

(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2018-18869

(P2018-18869A)

(43) 公開日 平成30年2月1日(2018.2.1)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)
 HO 1 L 21/66 (2006.01) HO 1 L 21/66 N 4M106

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 8 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2016-145940 (P2016-145940) (22) 出願日 平成28年7月26日 (2016.7.26) 申請有り</p>	<p>(71) 出願人 504145320 国立大学法人福井大学 福井県福井市文京3丁目9番1号 (74) 代理人 100110814 弁理士 高島 敏郎 (72) 発明者 塩島 謙次 福井県福井市文京三丁目9番1号 国立大 学法人福井大学内 Fターム(参考) 4M106 AA10 BA05 BA14 CA17 CA21 DH32 DJ17 DJ20</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

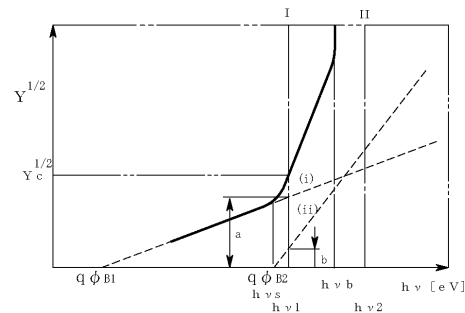
(54) 【発明の名称】 顕微光応答法による結晶成長層の界面評価方法

(57) 【要約】

【課題】 顕微光応答法の利用によるさらに高度な結晶評価技術を得ることを目的とするもので、前記界面における異なる物理現象を評価できるようにする。

【解決手段】 界面にレーザー光を照射することによって得られた光応答スペクトルから二以上の障壁高さが存在すると判断した場合に、各々の障壁高さ (q_{B1} , q_{B2} , ...) によって光電子収率 (Photoyield: Y) が変位する変位点 (h_{vs}) を境として、この変位点 (h_{vs}) と基礎吸収の開始点 (h_b) との間の $h_{vs} < h_1 < h_b$ となる光子エネルギー h_1 のレーザー光 I と、 $h_b < h_2 < h_p$ (h_p : 光電子収率 Y のピーク値) となる光子エネルギー h_2 のレーザー光 II とを前記界面に照射し、レーザー光 I, II のそれぞれを前記界面に対して走査させながら、レーザー光 I, II のそれぞれについて前記界面における二次元的な光電子収率 Y の分布及び / 又は光電流像を得るようにした。

【選択図】 図 4



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

顕微光応答法によって半導体結晶成長層の界面を評価する方法において、

前記界面にレーザー光を照射することによって得られた光応答スペクトルから二以上の障壁高さ ($q_{B1} < q_{B2} < \dots$) が存在すると判断した場合に、

各々の障壁高さ ($q_{B1}, q_{B2}, \dots, q_{Bn}, q_{Bn+1}, \dots$) によって光電子収率 (Photoyield: Y) が変位する変位点 (h_s) を境として、前記変位点 (h_s) と基礎吸収の開始点 (h_b) との間の $h_s < h_1 < h_b$ となる光子エネルギー h_1 のレーザー光 I と、 $h_b < h_2 < h_p$ (h_p : 光電子収率 Y のピーク値) となる光子エネルギー h_2 のレーザー光 II とを前記界面に照射し、

レーザー光 I, II のそれぞれを前記界面に対して相対的に X-Y 方向に走査させながら、前記レーザー光 I, II のそれぞれについて前記界面における二次元的な光電子収率 Y の分布及び/又は光電流像を得ること、

を特徴とする顕微光応答法による結晶成長層の界面評価方法。

【請求項 2】

前記界面が Ni ショットキー電極と 3C-SiC 結晶成長層との界面である場合に、前記レーザー光 I として赤色レーザー光を用い、前記レーザー光 II として緑色レーザー光を用いたことを特徴とする請求項 1 に記載の顕微光応答法による結晶成長層の界面評価方法。

【請求項 3】

前記半導体結晶成長層の表面に電氣的に接続された第一の回路及び裏面に電氣的に接続された第二の回路と、前記第一の回路と前記第二の回路とを選択的に切り換える切換手段とを有する光電流測定手段を準備し、

前記表面にレーザー光を照射したときに前記第一の回路を流れる光電流値を測定した後、

前記切換手段によって前記第二の回路を選択し、

前記裏面にレーザー光を照射したときに前記第二の回路を流れる光電流値を測定すること、

を特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の顕微光応答法による結晶成長層の界面評価方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ショットキー電極と半導体結晶成長層との界面を顕微光応答法により評価する界面評価方法に関し、前記界面における異なる物理現象を評価できるように改良された顕微光応答法による結晶成長層の界面評価方法に関する。

【背景技術】

【0002】

本発明の発明者は、金属/半導体界面及び半導体/半導体界面を非破壊で評価する方法として、1989年に「顕微光応答法」(ケンビヒカリオウトウホウ)を提案した(非特許文献1~4参照)。

「顕微光応答法」とは、図6に示すように、例えば半導体110の表面に金属(ショットキー電極112)を形成した試料100において、金属(ショットキー電極112)と半導体110との界面113にバンドギャップ(E_g)以下のレーザー光Lを半導体110側から照射すると、内部光電子放出効果によって金属(ショットキー電極112)と半導体110の裏面の電極(オーミック電極115)との間に光電流が発生するという現象を利用したものである。

【0003】

「顕微光応答法」では、半導体110のバンドギャップ(禁制帯幅: E_g)よりも小さく、界面113の障壁高さ(q)よりも大きい条件($q < h < E_g$)を満たす光子エネルギー(h)のレーザー光Lを界面113に集光しながら照射し、発生する光電流の値を測定する。単位フォトン数当たりの光電流を光電子収率(Photoyield: Y)とす

10

20

30

40

50

ると、 Y は光子エネルギーに対してファウラーの式 ($Y = (h - q)^2$) を満足する。そして、レーザー光 L を試料 100 に対して $X - Y$ 方向に走査させることで得られる光電子収率 Y のばらつきから、界面 113 の不均一性が評価できる。また、 $X - Y$ 平面における前記のばらつきから、図 7 (a) に示すような光電流像を得ることができる。このようにして得られた顕微光応答法による光電流像は、実証のために得た図 7 (b) の顕微鏡像と高精度に一致している。

【0004】

さらに、光子エネルギー ($q < h < E_g$ の要件を満たす $h_1, h_2 \dots$) の異なる複数のレーザー光を照射して光電子収率 Y を測定し、図 8 に示すように光電子収率 Y の平方根をプロットしたものが光応答 (Photoresponce: PR) スペクトルである。そして、光子エネルギー $h_1, h_2 \dots$ ごとの複数のプロットを結ぶ直線と X 軸との交点を、界面の障壁高さ (eV) として得ることができる。

なお、半導体/半導体のヘテロ界面では、両半導体のバンドギャップ (E_{g1}, E_{g2}) に対し、 $E_{g1} < h < E_{g2}$ となる光子エネルギー h のレーザー光を用いることで、金属/半導体の界面と同様に評価を行うことができる。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献 1】T. Okumura, K. Shiojima, Jap. J. Appl. Phys., 28, L 1108 (1989).

【非特許文献 2】K. Shiojima, T. Okumura, Journal of Crystal Growth., 103, 234 (1990)

【非特許文献 3】M. Shingo, J. Liang, N. Shigekawa, M. Arai and K. Shiojima, SSDM 2015, Sept. 29, 2015, Sapporo Japan.

【非特許文献 4】宮崎周司「高分解能顕微光応答法によるショットキー接合の微視的評価及び積層電極の構造最適化」東京都立大学 1997年9月

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明はこのような利点を有する顕微光応答法の用途をさらに発展させることを目的としたもので、前記界面における異なる物理現象を評価できるように改良された顕微光応答法による結晶成長層の界面評価方法の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の評価方法は、顕微光応答法によって半導体結晶成長層の界面を評価する方法において、前記界面にレーザー光を照射することによって得られた光応答スペクトルから二以上の障壁高さ ($q_{B1} < q_{B2} < \dots$) が存在すると判断した場合に、各々の障壁高さ ($q_{B1}, q_{B2}, \dots, q_{Bn}, q_{Bn+1} \dots$) によって光電子収率 (Photoyield: Y) が変位する変位点 (h_s) を境として、前記変位点 (h_s) と基礎吸収の開始点 (h_b) との間 $h_s < h_1 < h_b$ となる光子エネルギー h_1 のレーザー光 I と、 $h_b < h_2 < h_p$ (h_p : 光電子収率 Y のピーク値) となる光子エネルギー h_2 のレーザー光 II とを前記界面に照射し、レーザー光 I, II のそれぞれを前記界面に対して相対的に $X - Y$ 方向に走査させながら、前記レーザー光 I, II のそれぞれについて前記界面における二次元的な光電子収率 Y の分布及び/又は光電流像を得る方法としてある。

【0008】

一例として、前記界面が Ni ショットキー電極と $3C-SiC$ 結晶成長層との界面である場合は、前記レーザー光 I として波長が $600\text{nm} \sim 700\text{nm}$ 程度の赤色レーザー光を用い、前記レーザー光 II として波長が $500\text{nm} \sim 550\text{nm}$ 程度の緑色レーザー光を用いるとよい。

10

20

30

40

50

この方法によれば、複数のレーザー光 I , I I によって得られる光電子収率 Y の分布及びこれから得られる光電流像から、同一の界面について、光電子収率 Y の変位点と基礎吸収との間及び基礎吸収と光電子収率 Y のピーク値との間の異なる物理現象を評価することが可能になる。

【 0 0 0 9 】

本発明においては、請求項 3 に記載するように、前記半導体結晶成長層の表面に電氣的に接続された第一の回路及び裏面に電氣的に接続された第二の回路と、前記第一の回路と前記第二の回路とを選択的に切り換える切換手段とを有する光電流測定手段を準備し、前記表面にレーザー光を照射したときに前記第一の回路を流れる光電流値を測定した後、前記切換手段によって前記第二の回路を選択し、

10

前記裏面にレーザー光を照射したときに前記第二の回路を流れる光電流値を測定するようにしてもよい。

このようにすれば、前記半導体結晶成長層の表面の光電流値を測定した後にただちに裏面の光電流値の測定を開始させることができる。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 1 0 】

以下、本発明の好適な実施形態を、図面を参照しながら詳細に説明する。

[試料]

図 1 は、この実施形態における試料の構成を説明する概略図である。

導電性半導体で形成された支持基板 1 1 の表面に導電性半導体を結晶成長させて半導体結晶成長層 1 0 を形成する。半導体結晶成長層 1 0 の表面にオーミック電極 1 5 a とショットキー電極 1 2 を形成し、支持基板 1 1 の裏面にオーミック電極 1 5 b を形成する。そして、半導体結晶成長層 1 0 とショットキー電極 1 2 との界面が第一の界面 1 3 として形成され、半導体結晶成長層 1 0 と支持基板 1 1 との界面が第二の界面 1 4 として形成されている。

20

【 0 0 1 1 】

[装置概要]

この実施形態における顕微光応答法のための光電流値の測定装置の概略を図 2 に示す。

測定装置は、オーミック電極 1 5 a とオーミック電極 1 5 b とを電氣的に接続する回路 I と、オーミック電極 1 5 a とショットキー電極 1 2 とを電氣的に接続する回路 II と、回路 I と回路 II との間に設けられたスイッチ 1 8 と、オーミック電極 1 5 a とスイッチ 1 8 との間に設けられた電流計 1 7 とを有する。

30

【 0 0 1 2 】

また、支持基板 1 1 側には、レーザー光を変調させることで光子エネルギーが異なる複数のレーザー光（この実施形態では第一のレーザー光 L 1 及び第二のレーザー光 L 2 ）を照射することのできる図示しないレーザー光照射装置と、レーザー光 L 1 , L 2 のそれぞれを第一の界面 1 3 及び第二の界面 1 4 に向けて集光するためのレンズ 2 0 が設けられている。また、前記レーザー光照射装置は、波長の異なる複数のレーザー光を照射することが可能なレーザー光源を備えている。

【 0 0 1 3 】

40

上記構成の測定装置では、図 2 (a) に示すように、スイッチ 1 8 をショットキー電極 1 2 側に切り換えて回路 I I を閉じ、焦点をショットキー電極 1 2 と半導体結晶成長層 1 0 との間の第一の界面 1 3 に合わせて第一のレーザー光 L 1 を照射する。第一のレーザー光 L 1 をレンズ 2 0 によって第一の界面 1 3 に集光させつつ、図示しない X - Y 移動テーブルによって試料 1 を X 方向と Y 方向に移動させながら第一の界面 1 3 を走査させ、電流計 1 7 によって光電流値を測定する。第一の界面 1 3 における障壁高さの不均一性を評価するには、変調によって光子エネルギーを異ならせた第一のレーザー光 L 1 を、第一の界面 1 3 の同一地点に照射して複数の光応答 (P R) スペクトルを得ればよい。

【 0 0 1 4 】

図 2 (b) に示すように、スイッチ 1 8 をオーミック電極 1 5 b 側に切り換え、焦点を

50

支持基板 1 1 と半導体結晶成長層 1 0 との間の第二の界面 1 4 に合わせて第二のレーザー光 L 2 を照射する。第二のレーザー光 L 2 をレンズ 2 0 によって第二の界面 1 4 に集光させつつ、図示しない移動テーブルによって試料 1 を X 方向と Y 方向に移動させながら第二の界面 1 4 を走査させる。電流値の変化から、半導体結晶成長層 1 0 の表裏両面（第一の界面 1 3 及び第二の界面 1 4 ）を、非破壊的に評価することができる。

【 0 0 1 5 】

この実施形態の試料 1 では、第一の界面 1 3 において図 3 に示すような P R スペクトルが得られた。この実施形態の光子エネルギーのピーク (h_p) は、支持基板 1 1 のバンドギャップ E_g に近いものであった。

図 3 の P R スペクトルにおける低エネルギー側領域（符号 A で示す領域）の拡大図を図 4 に示す。図 4 に示すように、低エネルギー側領域 A には光電流が急激に増加する点が二カ所に見られた。一つは、二つの異なる直線領域 (i), (ii) が重なることで急激に増加する変位点 (h_s) であり、一つは基礎吸収の開始点 (h_b) であると予測できる。

【 0 0 1 6 】

変位点 (h_s) の左側の領域では、複数の h のプロットとファウラーの式から一つの直線 (i) を得ることができ、この直線 (i) から障壁高さ q_{B1} を求めることができる。変位点 (h_s) の右側の領域では、得られた光電子収率 Y から直線 (i) の分を差し引く（例えば図 4 の例では $Y c^{1/2} - a = b$ ）ことで、二つ目の直線 (ii) を得ることができる。

このようにして得られた二つの障壁高さ q_{B1} 及び q_{B2} から、半導体結晶成長層 1 0 の第一の界面 1 3 は異なる面方位で形成されていると推測できる。

【 0 0 1 7 】

そして、 $q_{B2} < h_1 < h_s$ の条件を満たす光子エネルギー h_1 のレーザー光 I と、 $h_b < h_2 < h_p$ の条件を満たす光子エネルギー h_2 のレーザー光 II を第一の界面 1 3 に照射し、レーザー光 I, II のそれぞれを X - Y 方向に走査させることで、レーザー光 I, II のそれぞれにおける光電流像を得ることができる。これにより、照射するレーザー光 I, II の光子エネルギーに応じた異なる光電流像を得ることができる。

【 0 0 1 8 】

また、照射するレーザー光 I, II の光子エネルギーに応じた異なる光電子収率 Y の値の分布を得ることで、同一の界面（第一の界面 1 3）の異なる物理現象を評価することが可能になる。

以下に具体的な実施例を示す。

【 0 0 1 9 】

[実施例]

[試料 1]

11-20 方向に 0.7° のオフ角を持つ $p^+-4H-SiC$ 基板の上に、Al ドープ $\times 10^{15}$ の p 型 3C-SiC を厚さ $30 \mu m$ でエピタキシャル成長させた。3C-SiC の表面に Ti/Al/Ni オーミック電極を蒸着し、Ar 雰囲気中で 1000、5 分間のシンターを行った後、直径 1 mm の Ni (厚さ 20 nm) ショットキー電極を蒸着した。

【 0 0 2 0 】

[P R スペクトル]

この試料 1 の P R スペクトルは、図 3 におけるピーク値 h_p が支持基板 1 1 である $p^+-4H-SiC$ のバンドギャップ E_g ($3.26 eV$) に近い値であり、二つの障壁高さはそれぞれ $q_{B1} = 1.33 eV$ 及び $q_{B2} = 1.85 eV$ であった。二つの障壁高さが重なることで光電流が大きく増加する変位点の光子エネルギー h_s は $1.85 eV$ で、基礎吸収の開始によって光電流が急激に増加する変位点の光子エネルギー h_b は $2.2 eV$ であった。

【 0 0 2 1 】

[レーザー光の選択]

10

20

30

40

50

上記の試料1の第一の界面13に対して用いるレーザー光Iは、 $h\nu_s (1.85 \text{ eV}) < h\nu_1 < h\nu_b (2.2 \text{ eV})$ の範囲内であって、 $q_{B2} = 1.85 \text{ eV}$ に近い光子エネルギー $h\nu_1$ のものが好ましい。この実施例では、光子エネルギー $h\nu_1$ のレーザー光Iとして波長660nm ($h\nu_1 = 1.88 \text{ eV}$)の赤色レーザー光を用いた。

また、レーザー光IIは、 $h\nu_b (2.2 \text{ eV}) < h\nu_2 < h\nu_p (3.26 \text{ eV})$ の範囲内であって、 $h\nu_b$ に近い光子エネルギー $h\nu_2$ のものが好ましい。この実施例では、光子エネルギー $h\nu_2$ のレーザー光IIとして、波長516nm ($h\nu_3 = 2.4 \text{ eV}$)の緑色レーザー光を用いた。

【0022】

なお、比較用として、 $h\nu_b (2.2 \text{ eV}) < h\nu_3 < h\nu_p (3.26 \text{ eV})$ の条件を満たす別の波長450nm ($h\nu_3 = 2.76$)の青色レーザー光(レーザー光IIIも準備した)。

これらのレーザー光I, II, IIIを、p-3C-SiC(半導体結晶成長層10)とショットキー電極12との間の第一の界面13に集光・走査させて光電子収率Yの分布を測定し、それぞれのレーザー光I, II, IIIにおける界面の光電流像を得た。

【0023】

その結果を、図5に示す。

図5(a)は赤色レーザー光の照射によって得た光電流像で、検証のために得た同一界面の顕微鏡像(図5(d))と高精度に一致している。これは、3C-SiC表面の面方位の違いが反映されているものと思われる。また、赤色レーザー光を用いたときのY値の分布は、ドメイン境界において他の領域と比べて5~10倍増加した。このことから、ドメイン境界領域では低障壁層が形成されているものと予測できる。

【0024】

図5(b)は緑色レーザー光の照射によって得た光電流像で、ドメイン領域とドメイン境界とを示すコントラストが図5(a)のものとは逆になっている。また、緑色レーザー光を用いたときのY値の分布は、赤色レーザー光を用いたときと異なり、ドメイン境界でY値が約50%減少した。これは、ドメイン境界では多くの表面欠陥が存在し、基礎吸収によって発生した電子-正孔対が欠陥を介して再結合する確率が高いためと予測できる。図5(b)の光電流像は、界面近傍の欠陥濃度を反映しているものと思われる。

【0025】

図5(c)は青色レーザー光の照射によって得た光電流像で、緑色レーザー光と同様に、ドメイン領域とドメイン境界とを示すコントラストが図5(a)のものとは逆になっていると認められるものの、その光電流像は不鮮明であった。

このように本発明では、光子エネルギー $h\nu$ の異なる複数のレーザー光を用いて励起キャリアの種類を変えることで、同一の界面に対して異なる物理現象を評価することができる。

【0026】

本発明の好適な実施形態について説明したが、本発明は上記の説明に限定されるものではない。

例えば、波長の異なる複数のレーザー光を合波して同時照射できるレーザー光源を用いることで、単一色のレーザー光を切り替ながら照射する場合よりも照射時間を大幅に短縮することができる。

また、上記の説明では障壁高さが二つの場合を例に挙げて説明したが、本発明では三つ以上の障壁高さが存在する場合にも適用が可能である。

【図面の簡単な説明】

【0027】

【図1】この実施形態における試料及び装置の概略構成を説明する概略図である。

【図2】スイッチをショットキー電極側に切り換えた場合とオーミック電極に切り換えた場合を示す図である。

【図3】この実施形態におけるPRスペクトルを示すグラフである。

10

20

30

40

50

【図4】図3のPRスペクトルにおける低エネルギー側領域(符号Aで示す領域)の拡大図である。

【図5】(a)(b)(c)は、赤、緑、青のレーザー光を第一の界面に照射させて得られた顕微光応答法による実施例の光電流像であり、(d)は同一界面における検証のための顕微鏡像である。

【図6】顕微光応答法の原理を説明する図で、試料及び装置の概略構成を説明する図である。

【図7】図7(a)は、図6の試料及び装置を用いた顕微光応答法の光電流像を示す写真、図7(b)は実証のために得た顕微鏡像の写真である。

【図8】異なる光子エネルギーにおける光応答スペクトルのグラフである。

【符号の説明】

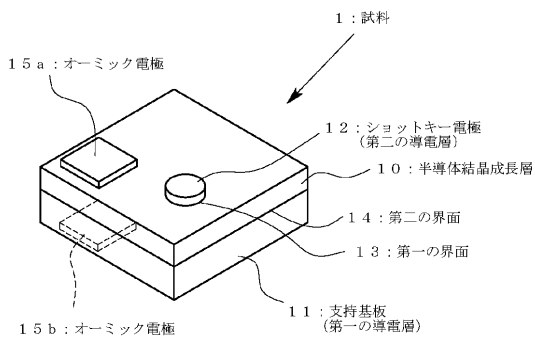
【0028】

- 1 試料
- 11 支持基板
- 12 ショットキー電極(第二の電極)
- 13 第一の界面
- 14 第二の界面
- 15a, 15b オーミック電極
- 17 電流計
- 18 スイッチ

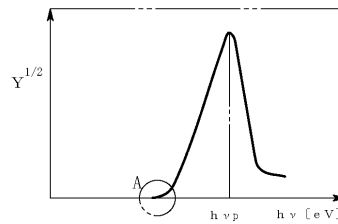
10

20

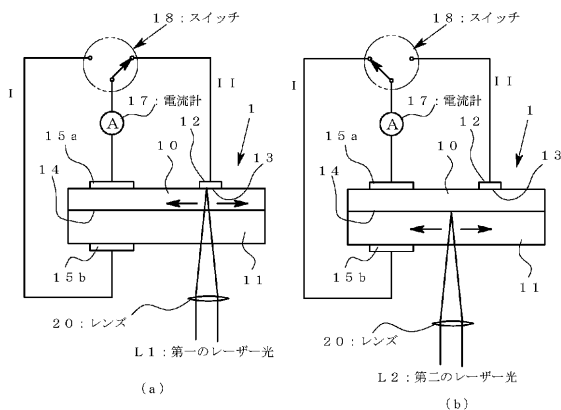
【図1】



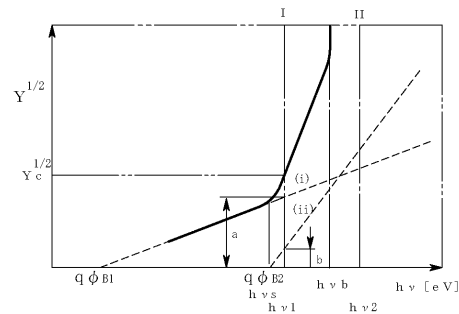
【図3】



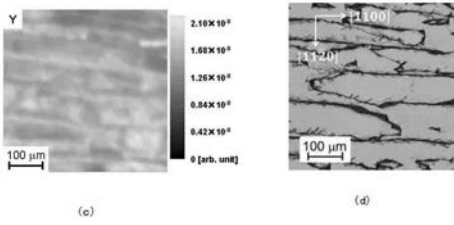
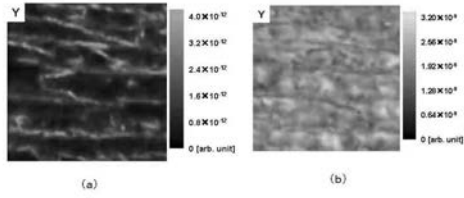
【図2】



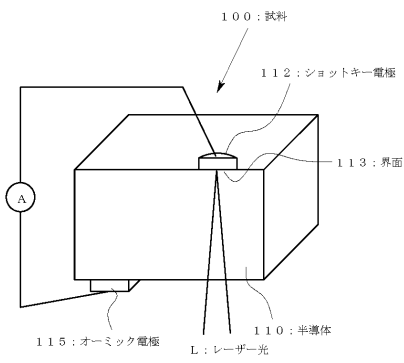
【図4】



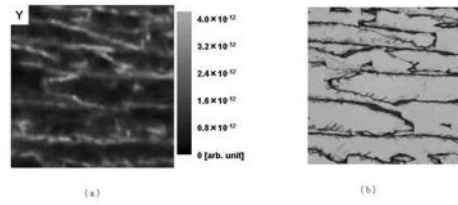
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】

