粒が連続的にラテラル成長していく。しかしながら、スキャン方向と平行に結晶粒界も延伸していくので、薄膜トランジスタの均一性の問題は依然として解決されない。

40

【0005】

一方、特殊なレーザースポット形状により、スキャン領域を単結晶化する方法も提案されている。たとえば、U字型の連続波レーザースポットを Si 膜上で走査する技術が知られている（非特許文献 3）。また、ドーナツ状の連続波レーザースポットを用いる方法も知られている（非特許文献 4）。

【0006】

しかしながら、従来の技術では以下の問題点があった。

50

U字型のレーザスポットは、遮蔽マスクを使ってスポット形状を作出するものであり、レーザ光の使用効率が低い上にレーザパワー密度を大きくしづらく、量産性を考慮すると現実的でないという問題点があった。

また、ドーナツ状とするには、2 m程度の大型の気体レーザ発振器の片方の反射鏡を凸面鏡にすることで実現できるものの、そもそも半導体レーザに適用できる技術ではないという問題点があった。

【0007】

一方、半導体レーザは、近時ハイパワー化と低コスト化が進んでいるため、これをレーザ加工の光源としたいという潜在的な需要が存在する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2005-101530

【特許文献2】特開2008-091811

【特許文献3】US Pat. 6368945

【特許文献4】特開2014-175508

【特許文献5】US Pat. 6028722

【非特許文献】

【0009】

【非特許文献1】T. Sameshima, S. Usui, and M. Sekiya, IEEE Electron Device Lett. 7, 276 (1986).

【非特許文献2】A. Hara, F. Takeuchi, M. Takei, K. Suga, K. Yoshino, M. Chida, Y. Sano and N. Sasaki, Jpn. J. Appl. Phys. 41 (2002) L311.

【非特許文献3】T. Stults et al., Appl. Phys. Lett. 39(1981)498

【非特許文献4】S. Kawamura et al., Appl. Phys. Lett. 40(1982)394

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

本発明は上記に鑑みてなされたものであって、半導体レーザを用いた簡素簡便な装置構成であって、非晶質の半導体膜等の所望箇所を効率的に単結晶化する方法を提供することを目的とする。

また、レジストを不要とする新たなパターンニング方法およびその応用製品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】

【0011】

請求項1に記載の結晶化方法は、半導体レーザ装置からのレーザ光を、プリズムを用いて光の進行方向から見て略V字状のビームスポットに形状変更し、平面的に広がる非晶質ないし微結晶の対象素材に対してビームスポットをV字頂点が進行方向前側となるように配向して相対的に移動させ、照射軌跡部分をラテラル成長により単結晶化することを特徴とする。

詳細には、図5の平面模式図に示されるように、平面的に広がる非晶質ないし微結晶の膜30に対して、略V字状のビームスポット12をV字頂点が進行方向前側となるように配向して相対的に移動させ、照射領域近傍に溶融領域302を作り出し、軌跡部分をラテラル成長させて単結晶化領域305を形成する発明である。

【0012】

すなわち、請求項1にかかる発明は、小型かつ安価であって今後一層の高出力化が望める半導体レーザを用い、その出力光の形状特性を利用して、単結晶化に適し利用効率にも優れるビーム形状へ簡便に出力光を変化させ、照射対象を連続的に単結晶化していく。

詳細には、一般に線状または楕円形状である出力光を、その半分をプリズムを用いて反転結合してV字化し、V字頂点を進行方向前側として表面照射していくことで、溶融状態

10

20

30

40

50

からの再結晶化に際し、V字由来の冷却温度勾配により、連続的な単結晶化を実現する。

【0013】

用いる半導体レーザ装置は、出力、ビームスポットの大きさ、移動速度、対象素材の厚み等を考慮し適宜選択すればよく、対象素材を再結晶化できるのであれば特に限定されない。

V字の直線部分のビーム強度すなわちレーザパワー密度は両側（両線分）で同等であるまたは同等となるように調製されていることが好ましい。

対象素材は、結晶を形成可能な素材であれば特に限定されないが、半導体や金属を挙げることができる。

光学系はプリズムのみに限らず、コリメートレンズや集光レンズを適宜介在させてもよい。これにより、照射強度の実質的な増強や、照射軌跡幅の増大を設計可能となる。

【0014】

請求項2に記載の結晶化方法は、請求項1に記載の結晶化方法において、ダブルプリズムを用いてレーザ光の半分を反転させビームスポットを略V字状とすることを特徴とする。

【0015】

詳細には図2に示されるように、出力形状が線分状のレーザ光10を、ダブルプリズム22と直進プリズム221からなる複合プリズム22を用いて光の進行方向から見て略V字状のビームスポット12に形状変更する。すなわち、請求項2にかかる発明は、簡単な光学系で単結晶化をもたらすビームスポットを作出できる。

【0016】

ダブルプリズムへの入射光の斜面入射による比較的高い反射率を考慮し、ダブルプリズムに反射防止膜を形成したり、直方体プリズムを長くしたり、直方体プリズムの端面または中途にフィルタを介在させたりして強度調整をおこなうようにしてもよい。

【0017】

請求項3に記載のパターニング方法は、基板上または積層体上に形成された、非晶質ないし微結晶の半導体膜に対して、請求項1または2に記載の結晶化方法により所定箇所を単結晶化し、単結晶に対する速度より非晶質ないし微結晶に対するエッチング速度が早い剤を用いて、非晶質ないし微結晶のままである領域を除去し、基板上または積層体上にパターンを形成することを特徴とする。

【0018】

すなわち、請求項3にかかる発明は、レジストが不要な新規なパターニング技術を提供する。

【0019】

なお、半導体膜は、半導体層とそれぞれ言い換えることができる。

【0020】

請求項4に記載の薄膜トランジスタ製造方法は、請求項3に記載のパターニング方法を用いてチャネル領域および/またはソースドレイン領域および/またはゲート電極を形成する工程を含むことを特徴とする。

【0021】

すなわち、請求項4にかかる発明は、工程数を削減した生産性の高い薄膜トランジスタ製造技術を提供可能となる。

【0022】

具体的には次の通りである。

まず、絶縁性の基板上に、Si膜を所定の厚さに堆積し、請求項1記載の方法により少なくともチャネルとソースドレインとなる領域を単結晶化し、請求項3記載の方法によりパターニングして、後の工程でチャネルとソースドレイン領域となるSiアイランドを形成する。

【0023】

続いて、ゲート絶縁膜として酸化Si膜等を堆積した後、金属とSiの積層構造を堆積する。請求項1記載の方法によりゲート電極となる領域のSi膜を選択的に結晶化し、請

10

20

30

40

50

求項 3 記載の方法により Si 膜をパターニングし、次に露出した部分の金属膜をエッチングしてゲート電極を完成させる。

【 0 0 2 4 】

続いてゲート電極形成後に露出したゲート絶縁膜を反応性イオンエッチング (R I E) 法でエッチングして、ソースドレイン領域となる部分の Si アイランドを露出させる。不純物を高濃度に含んだ Si 膜を全面に堆積させ、ソースドレイン領域となる部分を選択的にレーザー照射することで、不純物を高濃度に含んだ Si 膜を結晶化させると同時に不純物を下の単結晶化 Si 膜に拡散させて、ソースドレイン領域を完成させる。これらにより薄膜トランジスタを得ることができる。

【 発明の効果 】

【 0 0 2 5 】

本発明によれば、半導体レーザーを用いた簡素簡便な装置構成であって、非晶質の半導体膜等の所定箇所を効率的に単結晶化する方法を提供することが可能となる。また、レジストを不要とする新たなパターニング方法およびその応用製品を提供することが可能となる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 6 】

【 図 1 】 本発明である結晶化方法を実現する装置構成の一例を示した概要図である。

【 図 2 】 用いるプリズムの拡大図である。

【 図 3 】 Si 膜に照射されたレーザースポットの光学顕微鏡写真である。

【 図 4 】 非晶質シリコン膜上で V 字ビームスポットを移動させた際の軌跡の粒界顕在化処理後の SEM 写真である。

【 図 5 】 レーザースポットの形状および進行方向と、単結晶領域の形成との関係を示した説明図である。

【 図 6 】 非晶質シリコン膜上で V 字ビームスポットを移動させた際の軌跡の E B S D 画像である。

【 図 7 】 M O S F E T の形成工程の一例を示した説明図である。なお、左側に平面図、右側に対応する A - A ' 断面図を示した。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 7 】

以下、本発明の実施の形態を図面を参照しながら詳細に説明する。ここでは、非晶質シリコン膜上でビームスポットを移動させ、所定幅の線状の単結晶領域を形成する装置および方法を説明する。図 1 は、装置の概要図である。図 2 は、プリズムの拡大図である。

【 0 0 2 8 】

単結晶化装置 1 は、図 1 に示したように、半導体レーザー装置 4 0 と光学系 2 0 と載置台 5 0 0 とを主要な構成としている。

【 0 0 2 9 】

半導体レーザー装置 4 0 は、線分状のレーザー光を出力する (なお、線状、I 字状とも表現できるが本願では線分状と称することとする) 。用いた光源は、4 0 5 n m 紫外ダイオードレーザー (日亜化学社製 : 型番 N D V 7 3 7 5 E) であり、実際、出力光を遠方のスクリーンに投影し、形状が線分状であることを確認した。

【 0 0 3 0 】

光学系 2 0 は、コリメートレンズ 2 1 と、複合プリズム 2 2 と、集光レンズ 2 3 とを有する。

コリメートレンズ 2 1 は、拡散していくレーザー光を平行光線とする。

複合プリズム 2 2 は、後述するように線分状のレーザー光の半分を直進させ残余の半分を反転させ、全体として V 字形状の光線を形成する。

集光レンズ 2 3 は、シリコン膜 3 0 表面にレーザー光を集光しビームスポットを形成する。

【 0 0 3 1 】

10

20

30

40

50

載置台 500 は、非晶質のシリコン膜 30 (膜厚 60 nm) が形成されたガラス基板 50 を載置する。また、載置台 500 は、図示しない駆動系によりガラス基板 50 を水平に動かす。これによりビームスポットが表面走査するようにガラス基板 50 上を相対的に移動していく。

【0032】

複合プリズムについて詳述する。

図 2 に示したように、複合プリズム 22 は、直方体の直進プリズム 221 と、ダブリズム 222 とが接合した特注プリズムである。ここで、ダブリズム 222 は像を上下に反転する性質を有する。したがって、線分状のビームの midpoint を接合面 S に合わせ、接合面 S の法線に対して、ビームを θ 傾けて入射させると、折れ角 2θ の V 字状であって両方の直線部分の長さが等しいビームとなる。なお、 θ は 90° 以下であればよいが、 45° 以下であることがより望ましい。

10

【0033】

ただし、ダブリズム 222 内における長い光路により透過光は直進プリズム 221 の透過光より強度が小さくなる。用いた光学系では 405 nm 光に対する透過率がそれぞれ 83% と 75% であった。したがって、直進プリズム 221 には、強度調整用のガラス 223 を取り付け、透過率をいずれも 75% に揃えることとした。これにより、パワー密度が均等化され、片側にてレーザアブレーションが起きてしまうようなことをなくすることが可能となる。

なお、図 3 にシリコン膜 30 上に形成される V 字ビームスポット 12 の光学写真を示した。

20

【0034】

載置台 500 を 0.02 m/s で動かし、V 字頂点を進行方向前側としてビームスポット 12 をガラス基板 50 に対して相対的に移動させた。なお、用いた半導体レーザ装置 40 において、レーザパワー 185 mW が結晶化閾値であり、 240 mW が完全アブレーション閾値であることを事前に確認しており、以降は、 200 mW として実験 (単結晶化) をおこなった結果である。

【0035】

結果を SEM 画像として図 4 に示す。図の右側はレーザパワーが 200 mW 未満でありラテラル結晶の粒界が存在しているが、図の左側はレーザパワーが 200 mW 以上であり粒界が解消され、単結晶が連続的に形成していることが確認できる。

30

【0036】

なお、ビームスポット 12 の形状と単結晶領域の形成の関係を図 5 に示した。ビームスポット 12 を略 V 字とすることによりシリコン膜 30 に略 V 字型の熔融領域 302 が形成され、固液界面は進行方向に対して凸となり、レーザスキャン経路両端での核発生による融液部への結晶成長は妨げられ、レーザの進行とともに単結晶化領域 305 が連続形成される。

【0037】

次に、EBSD により結晶質を解析した。解析結果を図 6 に示す。中途から同一の面方位が続いており、ひずみの影響で面方位が緩やかに回転するものの、単結晶が連続的に形成されていることを EBSD によっても確認できた。

40

【0038】

以上説明したように、半導体レーザを用いて非晶質シリコン膜の所望部分を簡便かつ連続的に単結晶化できることを確認できた。

【0039】

なお、半導体レーザは必ずしもレーザ光は大きくないものの、これを逆に利用して光学系を介在させて焦点を絞り込むことができる。これにより実質的なハイパワー化が実現され微細パターンの形成に利用できる。

【0040】

たとえば、レジストを用いず微細パターンの作成も可能となる。具体的には、非晶質ま

50

たは微結晶のシリコン膜に対するエッチング速度が単結晶のシリコン膜より早い化学物質、たとえばフッ硝酸、もしくはDash液 ($\text{CH}_3\text{COOH} : \text{HNO}_3 : \text{HF} : \text{I}_2 = 100\text{ mL} : 40\text{ mL} : 10\text{ mL} : 54\text{ mg}$)、もしくは水素プラズマ、もしくは原子状水素を用いて、非晶質または微結晶領域を除去し、レジストを用いることなくパターン作成が可能となる。

【0041】

更にこの技術を用いてチャネル、ゲート、ソースドレインを形成し、新規な薄膜トランジスタ作製方法を提供できる。図7は、MOSFETの形成工程の一例を示した説明図である。なお、図の左側は平面図であり、右側は対応するA-A'断面図である。

【0042】

まず、ガラス基板50上にパシベーション膜60として酸化シリコン膜を堆積後、非晶質ないし微結晶の膜30として非晶質シリコン膜を堆積する。

【0043】

非晶質ないし微結晶の膜30に略V字のビームスポット12を当てて当該軌跡を単結晶(c-Si)化領域305とし(図7(a))、続いてエッチングにより単結晶(c-Si)化領域以外のSi膜を除去する(図7(b))。なお、残ったシリコン膜が続く工程でチャネル部とソースドレイン部となる。

【0044】

次に、ゲート絶縁膜80として酸化シリコン膜、ゲート金属膜90としてアルミ膜、非晶質ないし微結晶の膜30として非晶質シリコン膜を順次堆積する。続いて図7(c)に示したように、先に形成されたシリコン膜単結晶化領域305と垂直に交差するようV字ビームスポット12をスキャンし、当該軌跡をゲート金属膜上シリコン膜単結晶化領域305aにする。エッチングにより非晶質または微結晶領域30を除去する。実際には、ゲート金属膜上シリコン膜単結晶化領域305aは必ずしも単結晶である必要はなく、非晶質または微結晶領域に対してエッチング速度が違う多結晶膜でよい。

【0045】

続いて、アルミはエッチングするがシリコンはエッチングしない化学物質、たとえば熱リン酸等で、表面に露出しているアルミ膜をエッチングする。この工程で残った部分のゲート金属膜90(アルミ膜)とゲート金属膜上シリコン膜単結晶化領域305aの積層膜がゲート電極を構成する。続いて反応性イオンエッチング法で、表面に露出している部分のゲート絶縁膜80をエッチングしてシリコン単結晶化領域305のソースとドレインとなる部分を露出させる(図8(d))。

【0046】

続いて図7(e)に示すように、ドーパントを 10^{19} cm^{-3} 以上含んだ、高濃度に不純物ドーパされた非晶質ないし微結晶の膜35として低抵抗シリコン膜を基板表面に堆積する。その後、シリコン単結晶化領域305と平行方向に、シリコン単結晶化領域を完全に包含するようにV字ビームスポット12をスキャンして、高濃度に不純物ドーパされた非晶質ないし微結晶の膜35の当該領域を加熱するとともに結晶化する。これにより、高濃度に不純物ドーパされた非晶質ないし微結晶の膜35と接触しているシリコン単結晶化領域305に不純物が拡散されて低抵抗化し、この領域がソースドレイン領域となる。

【0047】

続いてエッチングにより、V字レーザスポットが照射されなかった非晶質または微結晶領域を除去して、薄膜トランジスタが完成する。

【0048】

このようにして、絶縁膜を適宜介在させながら、非晶質半導体膜を形成後、所望箇所の結晶化非晶質部分(および絶縁膜部分)のエッチング除去、を繰り返し、チャネル、ソースドレイン、電極等の形成が可能となる。レジスト自体を不要とするため、生産性に優れる。

【0049】

なお、複数の半導体レーザをアレイ化してパターンニングしてもよい。また半導体レーザ

10

20

30

40

50

を点滅させながらスキャンすることで、半導体膜の所定領域を結晶化することができる。

【0050】

本発明は、上述の実施の形態に限定されない。

たとえば、照射対象は基板上のシリコン膜に限定されず、他の半導体、たとえば酸化チタンや酸化亜鉛を用いることもできる。半導体中にドーパントが含まれていてもよい。

また、非晶質に限らず微結晶を単結晶化してもよい。

また、半導体でなく、金属を対象とすることもできる。

また、基板はガラスではなく、プラスチックでもよく、表面が平坦な材料であればなんでもよい。

なお、用いる半導体レーザ装置は、連続発振が望ましいが、パルス発振であっても発振周波数が十分高ければ、連続発振と同じ効果が期待できる。

10

【産業上の利用可能性】

【0051】

本発明によれば、半導体レーザを用いて非晶質の半導体膜等の所望箇所を効率的かつ簡便に単結晶化する方法を提供できる。また、レジストを不要とする新たなパターニング方法およびその応用製品を提供することができる。

なお、高出力の半導体レーザであれば、逆に、光学系を用いてレーザスポットの幅を広げるなどして、大面積を単結晶化することもできる。

【符号の説明】

【0052】

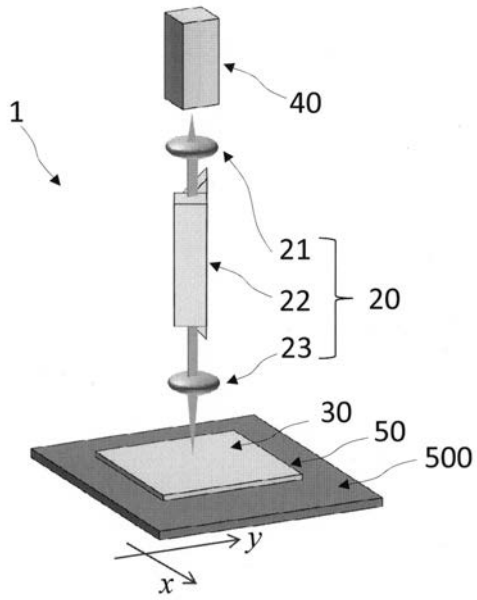
20

- 10 線分状のレーザ光単結晶化装置
- 12 略V字状のビームスポット(レーザスポット)
- 20 光学系
- 21 コリメートレンズ
- 22 複合プリズム
- 23 集光レンズ
- 30 非晶質ないし微結晶の膜
- 35 高濃度に不純物ドーパされた非晶質ないし微結晶の膜
- 40 半導体レーザ装置
- 50 ガラス基板
- 60 パシベーション膜
- 80 ゲート絶縁膜
- 90 ゲート金属膜
- 221 直進プリズム
- 222 ダブプリズム
- 223 ガラス
- 302 シリコン膜溶融領域
- 305 シリコン膜単結晶化領域
- 305 a ゲート金属膜上のシリコン膜単結晶化領域
- 305 b 単結晶化シリコン膜上の低抵抗領域
- 500 載置台
- S 接合面

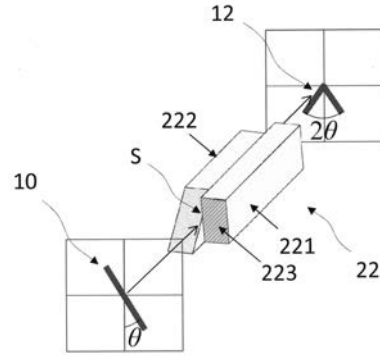
30

40

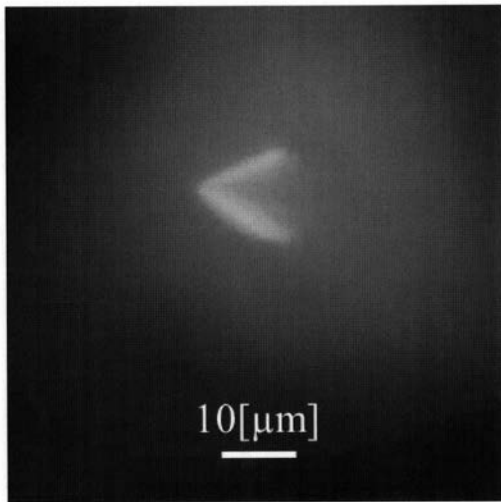
【 図 1 】



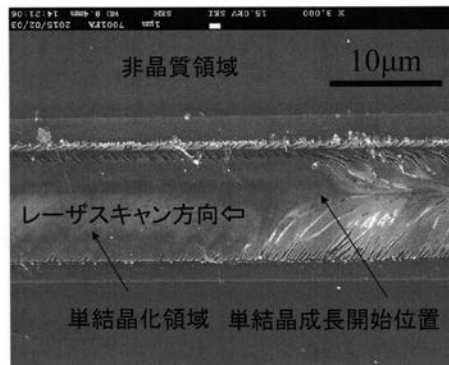
【 図 2 】



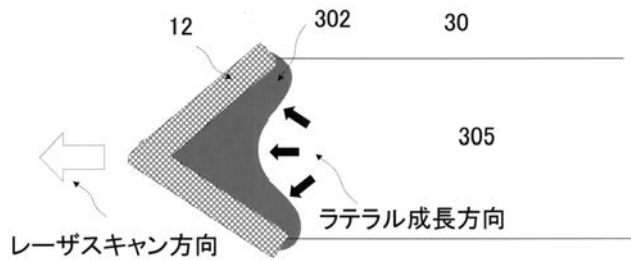
【 図 3 】



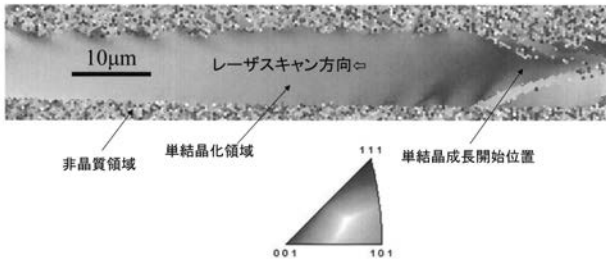
【 図 4 】



【 図 5 】

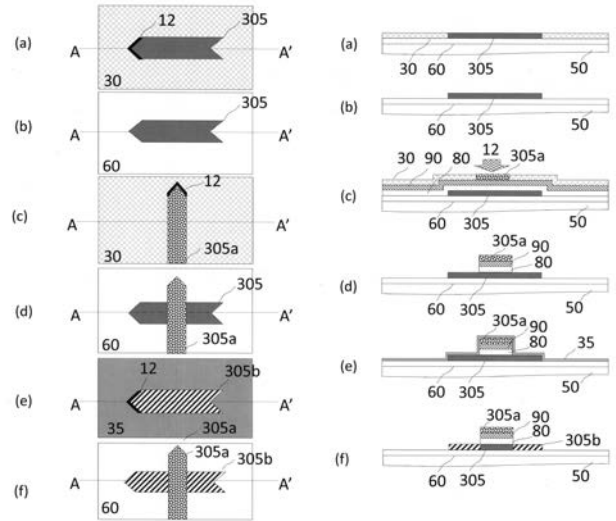


【 図 6 】



V字型レーザースポットで50nmSi膜を走査した後のSi膜のEBSD像。色は表面方位を表す。

【 図 7 】



 フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
H 0 1 L 21/3065 (2006.01)	H 0 1 L 21/268	J
	H 0 1 L 21/306	B
	H 0 1 L 21/302	1 0 5 A

Fターム(参考)	5F110	AA16	BB01	CC02	DD01	DD02	DD15	EE03	EE09	EE14	EE42
		FF02	FF27	GG01	GG02	GG13	GG23	GG42	HK09	HK14	HK27
		HK42	PP04	PP06	PP16	PP24	QQ05				
	5F152	BB02	CC02	CC04	CD08	CE05	CE08	EE01	EE02	FF09	FF28
		FF34	FG03	FG24	FH03						