

(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2014-234324

(P2014-234324A)

(43) 公開日 平成26年12月15日(2014.12.15)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
C30B 29/38 (2006.01)	C30B 29/38 D	4G077
C30B 25/18 (2006.01)	C30B 25/18	4K030
C23C 16/34 (2006.01)	C23C 16/34	5F045
H01L 21/205 (2006.01)	H01L 21/205	5F141
H01L 33/22 (2010.01)	H01L 33/00 172	

審査請求 未請求 請求項の数 19 O L (全 39 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2013-116162 (P2013-116162)
 (22) 出願日 平成25年5月31日 (2013.5.31)

(71) 出願人 000241463
 豊田合成株式会社
 愛知県清須市春日長畑1番地
 (74) 代理人 100087723
 弁理士 藤谷 修
 (72) 発明者 奥野 浩司
 愛知県清須市春日長畑1番地 豊田合成株式会社内
 (72) 発明者 小塩 高英
 愛知県清須市春日長畑1番地 豊田合成株式会社内
 (72) 発明者 柴田 直樹
 愛知県清須市春日長畑1番地 豊田合成株式会社内

最終頁に続く

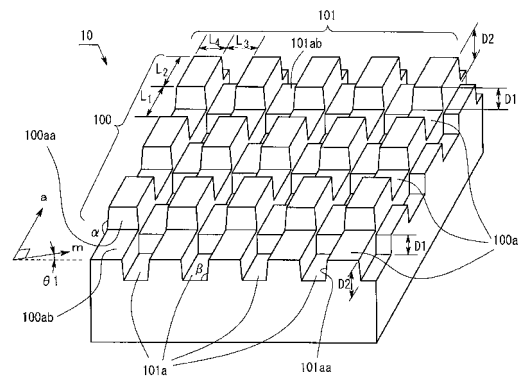
(54) 【発明の名称】 III族窒化物半導体の製造方法及びIII族窒化物半導体

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】貫通転位の少ない平坦なIII族窒化物半導体の製造方法を提供する。

【解決手段】基板の主面上において、第1方向に第1ストライプ構造100と、第2方向に第2ストライプ構造101とを形成する。第1ストライプ構造100の凹部の側面である第1加工側面100aaは、成長するIII族窒化物半導体の低指数面のうち、第1加工側面100aaに最も平行な面が、m面(10-10)となり、第1加工側面100aaの法線ベクトルを主面へ正射影した第1側面ベクトルと、成長する半導体のm面の法線ベクトルを主面へ正射影したm軸射影ベクトルとの成す第1角 θ_1 が 0.5° 以上、 6° 以下となるように形成されている。第2ストライプ構造101についても同様に、第2加工側面101aaに最も平行な面が、a面(11-20)となり、第2側面ベクトルとa軸射影ベクトルとの成す第2角が 0° 以上、 10° 以下となるように形成される。

【選択図】図12.A



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板の表面である主面に凹凸加工を施し、凸部の上面、凹部の底面から、III 族窒化物半導体を前記 III 族窒化物半導体の c 軸方向に成長させる III 族窒化物半導体の製造方法において、

前記凹凸加工は、

前記基板の前記主面上において、第 1 方向に平行にストライプ状に配列された複数の第 1 溝によって形成された第 1 ストライプ構造と、第 1 方向と交差する第 2 方向に平行にストライプ状に配列された複数の第 2 溝によって形成された第 2 ストライプ構造とを形成し、前記第 1 溝には前記第 2 溝の段差による段差が形成され、前記第 2 溝には前記第 1 溝の段差による段差が形成される加工であり、

10

前記第 1 ストライプ構造の前記凸部又は前記凹部の側面である第 1 加工側面は、

成長する前記 III 族窒化物半導体の低指数面のうち、前記第 1 加工側面に最も平行な面が、m 面 (10 - 10) となり、前記第 1 加工側面の法線ベクトルを前記主面へ正射影した射影ベクトルを第 1 側面ベクトルとすると、この第 1 側面ベクトルと、成長する前記 III 族窒化物半導体の m 面の法線ベクトルを前記主面へ正射影した m 軸射影ベクトルとの成す第 1 角が 0.5° 以上、6° 以下となるように

形成されており、

前記第 2 ストライプ構造の前記凸部又は前記凹部の側面である第 2 加工側面は、

成長する前記 III 族窒化物半導体の低指数面のうち、前記第 2 加工側面に最も平行な面が、a 面 (11 - 20) となり、前記第 2 加工側面の法線ベクトルを前記主面へ正射影した射影ベクトルを第 2 側面ベクトルとすると、この第 2 側面ベクトルと、成長する前記 III 族窒化物半導体の a 面の法線ベクトルを前記主面へ正射影した a 軸射影ベクトルとの成す第 2 角が 0° 以上、10° 以下となるように

20

形成されている

ことを特徴とする III 族窒化物半導体の製造方法。

【請求項 2】

前記基板は六方晶系結晶の基板であり、前記主面は六方晶系結晶の c 面 (0001) であり、

前記第 1 側面ベクトルと基板の六方晶系結晶の a 面 (11 - 20) の法線ベクトルを前記主面へ正射影した a 軸射影ベクトルとの成す第 1 角が 0.5° 以上、6° 以下であり、

30

前記第 2 側面ベクトルと基板の六方晶系結晶の m 面 (10 - 10) の法線ベクトルを前記主面へ正射影した m 軸射影ベクトルとの成す第 2 角が 0° 以上、10° 以下である

ことを特徴とする請求項 1 に記載の III 族窒化物半導体の製造方法。

【請求項 3】

前記基板は六方晶系結晶の基板であり、前記主面は六方晶系結晶の a 面 (11 - 20) であり、

前記第 1 側面ベクトルと基板の六方晶系結晶の c 面 (0001) の法線ベクトルを前記主面へ正射影した c 軸射影ベクトルとの成す第 1 角が 0.5° 以上、6° 以下であり、

前記第 2 側面ベクトルと基板の六方晶系結晶の m 面 (10 - 10) の法線ベクトルを前記主面へ正射影した m 軸射影ベクトルとの成す第 2 角が 0° 以上、10° 以下である

40

ことを特徴とする請求項 1 に記載の III 族窒化物半導体の製造方法。

【請求項 4】

前記基板の主面における少なくとも前記凹凸加工が施される部分は、III 族窒化物半導体から成る基板であり、

前記主面は、前記基板側の前記 III 族窒化物半導体の c 面 (0001) であり、

前記第 1 側面ベクトルと前記基板側の前記 III 族窒化物半導体の m 面 (10 - 10) の法線ベクトルを前記主面へ正射影した m 軸射影ベクトルとの成す第 1 角が 0.5° 以上、6° 以下であり、

前記第 2 側面ベクトルと前記基板側の前記 III 族窒化物半導体の a 面 (11 - 20) の

50

法線ベクトルを前記主面へ正射影した a 軸射影ベクトルとの成す第 2 角が 0° 以上、 10° 以下である

ことを特徴とする請求項 1 に記載の III 族窒化物半導体の製造方法。

【請求項 5】

前記基板はサファイア基板であることを特徴とする請求項 2 又は請求項 3 に記載の III 族窒化物半導体の製造方法。

【請求項 6】

前記基板の主面における少なくとも前記凹凸加工が施される部分は、炭化珪素 (SiC) から成る基板であり、

前記主面は、前記基板側の前記 III 族窒化物半導体の c 面 (0001) であり、

前記第 1 側面ベクトルと前記基板の前記炭化珪素 (SiC) の m 面 (10-10) の法線ベクトルを前記主面へ正射影した m 軸射影ベクトルとの成す第 1 角が 0.5° 以上、 6° 以下であり、

前記第 2 側面ベクトルと前記基板の前記炭化珪素 (SiC) の a 面 (11-20) の法線ベクトルを前記主面へ正射影した a 軸射影ベクトルとの成す第 2 角が 0° 以上、 10° 以下である

ことを特徴とする請求項 1 に記載の III 族窒化物半導体の製造方法。

【請求項 7】

前記基板の主面における少なくとも前記凹凸加工が施される部分は、シリコン (Si) から成る基板であり、

前記主面は、前記基板の前記シリコン (Si) の (111) 面であり、

前記第 1 側面ベクトルと前記基板の前記シリコン (Si) の (-1-12) 面の法線ベクトルを前記主面へ正射影した Si の [-1-12] 軸射影ベクトルとの成す第 1 角が 0.5° 以上、 6° 以下であり、

前記第 2 側面ベクトルと前記基板の前記シリコン (Si) の (1-10) 面の法線ベクトルを前記主面へ正射影した Si の [1-10] 軸射影ベクトルとの成す第 2 角が 0° 以上、 10° 以下である

ことを特徴とする請求項 1 に記載の III 族窒化物半導体の製造方法。

【請求項 8】

前記第 1 角は、 1° 以上、 2.5° 以下であることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 7 の何れか 1 項に記載の III 族窒化物半導体の製造方法。

【請求項 9】

前記第 1 溝の深さと前記第 2 溝の深さとは異なることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 8 の何れか 1 項に記載の III 族窒化物半導体の製造方法。

【請求項 10】

表面である主面に凹凸加工が施された基板を有し、凸部の上面、凹部の底面から、III 族窒化物半導体を前記 III 族窒化物半導体の c 軸方向に成長させた III 族窒化物半導体において、

前記基板の前記主面上において、第 1 方向に平行にストライプ状に配列された複数の第 1 溝によって形成された第 1 ストライプ構造と、第 1 方向と交差する第 2 方向に平行にストライプ状に配列された複数の第 2 溝によって形成された第 2 ストライプ構造とから成り、前記第 1 溝には前記第 2 溝の段差による段差が形成され、前記第 2 溝には前記第 1 溝の段差による段差が形成された凹凸構造を有し、

前記第 1 ストライプ構造の前記凸部又は前記凹部の側面である第 1 加工側面の結晶方位は、

成長する前記 III 族窒化物半導体の低指数面のうち、前記第 1 加工側面に最も平行な面が、m 面 (10-10) となり、前記第 1 加工側面の法線ベクトルを前記主面へ正射影した射影ベクトルを第 1 側面ベクトルとするとき、この第 1 側面ベクトルと、成長する前記 III 族窒化物半導体の m 面の法線ベクトルを前記主面へ正射影した m 軸射影ベクトルとの成す第 1 角が 0.5° 以上、 6° 以下となるよう結晶方位であり、

10

20

30

40

50

前記第 2 ストライプ構造の前記凸部又は前記凹部の側面である第 2 加工側面の結晶方位は、

成長する前記 III 族窒化物半導体の低指数面のうち、前記第 2 加工側面に最も平行な面が、 a 面 (1 1 - 2 0) となり、前記第 2 加工側面の法線ベクトルを前記主面へ正射影した射影ベクトルを第 2 側面ベクトルとすると、この第 2 側面ベクトルと、成長する前記 III 族窒化物半導体の a 面の法線ベクトルを前記主面へ正射影した a 軸射影ベクトルとの成す第 2 角が 0° 以上、 10° 以下となるような結晶方位である

ことを特徴とする III 族窒化物半導体。

【請求項 1 1】

前記基板は六方晶系結晶の基板であり、前記主面は六方晶系結晶の c 面 (0 0 0 1) であり、

10

前記第 1 側面ベクトルと基板の六方晶系結晶の a 面 (1 1 - 2 0) の法線ベクトルを前記主面へ正射影した a 軸射影ベクトルとの成す第 1 角が 0.5° 以上、 6° 以下であり、

前記第 2 側面ベクトルと基板の六方晶系結晶の m 面 (1 0 - 1 0) の法線ベクトルを前記主面へ正射影した m 軸射影ベクトルとの成す第 2 角が 0° 以上、 10° 以下である

ことを特徴とする請求項 1 0 に記載の III 族窒化物半導体。

【請求項 1 2】

前記基板は六方晶系結晶の基板であり、前記主面は六方晶系結晶の a 面 (1 1 - 2 0) であり、

前記第 1 側面ベクトルと基板の六方晶系結晶の c 面 (0 0 0 1) の法線ベクトルを前記主面へ正射影した c 軸射影ベクトルとの成す第 1 角が 0.5° 以上、 6° 以下であり、

20

前記第 2 側面ベクトルと基板の六方晶系結晶の m 面 (1 0 - 1 0) の法線ベクトルを前記主面へ正射影した m 軸射影ベクトルとの成す第 2 角が 0° 以上、 10° 以下である

ことを特徴とする請求項 1 0 に記載の III 族窒化物半導体。

【請求項 1 3】

前記基板の主面における少なくとも前記凹凸加工が施される部分は、III 族窒化物半導体から成る基板であり、

前記主面は、前記基板側の前記 III 族窒化物半導体の c 面 (0 0 0 1) であり、

前記第 1 側面ベクトルと前記基板側の前記 III 族窒化物半導体の m 面 (1 0 - 1 0) の法線ベクトルを前記主面へ正射影した m 軸射影ベクトルとの成す第 1 角が 0.5° 以上、 6° 以下であり、

30

前記第 2 側面ベクトルと前記基板側の前記 III 族窒化物半導体の a 面 (1 1 - 2 0) の法線ベクトルを前記主面へ正射影した a 軸射影ベクトルとの成す第 2 角が 0° 以上、 10° 以下である

ことを特徴とする請求項 1 0 に記載の III 族窒化物半導体。

【請求項 1 4】

前記基板はサファイア基板であることを特徴とする請求項 1 1 又は請求項 1 2 に記載の III 族窒化物半導体。

【請求項 1 5】

前記基板の主面における少なくとも前記凹凸加工が施される部分は、炭化珪素 (S i C) から成る基板であり、

40

前記主面は、前記基板の前記炭化珪素 (S i C) の c 面 (0 0 0 1) であり、

前記第 1 側面ベクトルと前記基板の前記炭化珪素 (S i C) の m 面 (1 0 - 1 0) の法線ベクトルを前記主面へ正射影した m 軸射影ベクトルとの成す第 1 角が 0.5° 以上、 6° 以下であり、

前記第 2 側面ベクトルと前記基板の前記炭化珪素 (S i C) の a 面 (1 1 - 2 0) の法線ベクトルを前記主面へ正射影した a 軸射影ベクトルとの成す第 2 角が 0° 以上、 10° 以下である

ことを特徴とする請求項 1 0 に記載の III 族窒化物半導体。

【請求項 1 6】

50

前記基板の主面における少なくとも前記凹凸加工が施される部分は、シリコン (S i) から成る基板であり、

前記主面は、前記基板の前記シリコン (S i) の (1 1 1) 面であり、

前記第 1 側面ベクトルと前記基板の前記シリコン (S i) の (- 1 - 1 2) 面の法線ベクトルを前記主面へ正射影した S i の [- 1 - 1 2] 軸射影ベクトルとの成す第 1 角が 0 . 5 ° 以上、 6 ° 以下であり、

前記第 2 側面ベクトルと前記基板の前記シリコン (S i) の (1 - 1 0) 面の法線ベクトルを前記主面へ正射影した S i の [1 - 1 0] 軸射影ベクトルとの成す第 2 角が 0 ° 以上、 1 0 ° 以下である

ことを特徴とする請求項 1 0 に記載の III 族窒化物半導体。

10

【請求項 1 7】

前記第 1 角は、 1 ° 以上、 2 . 5 ° 以下であることを特徴とする請求項 1 0 乃至請求項 1 6 の何れか 1 項に記載の III 族窒化物半導体。

【請求項 1 8】

前記第 1 溝の深さと前記第 2 溝の深さとは異なることを特徴とする請求項 1 0 乃至請求項 1 7 の何れか 1 項に記載の III 族窒化物半導体。

【請求項 1 9】

請求項 1 0 乃至請求項 1 8 の何れか 1 項に記載の III 族窒化物半導体を有することを特徴とする発光素子。

【発明の詳細な説明】

20

【技術分野】

【 0 0 0 1】

本発明は、凹凸加工が施された基板の上に、 III 族窒化物半導体を結晶成長させる方法及び III 族窒化物半導体に関する。

【背景技術】

【 0 0 0 2】

サファイア基板の上に III 族窒化物半導体を結晶成長させて III 族窒化物半導体発光素子を作製する場合、光取り出し効率を向上させるために、サファイア基板の III 族窒化物半導体の成長面に凹凸加工を施す技術が開発されている (たとえば特許文献 1、2)。

【 0 0 0 3】

特許文献 3 においては、サファイア基板にストライプの凹凸加工を施し、凸部の上部から G a N を縦方向に成長させ、さらに、横方向に成長させて、貫通転位密度の低い G a N 半導体を得ることが開示されている。

30

【 0 0 0 4】

しかし、これらの方法により、凹凸加工が施されたサファイア基板の面上に、 III 族窒化物半導体を成長させた場合、凹部又は凸部の側面付近にポイドが生じるなどして III 族窒化物半導体の結晶性、平坦性が悪化してしまうという問題がある。そこで、特許文献 4 では、凹凸形状における凹部又は凸部の平面視における構成辺が、サファイア基板の a 面に対して交差するようにしている。このように凹部又は凸部を形成すると、サファイア基板の凸部上面と、凹部底面から G a N が成長し、凹部又は凸部の側面からは G a N が成長しにくくなる。そして成長が進んで結晶同士が合体し始め、ポイドのない結晶性に優れ、平坦性の高い G a N が得られる。一方、構成辺をサファイア基板の a 面と平行にすると、凹部又は凸部からの成長した G a N の横方向の成長が遅いため、凹部又は凸部の側面付近が埋まりにくく、 G a N の表面平坦性が悪化してしまう。

40

【 0 0 0 5】

また、特許文献 5 では、 a 面又は c 面を主面とするサファイア基板において、凸部の全ての側面が III 族窒化物半導体の結晶成長を阻害する面とすることが開示されている。また、凸部を六角柱とした時に、平面上の六角形の各辺を m 軸方向に対して 1 5 ° 傾斜させることが開示されている。

【 0 0 0 6】

50

また、凹凸が1軸方向のストライプ構造であると、このストライプ方向に進行する光は散乱されないので、外部量子効率、十分には向上しない。そこで、特許文献6には、第1軸方向に第1ストライプ構造を形成して、さらに、それと直交する第2軸方向にその第1ストライプ構造をエッチングして、第2ストライプ構造を第1ストライプ構造上に重畳させることで、4段階の段差を形成することが開示されている。これにより、第1ストライプ構造に平行に進行する光は第2ストライプ構造により散乱させて、外部量子効率を向上させることができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2004-200523

【特許文献2】特開2005-101566

【特許文献3】特表2003-526907

【特許文献4】特開2003-318441

【特許文献5】特開2011-77265

【特許文献6】特開2010-261166

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

ところが、特許文献6のように、格子状構造の凹凸加工面にIII族窒化物半導体を成長させると、第1ストライプ構造の側面と第2ストライプ構造の側面における結晶方位が異なるために、III族窒化物半導体の成長は複雑な成長モードとなり、貫通転位が局所的に集中するという問題がある。このため、内部量子効率が低下したり、素子の歩留りが低下するという問題がある。

【0009】

本発明は、第1軸方向に第1ストライプ構造を形成して、さらに、それと交差する第2軸方向に第1ストライプ構造をエッチングして、第2ストライプ構造を重畳させた凹凸構造であっても、貫通転位が集中しない結晶品質の良好なIII族窒化物半導体を製造する方法及び基板の凹凸構造を有した結晶品質な半導体を得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

第1の発明は、基板の表面である主面に凹凸加工を施し、凸部の上面、凹部の底面から、III族窒化物半導体をIII族窒化物半導体のc軸方向に成長させるIII族窒化物半導体の製造方法において、凹凸加工は、基板の主面上において、第1方向に平行にストライプ状に配列された複数の第1溝によって形成された第1ストライプ構造と、第1方向と交差する第2方向に平行にストライプ状に配列された複数の第2溝によって形成された第2ストライプ構造とを形成し、第1溝には第2溝の段差による段差が形成され、第2溝には第1溝の段差による段差が形成される加工であり、第1ストライプ構造の凸部又は凹部の側面である第1加工側面は、成長するIII族窒化物半導体の低指数面のうち、第1加工側面に最も平行な面が、m面(10-10)となり、第1加工側面の法線ベクトルを主面へ正射影した射影ベクトルを第1側面ベクトルとするとき、この第1側面ベクトルと、成長するIII族窒化物半導体のm面の法線ベクトルを主面へ正射影したm軸射影ベクトルとの成す第1角が0.5°以上、6°以下となるように形成されており、第2ストライプ構造の凸部又は凹部の側面である第2加工側面は、成長するIII族窒化物半導体の低指数面のうち、第2加工側面に最も平行な面が、a面(11-20)となり、第2加工側面の法線ベクトルを主面へ正射影した射影ベクトルを第2側面ベクトルとするとき、この第2側面ベクトルと、成長するIII族窒化物半導体のa面の法線ベクトルを主面へ正射影したa軸射影ベクトルとの成す第2角が0°以上、10°以下となるように形成されていることを特徴とするIII族窒化物半導体の製造方法である。

【0011】

10

20

30

40

50

上記の第1角及び第2角は、2つのベクトルが交差してできる交角のうち小さい方の90°以下の範囲の角として定義する。第1ストライプ構造と第2ストライプ構造との形成順序は任意である。凸部と第1溝部とを有する第1ストライプ構造を形成した後に、その構造に対して、さらに、凸部と第2溝部とを有する第2ストライプ構造を重畳させて形成させても良い。また、逆に、凸部と第2溝部とを有する第2ストライプ構造を形成した後に、その構造に対して、さらに、凸部と第1溝部とを有する第1ストライプ構造を重畳させて形成させても良い。何れの形成順序であっても、第1溝には第2溝の段差による段差が形成され、第2溝には第1溝の段差による段差が形成される。段差は、第1ストライプ構造と、第2ストライプ構造とのそれぞれの形成において、残される部分とエッチングにより除去された部分との間の段差のことである。基板の材料は、凸部の上面、凹部の底面からIII族窒化物半導体がIII族窒化物半導体のc軸方向に成長するものであれば、任意の結晶構造の材料を用いることができる。例えば、基板には、サファイア、SiC、Si、ZnO、GaNなどのIII族窒化物半導体基板、AlN基板やその他の基板上にGaNなどのIII族窒化物半導体のエピタキシャル成長層が形成されたテンプレート基板などを用いることができる。テンプレート基板を用いる場合には、凹凸加工は、エピタキシャル成長層だけに形成されていても、エピタキシャル成長層から基板に及んでも良い。周期的配列の第1ストライプ構造と周期的配列の第2ストライプ構造とは、基板のエッチングにより形成され、凸部（ポスト）と凹部（溝）とを有する。第2ストライプ構造又は第1ストライプ構造は、第1ストライプ構造又は第2ストライプ構造に対して、主面上への射影が交差する方向に、ストライプ状にエッチングして第2溝又は第1溝を、それぞれ、形成することで形成される。したがって、凹凸の段差は、3段、又は4段に構成される。第1ストライプ構造の第1溝の深さと第2ストライプ構造の第2溝の深さが等しい場合には、段差は3段となり、それらの深さが異なる場合には、段差は4段となる。

10

20

30

40

50

【0012】

凸部又は凹部の第1加工側面及び第2加工側面（以下、第1、第2を区別する必要がない場合には、単に、加工側面という）は、基板の主面に垂直でも良いが、エッチング加工により生じる傾斜や、意図的な傾斜が存在していても良い。また、一つの加工側面は、法線ベクトルの異なる複数の平面が高さ方向に配設された屈曲平面で構成されていても良い。また、加工側面は、高さ方向に平行な断面の外形が円弧、楕円、放物線、その他の任意曲線である曲面で構成されていても良い。さらに、一つの平面と見做しうる加工側面は、基板の主面に平行な方向に沿って、必ずしも直線である必要はない。一つの平面状の加工側面に対して、曲線であっても、屈折直線であっても良い。

【0013】

本件発明では、凸部の加工側面が主面に対して垂直でない場合を考慮して、第1加工側面、第2加工側面の法線ベクトルの主面への正射影である射影ベクトルを、それぞれ、第1側面ベクトル、第2側面ベクトルとして定義している。すなわち、加工側面の主面に垂直な面からの傾斜角は、本願発明の角度には含まれない。また、凸部の上面と凹部の底面から主面に垂直方向に成長するIII族窒化物半導体のc軸は、主面に垂直であることを基本としているが、多少傾斜していても良い。成長するIII族窒化物半導体の第1加工側面に平行な側面には、第1方向に沿って、m面又はm面から傾斜した面（10 - 1x）（xは整数）をテラス、a面又はa面から傾斜した面（11 - 2y）（yは整数）をステップとする面が表れる。また、第2加工側面が成長するIII族窒化物半導体のa面と平行でない（第2角が0°でない）場合には、成長するIII族窒化物半導体の第2加工側面に平行な側面には、a面をテラス、m面をステップとする面が表れる。III族窒化物半導体のm面（10 - 10）とa面（11 - 20）との成す角は90°、又は、30°（150°）であり、m軸方向の成長は遅く、a軸方向の成長は速い。また、一つの平面状の加工側面が単一平面でない場合には、一つの加工側面における法線ベクトルは、法線ベクトルの平均とする。すなわち、法線ベクトルの面積積分の平均を、一つの側面における法線ベクトルと定義する。

【0014】

本発明では、第1加工側面の法線ベクトルの主面へ正射影である第1側面ベクトルと、成長するIII族窒化物半導体のm面の法線ベクトルの主面への正射影であるm軸射影ベクトルとの成す第1角が 0.5° 以上、 6° 以下の範囲となるように加工側面の方位を決定することが第1の特徴である。また、第2加工側面の法線ベクトルの主面への正射影である第2側面ベクトルと、成長するIII族窒化物半導体のa面の法線ベクトルの主面へ正射影であるa軸射影ベクトルとの成す第2角が 0° 以上、 10° 以下となるようにしたことが第2の特徴である。

【0015】

凸部の上面及び凹部の底面から基板の主面に垂直にc軸成長するIII族窒化物半導体の側面がm面である時には、III族窒化物半導体は断面が三角形のファセット成長をする。ファセット成長により貫通転位が横方向に曲げられて、成長した半導体層の上面に表れる貫通転位は低減する。しかしながら、主面に平行な方向にも成長しないと、ファセット間の空隙をIII族窒化物半導体で埋めることができない。

10

【0016】

そのため、本発明では、成長するIII族窒化物半導体における、第1加工側面の第1側面ベクトルに垂直な面（主面に垂直な面）は、m面から基板に垂直な軸の回りに、 0.5° 以上、 6° 以下の範囲で回転している。III族窒化物半導体の側面（主面に垂直として）は、c軸が主面に完全に垂直であれば、m面をc軸の回りに、 0.5° 以上、 6° 以下の範囲で回転させた面となる。ただし、回転方向は、正負（左回り、右回り）の何れの方角であっても等価である。したがって、成長するIII族窒化物半導体のa面（m面に垂直且つc軸に平行）の法線ベクトルの主面へのa軸射影ベクトルは、第1側面ベクトル方向の成分を有することになる。この結果、成長するIII族窒化物半導体は、第1加工側面に垂直であって主面に平行な方向にも成長することになる。したがって、c軸方向の縦方向成長に、主面に平行な横方向成長が加わり、凹凸加工による段差を埋めることが、縦方向の成長条件を変更することなく可能となる。

20

【0017】

また、第2加工側面については、第2側面ベクトルと、成長するIII族窒化物半導体のa軸射影ベクトルとの成す第2角が 0° 以上、 10° 以下となる。第2側面ベクトルに垂直な、III族窒化物半導体の側面（主面に垂直として）は、c軸が主面に完全に垂直であれば、a面をc軸の回りに、 0° 以上、 10° 以下の範囲で回転させた面となる。ただし、回転方向は、正負（左回り、右回り）の何れの方角であっても等価である。したがって、成長するIII族窒化物半導体のa面（m面に垂直且つc軸に平行）の法線ベクトルの主面への正射影であるa軸射影ベクトルは、第2側面ベクトル方向に大きな成分を有することになる。この結果、成長するIII族窒化物半導体は、第2加工側面に垂直であって主面に平行な方向にも成長することになる。したがって、c軸方向の縦方向成長に、主面に平行な横方向成長が大きく加わり、交差した第1ストライプ構造と第2ストライプ構造との凹凸加工による段差を埋めることが、縦方向の成長条件を変更することなく可能となる。

30

【0018】

なお、上記の第1角 1の角度範囲 0.5° 以上、 6° 以下、第2角 2の角度範囲 0° 以上、 10° 以下は、正負（左回り、右回り）の何れの回転方向にとっても良く、したがって、絶対値で定義されている。よって、回転方向による符号も含めて、第1角の -6° 以上、 -0.5° 以下の範囲に対して、第2角の -10° 以上、 10° 以下の範囲を対応させることができる。また、第1角の 0.5° 以上、 6° 以下の範囲に対して、第2角の -10° 以上、 10° 以下の範囲を対応させることができる。したがって、直交関係にあるm面とa面に対しては、第1側面ベクトルと第2側面ベクトルとの交角（小さい方の角度）は、 74° 以上、 90° の範囲となる。また、m面とa面との成す角は 30° （ 150° ）の場合もある。この場合には、第1側面ベクトルと第2側面ベクトルとの交角（小さい方の角度）は、 14° 以上、 46° 以下の範囲となる。

40

【0019】

50

このような成長方法によると、凸部と凹部の境界付近に貫通転位が高密度で集中することが抑制されて、成長する半導体層の最上面における貫通転位密度を均一にすることができる。本発明は、このような思想に基づくものである。

【0020】

上記発明において、基板を六方晶系結晶の基板とした場合には、次の具体例が考えられる。基板の主面は六方晶系結晶のc面であり、第1加工側面の第1側面ベクトルと基板の六方晶系結晶のa面(11-20)の法線ベクトルを主面へ正射影したa軸射影ベクトルとの成す第1角が0.5°以上、6°以下とすることができる。また、第2加工側面の第2側面ベクトルと基板の六方晶系結晶のm面(10-10)の法線ベクトルを主面へ正射影したm軸射影ベクトルとの成す第2角が0°以上、10°以下とすることができる。

10

【0021】

この場合には、基板の六方晶系結晶のa面、m面と、成長するIII族窒化物半導体のm面、a面とが、それぞれ、平行となるので、第1加工側面の第1側面ベクトルと、成長するIII族窒化物半導体のm面の法線ベクトルの主面へのm軸射影ベクトルとの成す角を0.5°以上、6°以下、第2加工側面の第2側面ベクトルと、成長するIII族窒化物半導体のa面の法線ベクトルの主面へのa軸射影ベクトルとの成す角を0°以上、10°以下とすることができる。

【0022】

すなわち、第1加工側面の第1側面ベクトルに垂直なIII族窒化物半導体の面は、III族窒化物半導体のm面をc軸の回りに、0.5°以上、6°以下の範囲で回転させた面となる。また、第2加工側面の第2側面ベクトルに垂直なIII族窒化物半導体の面は、III族窒化物半導体のa面をc軸の回りに、0°以上、10°以下の範囲で回転させた面となる。ただし、それぞれの回転方向は、正負(左回り、右回り)の何れの方角であっても良い。基板の結晶方位と成長するIII族窒化物半導体の結晶方位との間のこのような関係は、III族窒化物半導体と格子定数が異なる六方晶系結晶の基板において成立する。このような六方晶系結晶の基板の典型例は、サファイア基板である。また、SiC基板、ZnO基板の場合には、六方晶系結晶であるが、III族窒化物半導体基板上にIII族窒化物半導体を成長させた場合と同様に、基板の結晶方位と成長するIII族窒化物半導体の結晶方位は一致する。

20

【0023】

また、基板の主面は六方晶系結晶のa面であり、第1側面ベクトルと基板の六方晶系結晶のc面(0001)の法線ベクトルを主面へ正射影したc軸射影ベクトルとの成す第1角が0.5°以上、6°以下、第2側面ベクトルと基板の六方晶系結晶のm面(10-10)の法線ベクトルを主面へ正射影したm軸射影ベクトルとの成す第2角が0°以上、10°以下とすることができる。

30

【0024】

この場合には、基板の六方晶系結晶のm面とIII族窒化物半導体のa面とが平行となるので、基板の六方晶系結晶のc面とIII族窒化物半導体のm面とが平行となる。したがって、第1加工側面の第1側面ベクトルと、成長するIII族窒化物半導体のm面の法線ベクトルの主面へのm軸射影ベクトルとの成す第1角を0.5°以上、6°以下、第2側面ベクトルと、成長するIII族窒化物半導体のa面の法線ベクトルを主面へ正射影したa軸射影ベクトルとの成す第2角を0°以上、10°以下とすることができる。

40

【0025】

すなわち、第1側面ベクトルに垂直なIII族窒化物半導体の面は、III族窒化物半導体のm面を、c軸の回りに、0.5°以上、6°以下の範囲で回転させた面とすることができる。また、第2側面ベクトルに垂直なIII族窒化物半導体面は、III族窒化物半導体面のa面を、c軸の回りに、0°以上、10°以下の範囲で、回転させた面とすることができる。ただし、m面、a面のそれぞれの面の回転方向は、正負(左回り、右回り)の何れの方角も含む。基板の結晶方位と成長するIII族窒化物半導体の結晶方位との間のこのような関係は、III族窒化物半導体と格子定数が異なる六方晶系結晶の基板において成立す

50

る。このような六方晶系結晶の基板の典型例は、サファイア基板である。また、SiC基板、ZnO基板もこの関係を満たす。

【0026】

また、基板の主面における少なくとも凹凸加工が施される部分を、III族窒化物半導体又は炭化珪素(SiC)とした基板を用いることも可能である。すなわち、III族窒化物半導体から成る基板又は炭化珪素(SiC)から成る基板の表面に凹凸加工を施した場合や、基板上にIII族窒化物半導体層が形成されたテンプレート基板において、III族窒化物半導体層に凹凸加工を施す場合には、次のようになる。基板の主面をIII族窒化物半導体又は炭化珪素(SiC)のc面とした場合に、凸部の上面、凹部の底面から、III族窒化物半導体がc軸方向に成長する。そして、基板のIII族窒化物半導体又は炭化珪素(SiC)のm面、a面と、成長するIII族窒化物半導体m面、a面とは、それぞれ、平行である(一致する)。したがって、第1加工側面の第1側面ベクトルと、基板のIII族窒化物半導体のm面の法線ベクトルを主面に正射影したm射影ベクトルとの成す第1角を 0.5° 以上、 6° 以下、第2加工側面の第2側面ベクトルと、基板のIII族窒化物半導体のa面の法線ベクトルを主面に正射影したa射影ベクトルとの成す第2角を 0° 以上、 10° 以下としても良い。

10

【0027】

また、六方晶のSiを基板に用いた場合には、基板の主面をシリコン(Si)の(111)面とすることができる。この場合には、シリコン(Si)の(111)面とIII族窒化物半導体のc面(0001)面が平行となる。第1側面ベクトルと基板のシリコン(Si)の(-1-12)面の法線ベクトルを主面へ正射影したSiの[-1-12]軸射影ベクトルとの成す第1角が 0.5° 以上、 6° 以下とする。第2側面ベクトルと基板の前記シリコン(Si)の(1-10)面の法線ベクトルを主面へ正射影したSiの[1-10]軸射影ベクトルとの成す第2角が 0° 以上、 10° 以下とする。この場合には、Siの(-1-12)面と成長するIII族窒化物半導体のm面(10-10)とが平行となり、Siの(1-10)面と成長するIII族窒化物半導体のa面(11-20)とが平行となるので、III族窒化物半導体のm軸方向とa軸方向との結晶成長速度の差を利用して、貫通転位密度が低く、且つ、平坦な結晶を得ることができる。

20

【0028】

また、上記の発明において、第1角は、 0.5° 以上、 6° 以下の範囲の他、 1° 以上、 5° 以下の範囲、さらに、望ましくは、 1° 以上、 2.5° 以下の範囲である。また、第2角は、 0° 以上、 10° 以下であるが、 0° が横方向成長の速度が最も速くなるので、最も望ましい。第2ストライプ構造の向きがa軸から 10° を越えて回転すると、横方向成長速度が低下するので望ましくない。また、上記発明において、凹凸加工の施された基板上にパuffa層を形成し、パuffa層の形成の後に、III族窒化物半導体を成長させることを望ましい。また、パuffa層は、スパッタ法により形成することが望ましい。その他、パuffa層は、MBE(分子線エピタキシー法)、PLD(パルスレーザー堆積法、レーザアブレーション法)を用いて形成しても良い。また、上記発明に係るIII族窒化物半導体は、発光素子に用いることができる。貫通転位が成長した半導体層の上面において、均一様に形成されるために、発光素子の特性が均一化される。また、製造の歩留りが向上する。上記の全発明において、III族窒化物半導体とは、一般式 $Al_xGa_yIn_zN$ ($x+y+z=1$ 、 $0 \leq x, y, z \leq 1$)で表される半導体であり、Al、Ga、Inの一部を他の第13族元素(第3B族元素)であるBやTlで置換したもの、Nの一部を他の第15族元素(第5B族元素)であるP、As、Sb、Biで置換したものをも含むものとする。より一般的には、Gaを少なくとも含むGaN、InGaN、AlGaInN、AlGaInNを示す。n型不純物としてはSi、p型不純物としてはMgが通常用いられる。

30

40

【発明の効果】

【0029】

第1の発明によれば、主面に凹凸加工が施された基板上の凸部の上面、凹部の底面から

50

、III族窒化物半導体をc軸方向に縦方向成長させる時に、成長するIII族窒化物半導体のa面の法線ベクトルは、第1加工側面に垂直で且つ主面に平行な成分を有するようになる。したがって、m軸方向よりはa軸方向の方が結晶成長速度が速いために、III族窒化物半導体は、基板の主面に平行な方向にも成長することになる。また、成長するIII族窒化物半導体のa面の法線ベクトルは、第2加工側面に垂直な方向には、大きな成分を有することになる。また、III族窒化物半導体は、成長初期において、m面の傾斜した面で構成される三角形のファセット成長が支配的となる。このため、第1ストライプ構造の第1方向に平行なストライプ状のIII族窒化物半導体のファセットが形成される。この結果、縦方向の成長条件だけで、III族窒化物半導体を主面に垂直な方向にファセット成長させた場合においても、横方向にも成長するので、ファセット面間を埋めることができる。また、第2ストライプ構造については、第2加工側面が、III族窒化物半導体のa面に平行又はa面に近い面となるので、第2加工側面に垂直な方向には、III族窒化物半導体の成長は速い。これらの結果、ファセット成長により貫通転位が曲げられて、成長した半導体層の上面における貫通転位密度を低減できると共にa軸方向の横方向成長が加わり、ファセット成長によって生じる段差を効果的に埋めることができる。したがって、外部量子効率を向上させるために、第1ストライプ構造と第2ストライプ構造とを有する格子状段差構造を基板に形成した場合においても、凸部又は凹部の境界付近、特に、第1ストライプ構造と第2ストライプ構造との交点付近において、貫通転位が高密度で集中することもなく、半導体の平坦な面と、その面上において均一様な貫通転位密度を得ることができる。

10

20

【図面の簡単な説明】

【0030】

【図1】実施例1におけるc面サファイア基板の主面上において、ストライプの方向を順次連続して変更した凸部と凹部を形成してGaNを成長させる方法において、加工側面とストライプの方向との関係を示す説明図。

【図2】実施例2におけるa面サファイア基板の主面上において、ストライプの方向を順次連続して変更した凸部と凹部を形成してGaNを成長させる方法において、加工側面とストライプの方向との関係を示す説明図。

【図3・A】実施例1におけるストライプの方向と試料との関係を示した説明図。

【図3・B】実施例2におけるストライプの方向と試料との関係を示した説明図。

30

【図4】実施例1、2の製造方法によるGaNの成長初期における断面のSEM画像。

【図5】実施例1、2の製造方法によるGaNの厚膜形成時における断面のSEM画像。

【図6】実施例1の製造方法による成長原理を示した説明図。

【図7】実施例1の製造方法により成長させたGaNの表面のSEM画像。

【図8】実施例1の製造方法により成長させたGaNの貫通転位密度と凸部のストライプの方向との関係を示した測定図。

【図9・A】実施例1の製造方法により成長させたGaNの表面の陰極線ルミネセンス画像。

【図9・B】実施例1の製造方法により成長させたGaNの表面の陰極線ルミネセンス画像及び表面のAFM画像。

40

【図9・C】実施例1の製造方法により成長させたGaNの表面のSEM画像。

【図10】加工側面の法線ベクトルの主面への正射影である側面ベクトルと、サファイアのa面の法線ベクトルを主面へ正射影した射影ベクトルとの関係を示した説明図。

【図11】実施例1における発光素子の構造を示した断面図。

【図12・A】実施例1におけるIII族窒化物半導体発光素子のサファイア基板表面の凹凸構造を示した斜視図。

【図12・B】実施例1におけるIII族窒化物半導体発光素子のサファイア基板表面の凹凸構造を示した平面図。

【図13】サファイア基板表面における凹凸構造の形成工程を示した図。

【図14】実施例1のIII族窒化物半導体発光素子の製造工程を示した図。

50

【図15】実施例1の方法により製造されたGaNの表面のSEM像。

【図16】比較例の方法により製造されたGaNの表面のSEM像。

【図17】実施例1の方法により製造されたGaNの表面の陰極線ルミネセンス像。

【図18】比較例の方法により製造されたGaNの表面の陰極線ルミネセンス像。

【図19】比較例の方法により製造されたGaNの表面のSEM像。

【図20】実施例2に係る第1ストライプ構造と第2ストライプ構造の結晶方位の関係を示した説明図。

【図21】実施例3に係る第1ストライプ構造と第2ストライプ構造の結晶方位の関係を示した説明図。

【図22】実施例4に係る第1ストライプ構造と第2ストライプ構造の結晶方位の関係を示した説明図。

【図23】実施例5に係る第1ストライプ構造と第2ストライプ構造の結晶方位の関係を示した説明図。

【発明を実施するための形態】

【0031】

以下、本発明の具体的な実施例について図を参照に説明するが、本発明は実施例に限定されるものではない。

【実施例1】

【0032】

最初に、ストライプ構造の結晶方位と、成長させたGaNの結晶品質との関係について説明する。

厚さ500 μ m、主面をc面とするサファイア基板を用いて、加工側面の結晶方位を各種の方位にして、GaNの結晶成長を行った。図1において、1はサファイアの結晶構造、10は成長するGaNの結晶構造を示している。図1に示すように、サファイア基板の主面において、放射状にストライプの凸部2と凹部3（溝）を形成した。ドライエッチングにより凹部3を形成することで、凸部2と凹部3を形成した。凸部2と凹部3とからストライプ構造が構成されている。隣接する凸部2間の間隔は、0.01°である。凹部3の深さは、0.7 μ mである。凹部3の幅は、2.0 μ m、凸部2の幅は2.0 μ mである。加工基板をMOCVD成長装置内に設けて、水素ガスでクリーニングを行った後、AlNから成る低温パッファ層を形成した。その後、縦方向に成長させる成長条件でGaN

【0033】

図1において、サファイア基板の基準線を0°とするとき、15°の方向に凸部2のストライプが形成されている場合には、凸部2の側面4は、サファイアのa面であり、ストライプの方向はサファイアのm軸である。なお、凸部2の側面4は、正確には、基板の主面には垂直ではないので、側面4は正確にはa面ではない。しかし、側面4の法線ベクトルの主面への正射影で定義される側面ベクトルは、サファイアのa面の法線ベクトルである。本発明では、この側面ベクトルの方位が特徴であって、側面4の主面に垂直な面に対して傾斜していることは、問題ではない。したがって、以下、説明を簡単にするために、側面4は主面に垂直とする。

【0034】

この時、成長するGaNの側面、すなわち、サファイアの凸部2の側面4の側面ベクトルに垂直な面は、GaNのm面となる。また、45°の方向に凸部2のストライプが形成されているとき、凸部2の側面4は、サファイアのm面であり、ストライプの方向はサファイアのa軸である。この時、成長するGaNの側面、すなわち、サファイアの凸部2の側面ベクトルに垂直な面は、GaNのa面となる。30°の方向に凸部2のストライプが形成されているときは、凸部2の側面4は、サファイアのa面とm面との中間の面となり、ストライプの方向はサファイアのm軸とa軸との中間の方位となる。また、凸部2の側面ベクトルに垂直な面は、GaNのm面とa面との中間の面となる。

【0035】

10

20

30

40

50

図3 . Aに示す、凸部のストライプがサファイア基板の基準線に対して 45° の方位であるNo.1、 30° の方位であるNo.2、 15° の方位であるNo.3の場合のGaNの成長初期における厚さ 5000 \AA でのストライプに垂直な断面におけるSEM像を図4に示す。また、GaNを厚さ $5\text{ }\mu\text{m}$ まで、成長させた時のストライプに垂直な断面におけるSEM像を図5に示す。図4のNo.1、No.2に示す場合には、凸部の側面からの成長は見られない。No.3に示す場合、すなわち、ストライプの方位がサファイアのm軸であり、凸部の側面がサファイアのa面であり、その側面ベクトルに垂直な面がGaNのm面である場合には、凸部の側面からの成長が見られる。また、成長するGaNは、凸部の上面と、凹部の底面からファセット成長していることが分かる。また、図5から明らかのように、No.1の場合、すなわち、ストライプの方向がサファイアのa軸、凸部の側面がm面であり、側面ベクトルに垂直な面がGaNのa面である場合には、GaNは、ファセット成長しておらず、縦方向に主面上において一様な厚さで成長している。したがって、縦方向の貫通転位密度が高いことが分かる。一方、No.3に示す場合には、GaNは、ストライプに垂直な断面が三角形にファセット成長し、ファセット面間はGaNで埋められていないことが分かる。また、No.2の場合には、GaNのファセット成長は見られず、縦方向に伸びた貫通転位密度が高いことが分かる。

10

20

30

40

50

【0036】

次に、凸部のストライプの方位が、図1における 15° の方位から 0.2° づつ回転した 15.0° 、 15.2° 、 15.4° 、 15.6° の場合について、GaNを成長させた。この場合に $1\text{ }\mu\text{m}$ の厚さに成長させたGaNの表面のSEM像を図7(a)に示す。

ここで、図10(a)、(b)に示すように、凸部2の側面4の法線ベクトルnの基板20の主面21への正射影である側面ベクトルtと、サファイアのa面(11-20)の法線ベクトルの主面21への正射影である射影ベクトルkとの成す角 θ と定義する。凸部2のストライプのm軸に対する主面上の方位 ϕ をm軸からc軸の回りに 0.2° づつ回転するにつれて、成長するGaNの側面は、m面がc軸方向に傾斜したS面(10-11)面のテラスと、a面がc軸方向に傾斜した面のステップが表れていることが分かる。模式的に表現すると、図7の(b)に示すようになる。

なお、凸部2のストライプ方向の回転は、凸部の側面ベクトルtに垂直な面を、サファイアのa面から、c軸の回りに 0.2° づつ回転することと等価である。

【0037】

次に、GaNが横方向にも成長する原理について、図6を参照して説明する。図6は、凸部のストライプの方向と、成長するGaNの結晶方位との関係を示している。 15.0° の方位、すなわち、凸部のストライプの方位がサファイアのm軸(凸部の側面ベクトルに垂直な面がサファイアのa面)の場合には、凸部の側面とGaNのm面とが平行となり、GaNのa軸ベクトルは、凸部の側面に垂直な成分を有さない。凸部のストライプの方位が、 15.0° の方位からc軸の回りに 0.2° づつ回転するに連れて、凸部の側面とGaNのm面とは平行ではなくなる。したがって、GaNのa軸ベクトルは、凸部の側面に垂直な方向の成分を有し、その成分は次第に大きくなる。GaNは、m軸方向への成長速度よりは、a軸方向への成長速度が速いために、上記の θ が大きくなるにつれて、側面ベクトル方向の横方向成長速度が大きくなる。しかし、 θ が大きくなり過ぎると、GaNは、ファセット成長しなくなる。

【0038】

次に、図10(a)、(b)に示すように、凸部2の側面4の法線ベクトルnの基板20の主面21への正射影である側面ベクトルtと、サファイアのa面(11-20)の法線ベクトルの主面21への正射影であるa軸射影ベクトルkとの成す角 θ を変化させた場合に、角 θ と、 $5\text{ }\mu\text{m}$ 厚さに成長させたGaNの陰極線ルミネセンス画像の暗点密度との関係を図8に示す。なお、サファイアのa面が主面21に完全に垂直である場合には、a面の法線ベクトルと、主面への射影ベクトルkとは完全に一致する。また、 $\theta = 0$ は、凸部2のストライプのサファイア基板の基準線に対する方位が図1の 15° の場合に、零である。 $\theta = 0$ のとき、ストライプの方位は、サファイアのm軸であるが、 $\theta = 0$ は、凸部2のスト

ライブの方向とm軸との成す角でもある。図9・A、図9・Bに、陰極線ルミネセンス画像を示す。暗点密度が高いことは、貫通転位密度が高いことを意味する。また、図9・Bには、成長させたGaNの表面のAFM画像を示す。θが0°、1.5°の場合には、ピットが見られた。θが3°の場合には、ピットがなく、貫通転位密度も低いことが分かる。したがって、θ=3°の場合が最も望ましい。また、図9・Cに、θ=0°、1.5°、3°、9°、15°、30°の場合について、成長させたGaNの厚さ0.5μm、1.0μm、5.0μmの時の表面のSEM画像を示す。θ=1.5°、3°の場合に、GaNのa軸横方向の成長が見られ、凹部の埋め込みが良好に行われていることが分かる。

【0039】

図8に示されているように、θが0°の場合、すなわち、凸部2の側面4がサファイアのa面(側面ベクトルがa軸、ストライブの方向がm軸)の場合には、GaNはファセット成長のままであるので、表面の滑らかさに大きく欠ける。θが6°から15°の範囲では、GaNの表面は滑らかであるが、貫通転位密度は高い。θが15°の場合には、凸部の側面はサファイアのm面とa面との間にある中間の面(側面ベクトルがm軸とa軸との中間の方向)である。θが6°の場合には、貫通転位密度は、 $3.3 \times 10^8 / \text{cm}^2$ であり、θが6°以下に低下すると、貫通転位密度は、 $3.3 \times 10^8 / \text{cm}^2$ 以下になることが分かる。θが0.5°において、貫通転位密度は $1.7 \times 10^7 / \text{cm}^2$ に低下していることが分かる。したがって、ファセット間を埋める成長が可能で、貫通転位密度が低い範囲は、θは0.5°以上、6°以下が望ましい。θが6°を越えるとファセット成長は困難となる。

【0040】

また、貫通転位密度は、θが5°の場合には、 $3.3 \times 10^8 / \text{cm}^2$ 、θが3°の場合には、 $1.8 \times 10^8 / \text{cm}^2$ 、θが2.5°の場合には、 $1.7 \times 10^8 / \text{cm}^2$ 、θが1.5°の場合には、 $6.9 \times 10^7 / \text{cm}^2$ 、θが1°の場合には、 $2.5 \times 10^7 / \text{cm}^2$ である。また、図9からも明らかのように、θが1.5°、3°、7°の場合には、表面が滑らかであるが、θが大きくなるに連れて、貫通転位密度が増加することが分かる。したがって、表面が滑らかで、貫通転位密度が低いGaNを得るには、θは、0.5°以上、6°以下が望ましく、さらには、0.5°以上、6°以下が望ましく、さらには、1°以上、2.5°以下が望ましいことが理解される。

【0041】

上記のストライブ構造の結晶方位と、成長させたGaNの結晶性との関係から、基板表面に第1ストライブ構造と第2ストライブ構造とを有する凹凸構造を形成したことを特徴とする本発明を完成させた。

本実施例の発光素子について説明する。図11は、実施例1のIII族窒化物半導体発光素子の構成について示した図である。実施例1のIII族窒化物半導体発光素子は、凹凸構造が形成されたサファイア基板20と、サファイア基板20の凹凸構造の表面上に、バッファ層(図示しない)を介して順に積層された、III族窒化物半導体からなるn型層11、発光層12、p型層13と、を有している。これらn型層11、発光層12、p型層13は、素子層(積層構造)を構成する。発光層12、p型層13は一部領域がエッチングされて除去され、n型層11の表面が露出している。その露出したn型層11の表面上に、n電極14が形成されている。p型層13表面のほぼ全面には、ITOからなる透明電極15が形成され、透明電極15上にはp電極16が形成されている。この実施例1のIII族窒化物半導体発光素子は、フェイスアップ型の素子である。

【0042】

n型層11、発光層12、p型層13は、従来より知られる任意の構造でよい。たとえばn型層11は、サファイア基板20側から順に、GaNからなる高濃度Siがドーブされたn型コンタクト層、GaNからなるnクラッド層が順に積層された構造である。また、たとえば発光層12は、GaNからなる障壁層とInGaNからなる井戸層が繰り返し積層されたMQW構造である。また、たとえばp型層13は、発光層12側から順に、AlGaNからなるMgがドーブされたpクラッド層、GaNからなるMgがドーブされ

た p コントラクト層が積層された構造である。

【 0 0 4 3 】

図 1 2 . A は、サファイア基板 2 0 表面に施された凹凸構造を示した斜視図であり、図 1 2 . B は上面から見た平面図である。図 1 2 . A , 1 2 . B のように、凹凸構造は、サファイア基板 2 0 の表面上に第 2 ストライプ構造 1 0 1 が形成され、その上に第 1 ストライプ構造 1 0 0 が重ねて形成された形状である。

【 0 0 4 4 】

第 2 ストライプ構造 1 0 1 は、サファイアの a 軸である第 2 方向に平行に複数の第 2 溝 1 0 1 a が等間隔で配列されている。第 2 溝 1 0 1 a の幅 L 3 は 0 . 1 ~ 2 0 μ m、第 2 溝 1 0 1 a の間隔 L 4 は 0 . 1 ~ 2 0 μ m とすることが望ましい。光取り出し効率をより向上させることができるためである。幅 L 3 を 0 . 1 ~ 5 μ m、間隔 L 4 を 0 . 1 ~ 5 μ m とするとさらに望ましい。第 2 溝 1 0 1 a の側面 1 0 1 a a (第 2 加工側面)のサファイア基板 2 0 主面に対する角度は、4 0 ~ 8 0 ° とすることが望ましい。同じく光取り出し効率をより向上させることができるためである。より望ましくは 5 0 ~ 7 0 ° である。第 2 溝 1 0 1 a の深さ D 2 は、0 . 1 ~ 3 μ m とすることが望ましい。同じく光取り出し効率をより向上させることができるためである。より望ましくは 0 . 5 ~ 2 μ m である。

10

【 0 0 4 5 】

第 1 ストライプ構造 1 0 0 は、サファイアの m 軸から c 軸の回りに 3 ° オフした方向である第 1 方向に平行に複数の第 1 溝 1 0 0 a が等間隔で配列されている。したがって、第 1 方向と第 2 方向との成す角及び第 1 側面ベクトルと第 2 側面ベクトルとの成す角は、8 7 ° である。第 1 溝 1 0 0 a の幅 L 1 は 0 . 1 ~ 2 0 μ m、第 1 溝 1 0 0 a の間隔 L 2 は 0 . 1 ~ 2 0 μ m とすることが望ましい。光取り出し効率をより向上させることができるためである。幅 L 1 を 0 . 1 ~ 5 μ m、間隔 L 2 を 0 . 1 ~ 5 μ m とするとさらに望ましい。第 1 溝 1 0 0 a の側面 1 0 0 a a のサファイア基板 2 0 主面に対する角度は、4 0 ~ 8 0 ° とすることが望ましい。同じく光取り出し効率をより向上させることができるためである。より望ましくは 5 0 ~ 7 0 ° である。溝 1 0 0 a の深さ D 1 は、0 . 1 ~ 3 μ m とすることが望ましい。同じく光取り出し効率をより向上させることができるためである。より望ましくは 0 . 5 ~ 2 μ m である。第 1 溝 1 0 0 a には第 2 溝 1 0 1 a の段差 D 2 による段差 D 2 が形成されている。また、第 2 溝 1 0 1 a には第 1 溝 1 0 0 a の段差 D 1 による段差 D 1 が形成されている。

20

30

【 0 0 4 6 】

第 1 溝 1 0 0 a の深さ D 1 と、第 2 溝 1 0 1 a の深さ D 2 は、異なる深さであってもよいし、等しくてもよい。D 1 と D 2 が等しい場合には、第 1 溝 1 0 0 a の上面と第 2 溝 1 0 1 a の上面とは等しい深さとなる。当然ながら、第 1 溝 1 0 0 a の下面と第 2 溝 1 0 1 a の下面とは同一面である。したがって、この場合には、最上面を含めて、面のレベルは、3 段となる。また、第 2 溝 1 0 1 a の深さ D 2 が第 1 溝 1 0 0 a の深さ D 1 よりも大きい場合には、第 1 溝 1 0 0 a の上面は、第 2 溝 1 0 1 a の上面より上に位置し、この間で段差を生じる。この場合には、面レベルは、最上面 (サファイア基板 2 0 のエッチングされなかった面)、第 1 溝 1 0 0 a の上面、第 2 溝 1 0 1 a の上面、第 1 溝 1 0 0 a 及び第 2 溝 1 0 1 a の下面の 4 段となる。逆に、第 1 溝 1 0 0 a の深さ D 1 が第 2 溝 1 0 1 a の深さ D 2 よりも大きい場合には、第 1 溝 1 0 0 a の上面は、第 2 溝 1 0 1 a の上面より下に位置し、この間で段差を生じる。この場合には、各面は、最上面 (サファイア基板 2 0 のエッチングされなかった面)、第 2 溝 1 0 1 a の上面、第 1 溝 1 0 0 a の上面、第 1 溝 1 0 0 a 及び第 2 溝 1 0 1 a の下面の順で深くなり、面レベルは 4 段となる。

40

【 0 0 4 7 】

第 1 溝 1 0 0 a の幅 L 1 と第 2 溝 1 0 1 a の幅 L 3、第 1 溝 1 0 0 a の間隔 L 2 と第 2 溝 1 0 1 a の間隔 L 4 も、それぞれ異なってもよいし、等しくてもよい。また、角度とについても異なってもよいし等しくてもよい。

【 0 0 4 8 】

50

この凹凸構造では、サファイア基板 20 の主面に垂直な任意の方向での断面において、1 段以上の段差がある。また、特定の方向での断面においては 2 段以上の段差がある。たとえば、第 1 方向に平行な A - A での断面においては、第 1 ストライプ構造 100 による段差はないが、第 2 ストライプ構造 101 による 1 段の段差がある。また、第 2 方向に平行な B - B での断面においては、第 2 ストライプ構造 101 による段差はないが、第 1 ストライプ構造 100 による 1 段の段差がある。また、図 12 . B 中の C - C での断面においては、D 1 と D 2 が異なるとして、第 1 ストライプ構造 100 と第 2 ストライプ構造 101 の段差により、面レベルは最上面を含めて 4 段となる。

【0049】

このように凹凸構造を形成すると、サファイア基板 20 主面に素子内部において平行に伝搬する光は、どの方向においても第 1 ストライプ構造 100 あるいは第 2 ストライプ構造 101 による段差構造によって乱反射させることができ、光取り出し側 (n 電極 14、p 電極 16 側) へと光を取り出すことができる。その結果、実施例 1 の III 族窒化物半導体発光素子は、従来の III 族窒化物半導体発光素子に比べて光取り出し効率が向上している。

【0050】

次に、実施例 1 の III 族窒化物半導体発光素子の製造工程について、図 13、図 14 を用いて説明する。

まず、サファイア基板 20 への凹凸加工について説明する。まず、図 13 (a) のように、サファイア基板 20 表面に、フォトリソグラフィとドライエッチングによって、サファイアの a 軸である第 2 方向に平行な第 2 溝 101 a が所定の間隔で周期的に配列された第 2 ストライプ構造 101 を形成する。

【0051】

次に、図 13 (b) のように、フォトリソグラフィによって、サファイア基板 20 表面の第 2 ストライプ構造 101 の上に、その第 2 ストライプ構造の凹凸に沿って、サファイアの m 軸を c 軸の回りに 3° 回転させた方向である第 1 方向に平行に、所定の間隔で周期的に配列されたストライプ構造のフォトマスク 103 を形成する。そして、フォトマスク 103 に覆われていないサファイア基板 20 表面をドライエッチングし、その後フォトマスク 103 を除去することで、図 12 . A に示す凹凸構造をサファイア基板 20 表面に形成する。

【0052】

なお、このように 2 段階に分けてサファイア基板 20 表面をドライエッチングすると、加工形状の角部が丸まってしまうことを防止でき、凹凸加工の精度を向上させることができる。

【0053】

次に、上記凹凸構造の加工によって生じたダメージの回復やサファイア基板 20 表面の不純物除去のために、サーマルクリーニングを行う。サーマルクリーニングは、たとえば水素雰囲気中 1000 ~ 1200 での熱処理である。

【0054】

次に、上記のようにして凹凸構造を形成したサファイア基板 20 上に、MOCVD 法によって、AlN からなるバッファ層 (図示しない) を、温度 300 ~ 500 の範囲で、厚さ 10 ~ 1000 に形成した。そのバッファ層の上に、n 型層 11、発光層 12、p 型層 13 を順に形成する (図 14 (a))。n 型層 11 の形成においては、凹凸構造上に形成する初期においては、1000 ~ 1100 に形成して、ファセット成長を促進させ、その後、温度を 1100 以上にして、横方向成長を促進させて、ファセット間を良好に埋め込むようにした。なお、n 型層 11 は、当初から、1000 ~ 1200 の範囲の一定温度で、形成するようにしても良い。この場合も、貫通転位密度が局在しない様な低貫通転位密度で最上面が平坦な n 型層 11 が得られた。MOCVD 法において用いる原料ガスは、窒素源として、アンモニア (NH₃)、Ga 源として、トリメチルガリウム (Ga(CH₃)₃)、In 源として、トリメチルインジウム (In(CH₃)₃)

10

20

30

40

50

3)、Al 源として、トリメチルアルミニウム ($\text{Al}(\text{CH}_3)_3$)、n 型ドーピングガスとして、シラン (SiH_4)、p 型ドーピングガスとしてシクロペンタジエニルマグネシウム ($\text{Mg}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$)、キャリアガスとして H_2 または N_2 である。

【0055】

次に、ドライエッチングによって p 型層 13、発光層 12 の一部領域を除去して n 型層 11 表面を露出させる (図 14 (b))。そして、p 型層 13 表面のほぼ全面に透明電極 15 を形成し、露出させた n 電極 11 表面上に n 電極 14、透明電極 15 上に p 電極 16 を形成する。以上によって実施例 1 の III 族窒化物半導体発光素子が製造される。

【0056】

第 1 ストライブ構造と第 2 ストライブ構造との結晶方位と、成長させた GaN の結晶性との関係を測定するために、次の実験を行った。サファイア基板 20 上に第 1 ストライブ構造 100 と第 2 ストライブ構造 101 とを形成した後に、バッファ層を形成して、GaN を $1\ \mu\text{m}$ 、 $2\ \mu\text{m}$ の厚さに、成長させた時の表面の SEM 像を測定した。その結果を図 15 に示す。 $2\ \mu\text{m}$ の厚さで、段差が良好に埋まっていることが理解される。また、GaN 表面の陰極線ルミネセンス画像を測定した。その結果を図 17 に示す。貫通転位は表面上、一様に分散していることが分かる。また、貫通転位密度は $3.6 \times 10^8 / \text{cm}^2$ であった。

【0057】

一方、比較のために、次の凹凸構造を準備した。第 1 ストライブ構造が延びる第 1 方向をサファイアの m 軸、したがって、第 1 加工側面の法線の主面への射影ベクトルである第 1 側面ベクトルがサファイアの a 軸とした。第 2 ストライブ構造が延びる第 2 方向をサファイアの a 軸、したがって、第 2 加工側面の法線の主面への射影ベクトルである第 2 側面ベクトルがサファイアの m 軸とした。すなわち、第 1 方向と第 2 方向、及び、第 1 側面ベクトルと第 2 側面ベクトルとは、直交している。この場合について、サファイア基板上に成長させた GaN の SEM 像を測定した。その結果を、図 16 に示す。GaN の m 面ファセットが強く現れており、隣接するファセット間の埋め込みが完全でないことが分かる。また、GaN 表面の陰極線ルミネセンス画像を測定した。その結果を図 18 に示す。貫通転位は表面上、局在し、高密度の部分が散在していることが分かる。また、貫通転位密度は $4.2 \times 10^8 / \text{cm}^2$ であった。

【0058】

第 1 ストライブ構造 100 が延びる第 1 方向は、サファイアの m 軸を c 軸の回りに、 0.5° 以上、 6° 以下の範囲で回転させた結晶方位とすることができる。この場合には、GaN は、m 面の傾斜面がファセット面となり、ファセット成長し、貫通転位密度が小さいことが、上記した図 8 の特性のように確認されている。したがって、第 2 ストライブ構造 101 が延びる第 2 方向をサファイアの a 軸に固定して、第 1 方向をサファイアの m 軸を c 軸の回りに、 0.5° 以上、 6° 以下の範囲で回転させた結晶方位としても、すなわち、第 1 側面ベクトルとサファイアの a 軸射影ベクトルとの成す角が 0.5° 以上、 6° 以下の範囲としても、同様な結果が得られる。これは、GaN の成長は、結晶初期においては、3次元のファセット成長が促進されるために、第 1 ストライブ構造 100 で規制された成長が実現されるためである。第 2 ストライブ構造 101 が延びる第 2 方向がサファイアの a 軸 (第 2 側面ベクトルが m 軸) である場合には、第 2 方向に平行な GaN の側面 (サファイアの m 軸に垂直な側面) は GaN の a 面となる。したがって、主面上において第 2 方向に垂直な方向、すなわち、横方向に GaN が成長し易く、これがファセット成長のファセット間を埋めて、平坦の面を実現させることができる。

【0059】

比較のために、第 1 ストライブ構造 100 が延びる第 1 方向をサファイアの m 軸を c 軸の回りに 3° 回転させた方向、第 2 ストライブ 101 が延びる第 2 方向をサファイアの m 軸を c 軸の回りに 3° 回転させた方向として、GaN を成長させた。その場合の表面の SEM 像を測定した。その結果を図 19 に示す。m 面の傾斜した面を 4 つのファセット面とする平行四辺形角錐台形状に成長し、ファセット間が埋め込まれていないことが理解され

10

20

30

40

50

る。このため、第2ストライプ構造が延びる第2方向をサファイアのa軸、又は、a軸を基準として、c軸の回りに0°以上、10°以下の範囲で回転させた方位とする必要がある。すなわち、第2側面ベクトルとサファイアのm軸射影ベクトルとの成す角が0°以上、10°以下とする。ストライプの方向をa軸を基準として、c軸の回りに0°以上、10°以下の範囲で回転させた方位とした場合には、Ga₂N₃の良好な横方向成長が観測されている。したがって、上記の結晶軸の方位の組み合わせにより、第1ストライプ構造100が延びる第1方向は、サファイアのm軸をc軸の回りに0.5°以上、6°以下の範囲で回転させた結晶方位、第2ストライプ構造101が延びる第2方向は、サファイアのa軸をc軸の回りに、0°以上、10°以下の範囲で回転させた結晶方位とすることで、貫通転位密度が局在しない、貫通転位密度の低い、平坦なGa₂N₃が得られる。

10

【実施例2】

【0060】

次に、主面をa面とするサファイア基板を用いた場合について説明する。本実施例の場合も、説明を簡単にするために加工側面は基板の主面に垂直なものとして説明する。図2に示すように、サファイアの主面上に、放射線状に凸部2と凹部3とを0.01°間隔で形成した。図2において、凸部2のストライプのサファイア基板の基準線に対する方位が0°である場合に、凸部2の側面4はサファイアのm面（側面ベクトルがm軸）となる。凸部2のストライプの方位が90°である場合に、凸部2の側面4はサファイアのc面（側面ベクトルがc軸）となる。ストライプの方位が0°と90°の間において、30°である場合には、凸部2の側面4は、サファイアのr面（-1012）（側面ベクトルがr軸）に近い面であるが、その他の方位では、側面ベクトルに垂直な面は、m面をa軸の回りに回転させた面となる。

20

【0061】

図3・Bに示す、凸部のストライプの方位が、No.4（凸部側面がc面）～No.10（凸部側面がm面）の場合に、結晶成長初期におけるGa₂N₃の、ストライプに垂直な断面におけるSEM像を図4に示す。また、5μmの厚さまで成長させた時のGa₂N₃の、ストライプに垂直な断面におけるSEM像を図5に示す。

【0062】

No.4の場合、すなわち、凸部2の側面4がサファイアのc面（側面ベクトルがc軸）の場合には、側面4から横方向への成長があり、凸部2の上面と凹部3の底面からGa₂N₃は断面が三角形にサファセット成長していることが分かる。凸部2のストライプの方向が30°の場合、すなわち、凸部2の側面4がr面（-1012）（側面ベクトルがr軸）に近い面の時には、Ga₂N₃は、凸部2の上面からはファセット成長するが、凹部3の底面からは平坦に縦方向に成長していることが分かる。その他の方位では、Ga₂N₃は、凸部2の側面4からの支配的な横方向成長はなく、ファセット成長も見られない。

30

【0063】

また、図5から明らかなように、No.4に示す場合、すなわち、凸部2の側面4がサファイアのc面（側面ベクトルがc軸）の場合には、Ga₂N₃は、断面が三角形にファセット成長し、ファセット面間はGa₂N₃が埋められていないことが分かる。また、No.5～No.10の場合には、Ga₂N₃のファセット成長は見られず、縦方向に伸びた貫通転位密度が高いことが分かる。ただし、Ga₂N₃の表面は平坦である。

40

【0064】

以上のことから、a面を主面とするサファイア基板を用いて凸部2と凹部3を設けた場合には、凸部2の側面4がサファイアのc面（側面ベクトルがc軸）である場合に、成長するGa₂N₃における、側面ベクトルに垂直な面は、Ga₂N₃のm面となり、凸部上部、及び凹部底部からGa₂N₃はファセット成長し、ファセット間はGa₂N₃により埋められることはない。この状態は、c面サファイア基板を用いて、凸部の側面をサファイアのa面とした場合と同一である。したがって、実施例1と同様に、加工側面の法線ベクトルの主面へ正射影である側面ベクトルと、サファイアのc面（0001）の法線ベクトルの主面へ正射影であるc軸射影ベクトルとの成す角が0.5°以上、6°以下の範囲において、貫通転

50

位密度を低減させ、且つ、成長させた GaN の表面の粗さを滑らかとすることができる。成す角 θ_1 を 0.5° 以上、 6° 以下とすることは、凸部の側面が主面に完全に垂直な場合には、c 面を a 軸の回りに、 0.5° 以上、 6° 以下の範囲で回転させた面を、凸部の側面とすることと等価である。また、a 面を主面とするサファイア基板の場合も実施例 1 と同様に、本発明を一般の III 族窒化物半導体にも適用することができる。

【0065】

以上のことから、図 20 に示すように、凹凸構造において、第 1 ストライプ構造 100 の第 1 溝 100a の第 1 側面ベクトル t と基板の六方晶系結晶の c 面 (0001) の法線ベクトルを主面へ正射影した c 軸射影ベクトルとの成す第 1 角 θ_1 が 0.5° 以上、 6° 以下とし、第 2 ストライプ構造 101 の第 2 溝 101a の第 2 側面ベクトル s と基板の六方晶系結晶の m 面 (10-10) の法線ベクトルを主面へ正射影した m 軸射影ベクトルとの成す第 2 角 θ_2 が 0° 以上、 10° 以下とすることができる。

10

【0066】

この実施例においても、サファイア基板の厚さは $500\ \mu\text{m}$ であり、マグネトロンスパッタ装置を用い、高純度のアルミニウムと窒素を原材料として、基板温度 500°C にてスパッタを行い、凹凸構造に沿って、AlN からなるパuffa 層を $10\sim 30\ \text{nm}$ の厚さで形成した。次に、凹凸構造が形成された側のサファイア基板上に、前実施例と同様に、パuffa 層を介して MOCVD 法によって c 面を主面とする GaN 層を凸部上面及び凹部底面から $5\ \mu\text{m}$ の厚さに成長させた。この場合において、縦方向の c 軸方向に成長する GaN の m 面はサファイアの c 面と平行となる。第 1 加工側面 100a の第 1 側面ベクトル t と、サファイアの c 軸射影ベクトルと成す第 1 角 θ_1 が $0.5^\circ\sim 6^\circ$ であるので、成長する GaN の第 1 側面ベクトル t に垂直な面は、GaN の m 面を GaN の c 軸の回りに $0.5^\circ\sim 6^\circ$ 回転させた面となる。

20

【0067】

この結果、GaN の a 面の法線ベクトルは、第 1 側面ベクトル t 方向の成分を有することになる。この結果、成長する GaN は、ファセット成長に加えて主面に平行な方向にも成長するので、ファセット間を埋めるように成長する。この結果、GaN の表面において貫通転位密度が低減された平滑な GaN を得ることができる。また、第 2 ストライプ構造 101 について、第 2 溝 101a の第 2 加工側面 101a の第 2 側面ベクトル s と、m 軸射影ベクトルとの成す第 2 角 θ_2 が 0° 以上、 10° 以下である。成長する GaN の a 面と、サファイアの m 面とが平行となる。

30

【0068】

したがって、第 2 側面ベクトル s に垂直な、成長する GaN の側面は GaN の a 面を c 軸の回りに 0° 以上、 10° 以下の範囲で回転させた面となる。この結果、第 2 側面ベクトル s は、GaN の a 軸方向の成分が大きくなり、第 2 側面ベクトル s 方向の GaN の成長速度が大きく、ファセット間を埋めることができる。この結果、前実施例と同様な原理により、貫通転位が局在することなく、一様に分布し、平均貫通転位密度が低減され、成長した III 族窒化物半導体の面が平坦な半導体を得ることができる。

【実施例 3】

【0069】

本実施例は、実施例 1、2 において、サファイア基板に代えて III 族窒化物半導体基板を用いた例である。この場合には、図 21 に示すように、主面を c 面とする。凹凸加工は、基板の第 1 ストライプ構造 100 の第 1 加工側面 100a の第 1 側面ベクトル t と基板の m 面の主面への m 軸射影ベクトル m との成す第 1 角 θ_1 を 0.5° 以上、 6° 以下とし、第 2 ストライプ構造 101 の第 2 加工側面 101a の第 2 側面ベクトル s と基板の a 面の主面への a 軸射影ベクトル a との成す第 2 角 θ_2 を 0° 以上、 10° 以下となるようにした。

40

【0070】

この場合に、凸部の上面、凹部の底面から III 族窒化物半導体基板は c 軸方向に成長する。また、基板の m 面、a 面と成長する III 族窒化物半導体基板の m 面、a 面とが、それ

50

ぞれ、平行となる。第1加工側面100aaの第1側面ベクトルtと、III族窒化物半導体基板のm軸射影ベクトルと成す第1角 θ_1 が $0.5^\circ \sim 6^\circ$ であるので、成長するGaNの第1側面ベクトルtに垂直な面は、GaNのm面をGaNのc軸の回りに $0.5^\circ \sim 6^\circ$ 回転させた面となる。この結果、GaNのa面の法線ベクトルは、第1側面ベクトルt方向の成分を有することになる。よって、成長するGaNは、ファセット成長に加えて主面に平行な方向にも成長するので、ファセット間を埋めるように成長する。したがって、GaNの表面において貫通転位密度が低減された平滑なGaNを得ることができる。

【0071】

また、第2ストライプ構造101について、第2溝101aの第2加工側面101aaの第2側面ベクトルsと、a軸射影ベクトルとの成す第2角 θ_2 が 0° 以上、 10° 以下である。したがって、第2側面ベクトルsに垂直な、成長するGaNの側面はGaNのa面をc軸の回りに 0° 以上、 10° 以下の範囲で回転させた面となる。この結果、第2側面ベクトルsは、GaNのa軸方向の成分が大きくなり、第2側面ベクトルs方向のGaNの成長速度が大きく、ファセット間を埋めることができる。この結果、前実施例と同様な原理により、貫通転位が局在することなく、一様に分布し、平均貫通転位密度が低減され、成長したIII族窒化物半導体の面が平坦な半導体を得ることができる。

【0072】

また、基板には、サファイア基板上に、GaN、その他のIII族窒化物半導体層をエピタキシャル成長させたテンプレート基板を用いて、III族窒化物半導体層に同様な凹凸加工を施しても、本件発明を実施することができる。また、AlN基板上に、GaN、その他のIII族窒化物半導体層をエピタキシャル成長させたテンプレート基板を用いても、本発明を実施できる。

【実施例4】

【0073】

本実施例は、実施例1、2において、サファイア基板に代えて炭化珪素(SiC)基板を用いた例である。この場合には、図22に示すように、主面をc面(0001)とする。凹凸加工は、基板の第1ストライプ構造100の第1加工側面100aaの第1側面ベクトルtと基板のm面(10-10)の主面へのm軸射影ベクトルmとの成す第1角 θ_1 を 0.5° 以上、 6° 以下とし、第2ストライプ構造101の第2加工側面101aaの第2側面ベクトルsと基板のa面(11-20)の主面へのa軸射影ベクトルaとの成す第2角 θ_2 を 0° 以上、 10° 以下となるようにした。

【0074】

この場合に、凸部の上面、凹部の底面からIII族窒化物半導体はc軸方向に成長する。六方晶系の炭化珪素(SiC)と、そのSiC上に成長する同じく六方晶系のIII族窒化物半導体との結晶方位の関係は、基板のm面(10-10)、a面(11-20)と成長するIII族窒化物半導体のm面(10-10)、a面(11-20)とが、それぞれ、平行となる。サファイア基板とIII族窒化物半導体との結晶方位の関係と異なり、基板の結晶方位と成長するIII族窒化物半導体の結晶方位とが一致するのは、III族窒化物半導体の格子定数が、SiCの格子定数に、サファイアよりも近いためである。

【0075】

第1加工側面100aaの第1側面ベクトルtと、炭化珪素(SiC)基板のm軸[10-10]射影ベクトルと成す第1角 θ_1 が $0.5^\circ \sim 6^\circ$ であるので、成長するGaNの第1側面ベクトルtに垂直な面は、GaNのm面をGaNのc軸の回りに $0.5^\circ \sim 6^\circ$ 回転させた面となる。この結果、GaNのa面の法線ベクトルは、第1側面ベクトルt方向の成分を有することになる。よって、成長するGaNは、ファセット成長に加えて主面に平行な方向にも成長するので、ファセット間を埋めるように成長する。したがって、GaNの表面において貫通転位密度が低減された平滑なGaNを得ることができる。

【0076】

また、第2ストライプ構造101について、第2溝101aの第2加工側面101aaの第2側面ベクトルsと、炭化珪素(SiC)基板のa軸[11-20]射影ベクトルと

10

20

30

40

50

の成す第2角 θ_2 が 0° 以上、 10° 以下である。したがって、第2側面ベクトル s に垂直な、成長する GaN の側面は GaN の a 面を c 軸の回りに 0° 以上、 10° 以下の範囲で回転させた面となる。この結果、第2側面ベクトル s は、GaN の a 軸方向の成分が大きくなり、第2側面ベクトル s 方向の GaN の成長速度が大きく、ファセット間を埋めることができる。この結果、前実施例と同様な原理により、貫通転位が局在することなく、一様に分布し、平均貫通転位密度が低減され、成長した III 族窒化物半導体の面が平坦な半導体を得ることができる。

【実施例5】

【0077】

本実施例は、実施例1、2において、サファイア基板に代えて立方晶系のシリコン (Si) 基板を用いた例である。この場合には、図23に示すように、主面を Si の (111) 面とする。凹凸加工は、基板の第1ストライプ構造 100 の第1加工側面 100 a a の第1側面ベクトル t と基板の Si の (-1-12) 面の主面への Si の [-1-12] 軸射影ベクトル m との成す第1角 θ_1 を 0.5° 以上、 6° 以下とし、第2ストライプ構造 101 の第2加工側面 101 a a の第2側面ベクトル s と基板の Si の (1-10) 面の主面への Si の [1-10] 軸射影ベクトル a との成す第2角 θ_2 を 0° 以上、 10° 以下となるようにした。

【0078】

この場合に、凸部の上面、凹部の底面から III 族窒化物半導体は c 軸方向に成長する。立方晶系のシリコン (Si) と、その Si 上に成長する六方晶系の III 族窒化物半導体との結晶方位の関係は、Si の (111) 面、(-1-12) 面、(1-10) 面と、成長する III 族窒化物半導体の c 面 (0001)、m 面 (10-10)、a 面 (11-20) とが、それぞれ、平行となる。

【0079】

第1加工側面 100 a a の第1側面ベクトル t と、シリコン (Si) の [-1-12] 射影ベクトルと成す第1角 θ_1 が $0.5^\circ \sim 6^\circ$ であるので、成長する GaN の第1側面ベクトル t に垂直な面は、GaN の m 面を GaN の c 軸の回りに $0.5^\circ \sim 6^\circ$ 回転させた面となる。この結果、GaN の a 面の法線ベクトルは、第1側面ベクトル t 方向の成分を有することになる。よって、成長する GaN は、ファセット成長に加えて主面に平行な方向にも成長するので、ファセット間を埋めるように成長する。したがって、GaN の表面において貫通転位密度が低減された平滑な GaN を得ることができる。

【0080】

また、第2ストライプ構造 101 について、第2溝 101 a の第2加工側面 101 a a の第2側面ベクトル s と、シリコン (Si) の [1-10] 軸射影ベクトルとの成す第2角 θ_2 が 0° 以上、 10° 以下である。したがって、第2側面ベクトル s に垂直な、成長する GaN の側面は GaN の a 面を c 軸の回りに 0° 以上、 10° 以下の範囲で回転させた面となる。この結果、第2側面ベクトル s は、GaN の a 軸方向の成分が大きくなり、第2側面ベクトル s 方向の GaN の成長速度が大きく、ファセット間を埋めることができる。この結果、前実施例と同様な原理により、貫通転位が局在することなく、一様に分布し、平均貫通転位密度が低減され、成長した III 族窒化物半導体の面が平坦な半導体を得ることができる。

【0081】

全実施例において、第2ストライプ構造を、第1ストライプ構造よりも先に形成したが、第1ストライプ構造を先に形成して、その第1ストライプ構造をエッチングして第2ストライプ構造を形成しても良い。形成順序は任意である。また、実施例1、2では、バッファ層を AlN としたが、これに限るものではなく、 $Al_x Ga_y N$ ($x + y = 1, 0 < x, y < 1$) であればよい。また、バッファ層は単層でもよいが、複数の層で構成してもよい。バッファ層をスパッタ法によって形成しているが、バッファ層を MOCVD 法によって形成してもよい。

【0082】

10

20

30

40

50

なお、本明細書において、ミラー指数の表記は、等価な面の集合、等価な軸の集合を表している。例えば、m面に関する $(10 - 10)$ の表記は、 $(10 - 10)$ 、 $(1 - 100)$ 、 (-1100) 、 (-1010) 、 $(01 - 10)$ 、 $(0 - 110)$ 面の集合を表している。また、m軸に関する $[10 - 10]$ の表記は、 $[10 - 10]$ 、 $[1 - 100]$ 、 $[-1100]$ 、 $[-1010]$ 、 $[01 - 10]$ 、 $[0 - 110]$ 面の集合を表している。a面 $(11 - 20)$ 、a軸 $[11 - 20]$ 、立方晶系の $(-1 - 12)$ 面、 $(1 - 10)$ 面、 $[-1 - 12]$ 軸、 $[1 - 10]$ 軸についても、同様に、等価な面及び等価の軸の集合を表しているとして定義されている。

【産業上の利用可能性】

【0083】

10

本発明は、III族窒化物半導体発光素子の製造方法に適用することができる。

【符号の説明】

【0084】

2、10：凸部

3：凹部

4：加工側面

21：主面

20：サファイア基板

11：n型層

12：発光層

20

13：p型層

14：n電極

15：透明電極

16：p電極

100：第1ストライプ構造

100a：第1溝

101：第2ストライプ構造

101a：第2溝

101：バッファ層

102：n型層

30

103：発光層

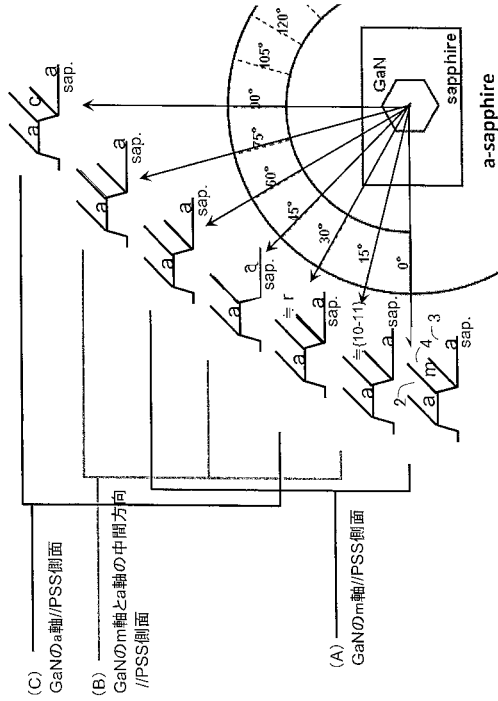
104：p型層

105：n電極

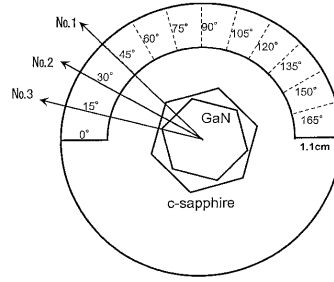
106：透明電極

107：p電極

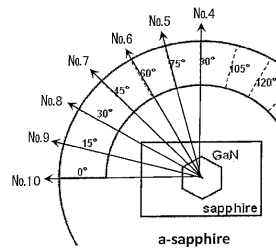
【 図 2 】



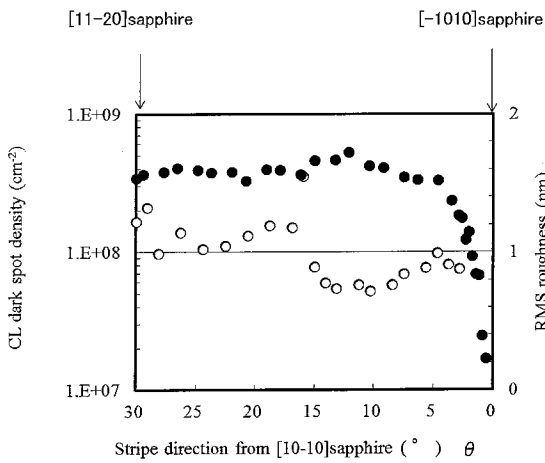
【 図 3 . A 】



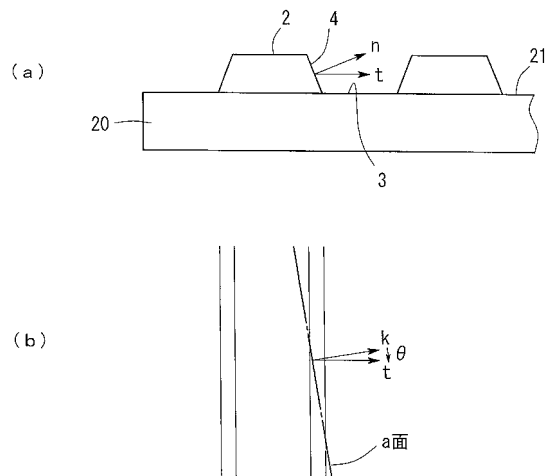
【 図 3 . B 】



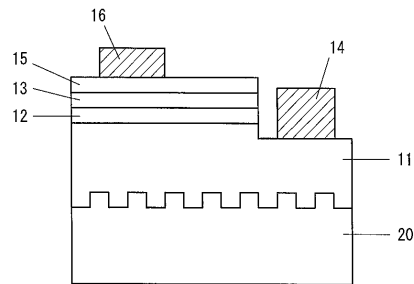
【 図 8 】



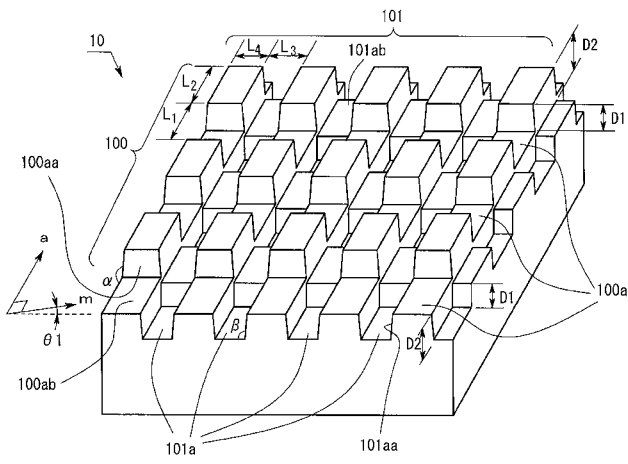
【 図 10 】



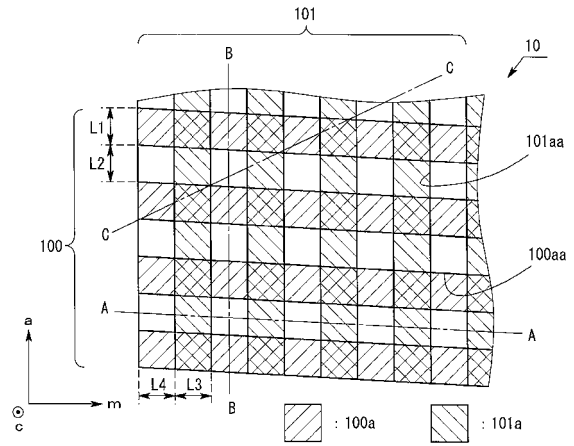
【 図 11 】



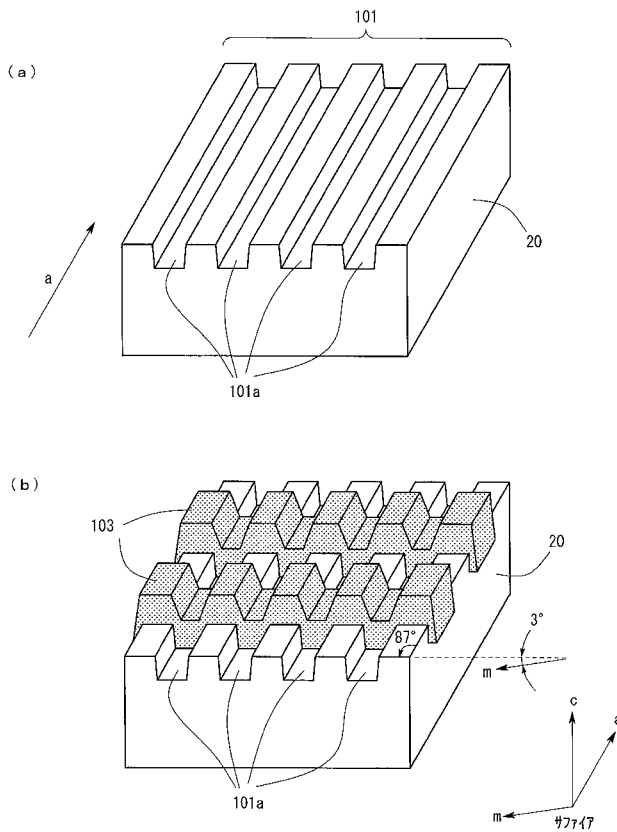
【図 12 . A】



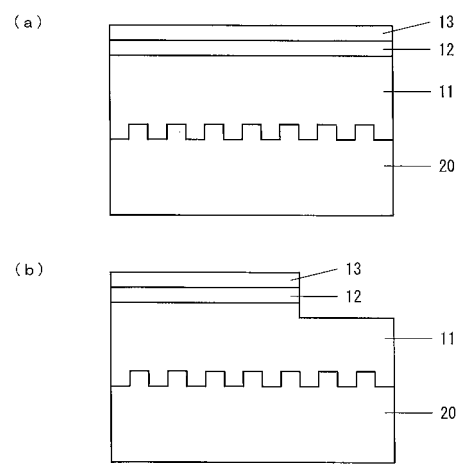
【図 12 . B】



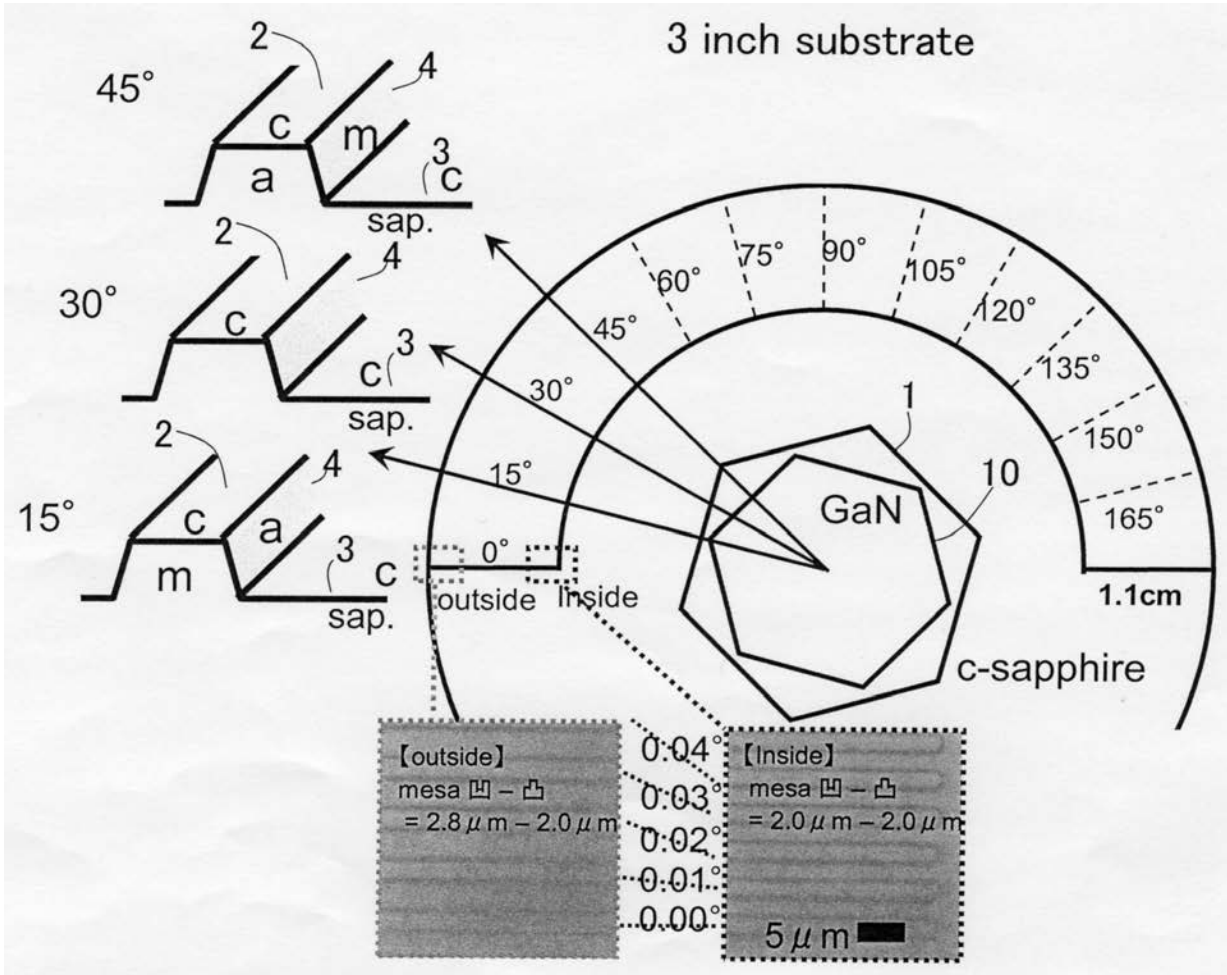
【図 13】



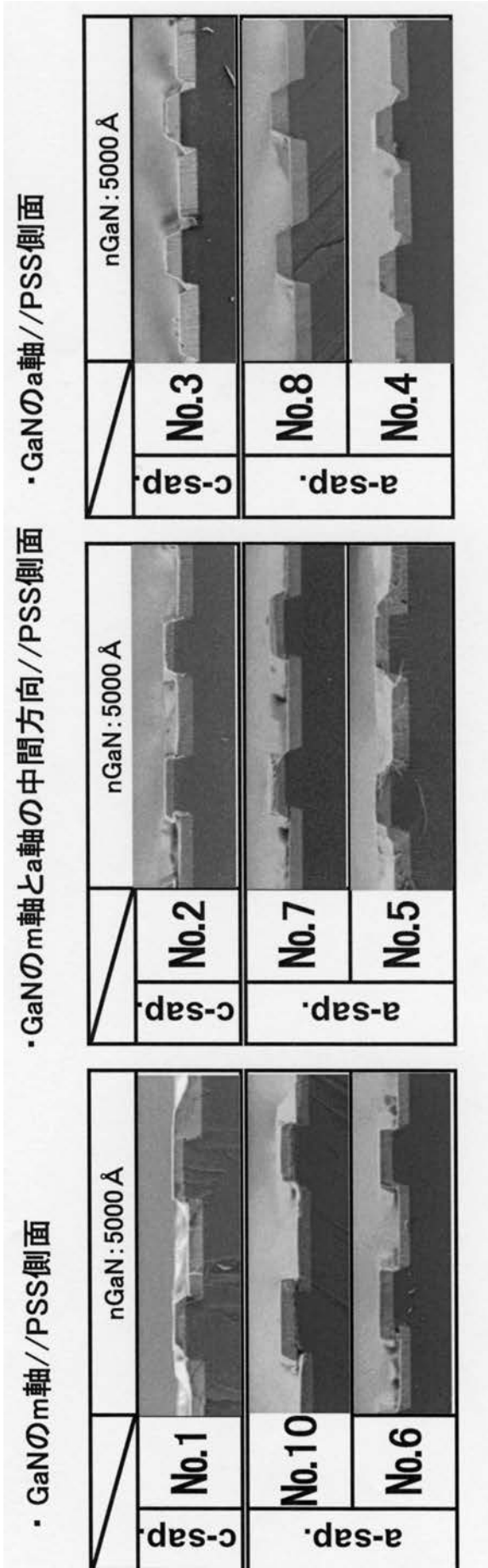
【図 14】



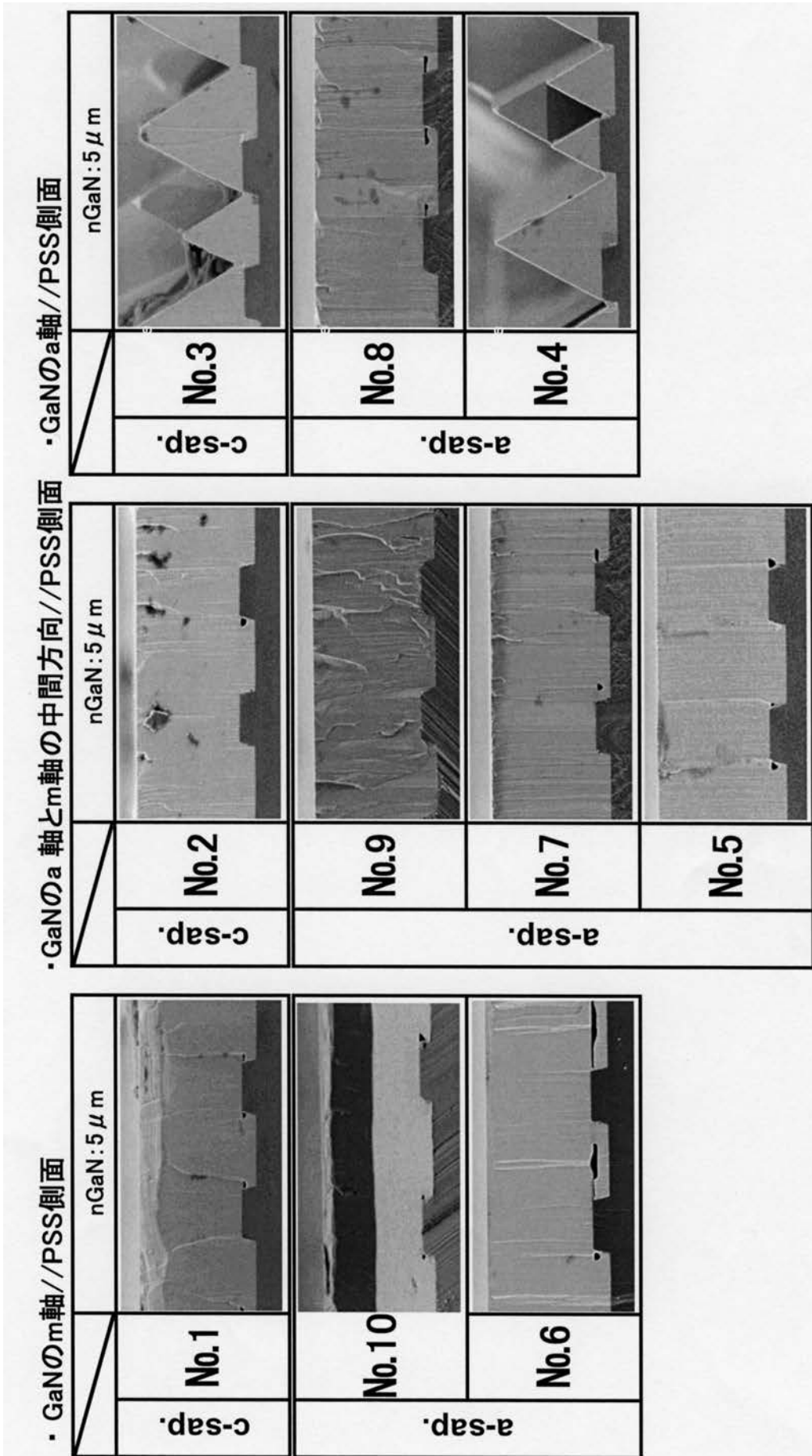
【 図 1 】



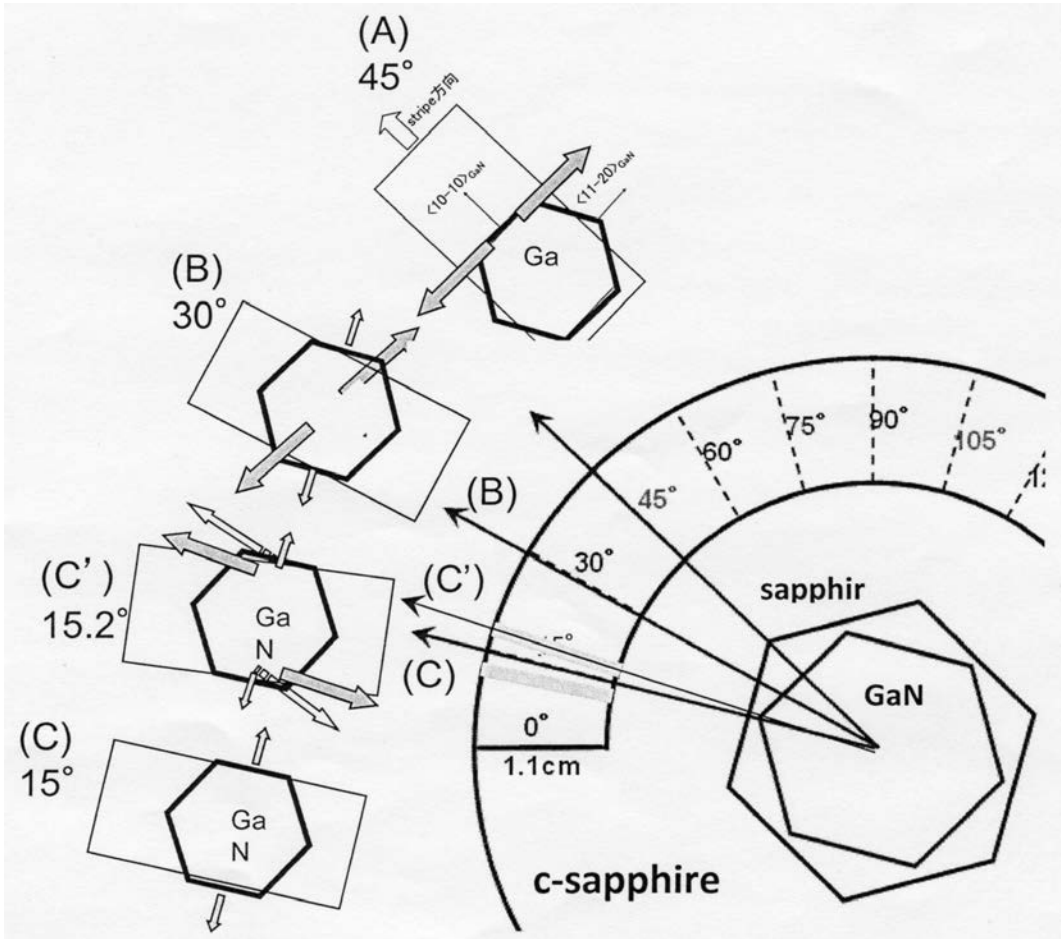
【 図 4 】



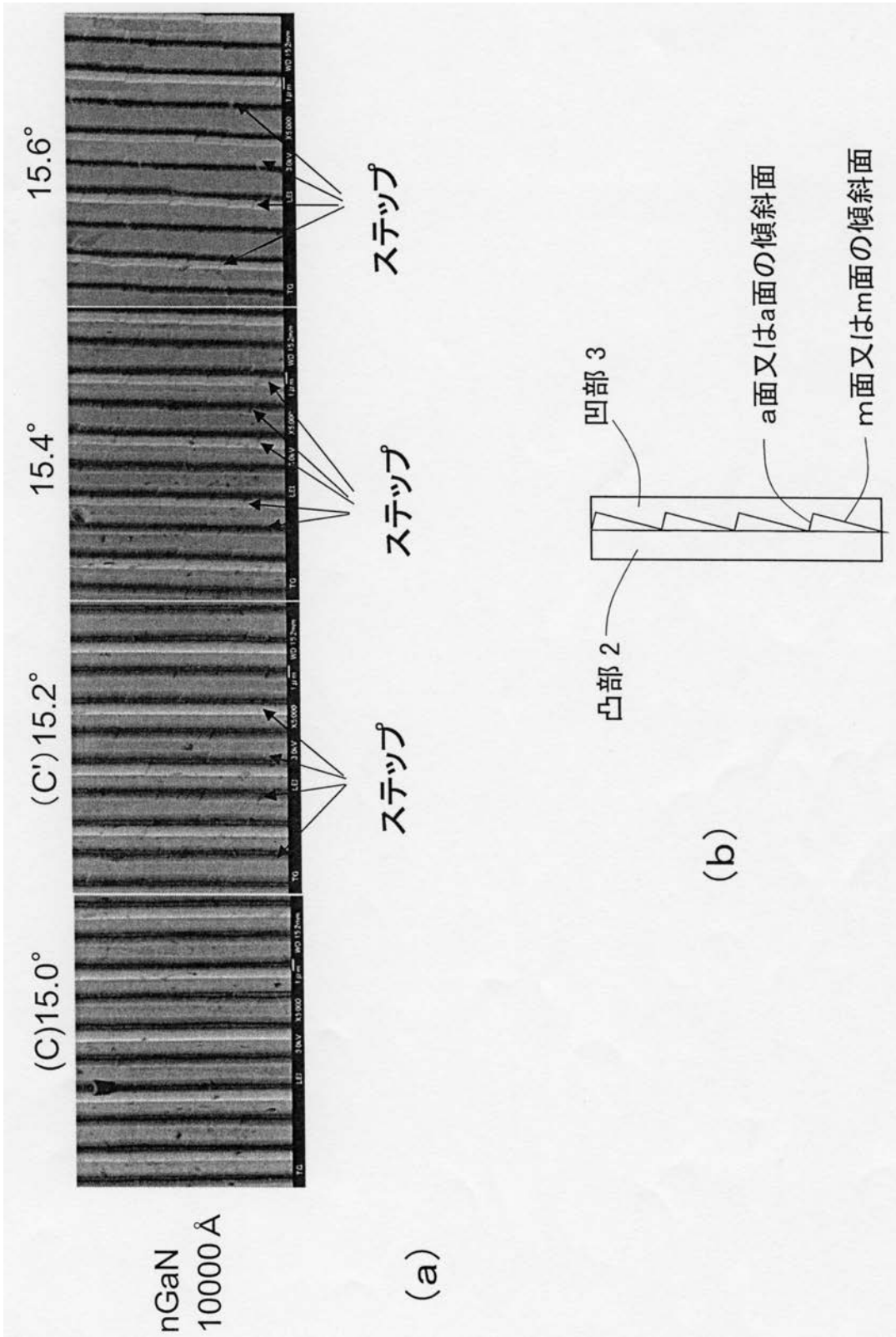
【 図 5 】



【 図 6 】



【図7】

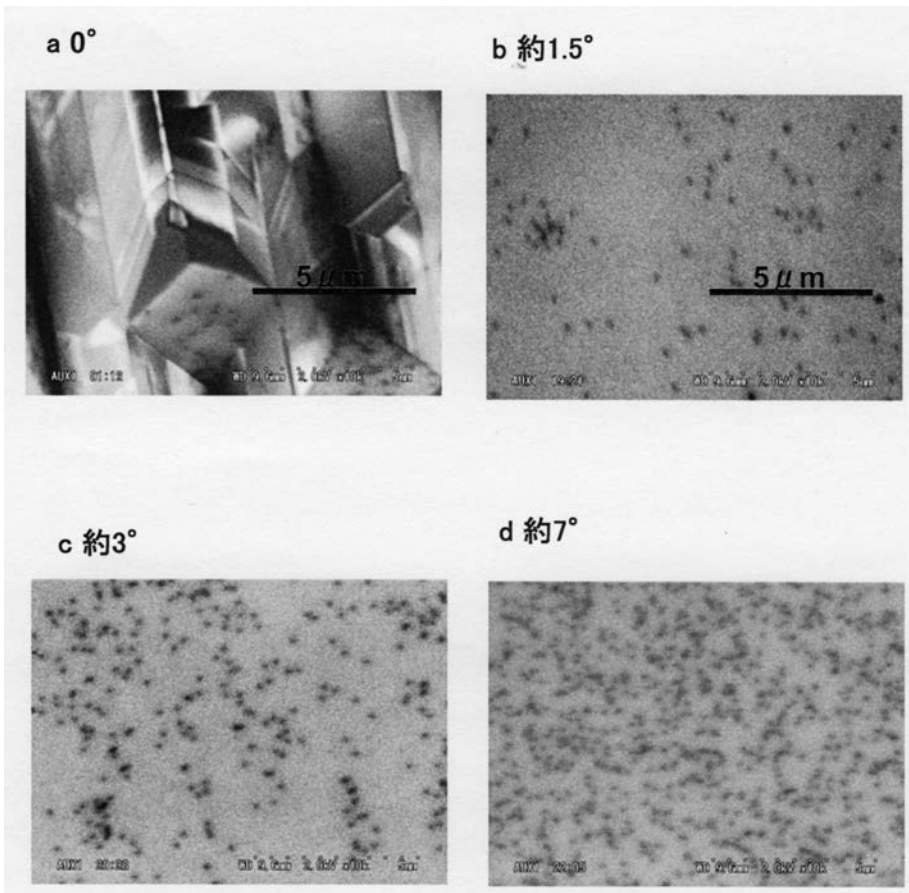


nGaN
10000 Å

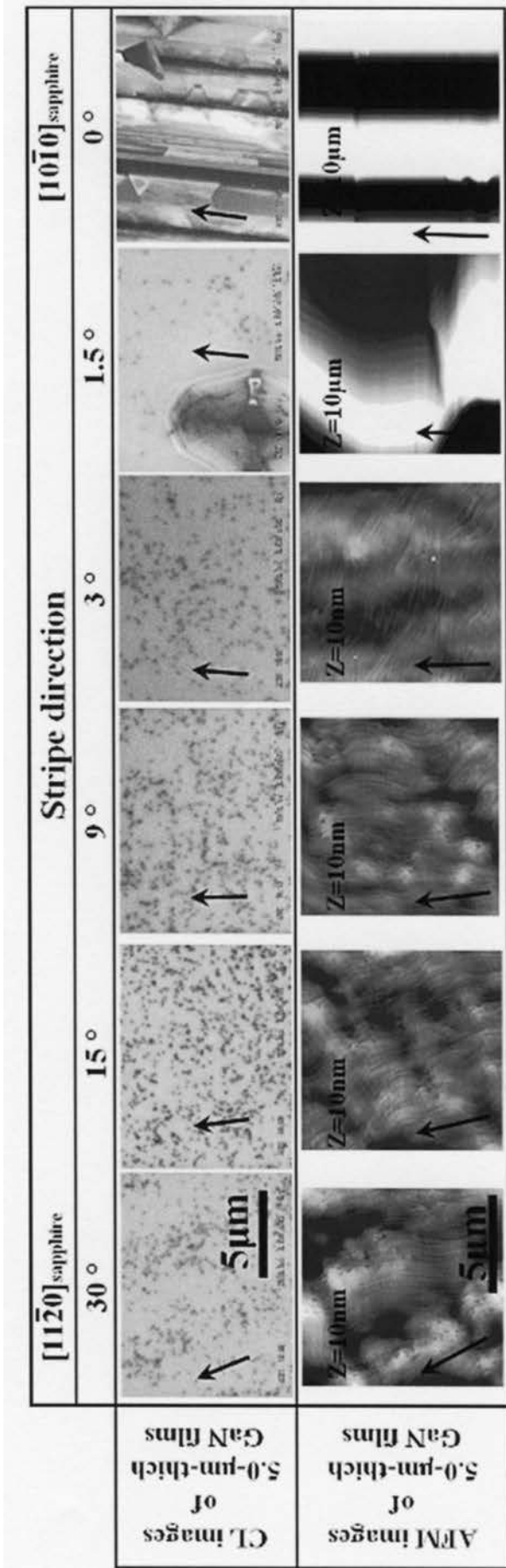
(a)

(b)

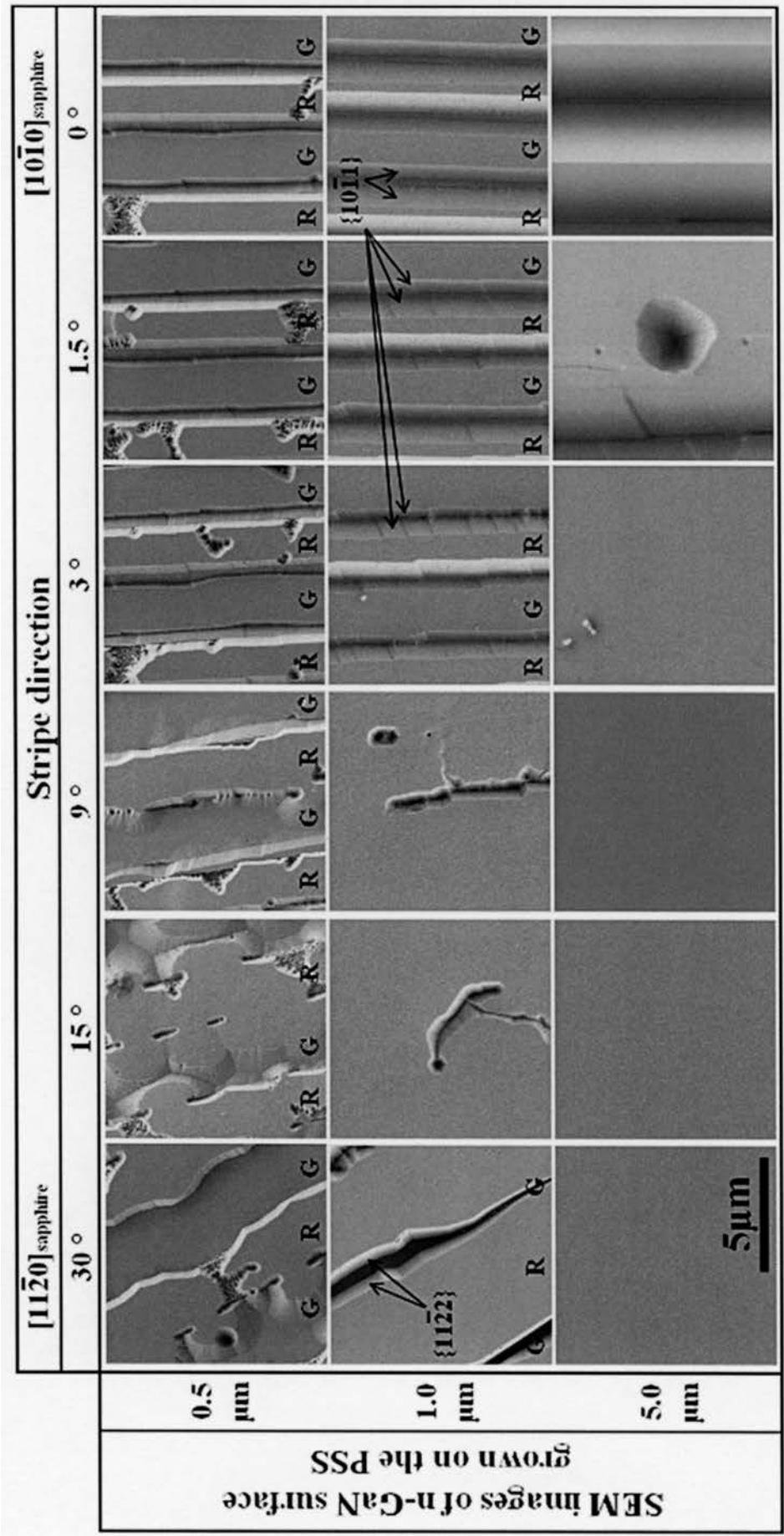
【図9 . A】



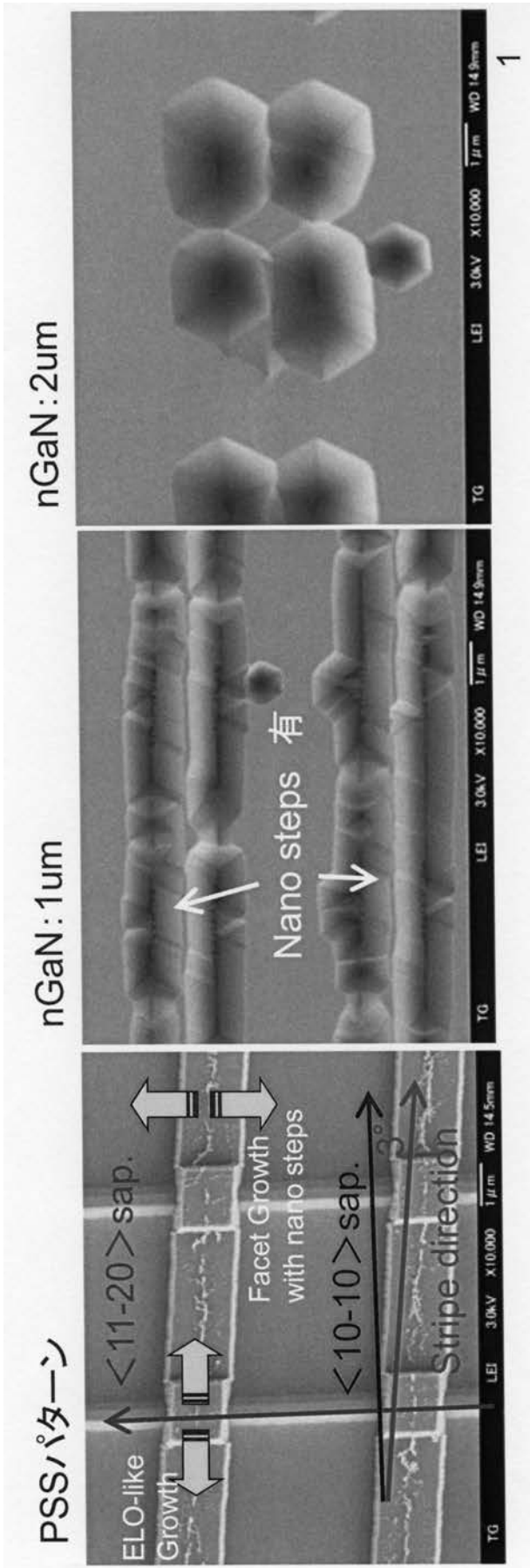
【 図 9 . B 】



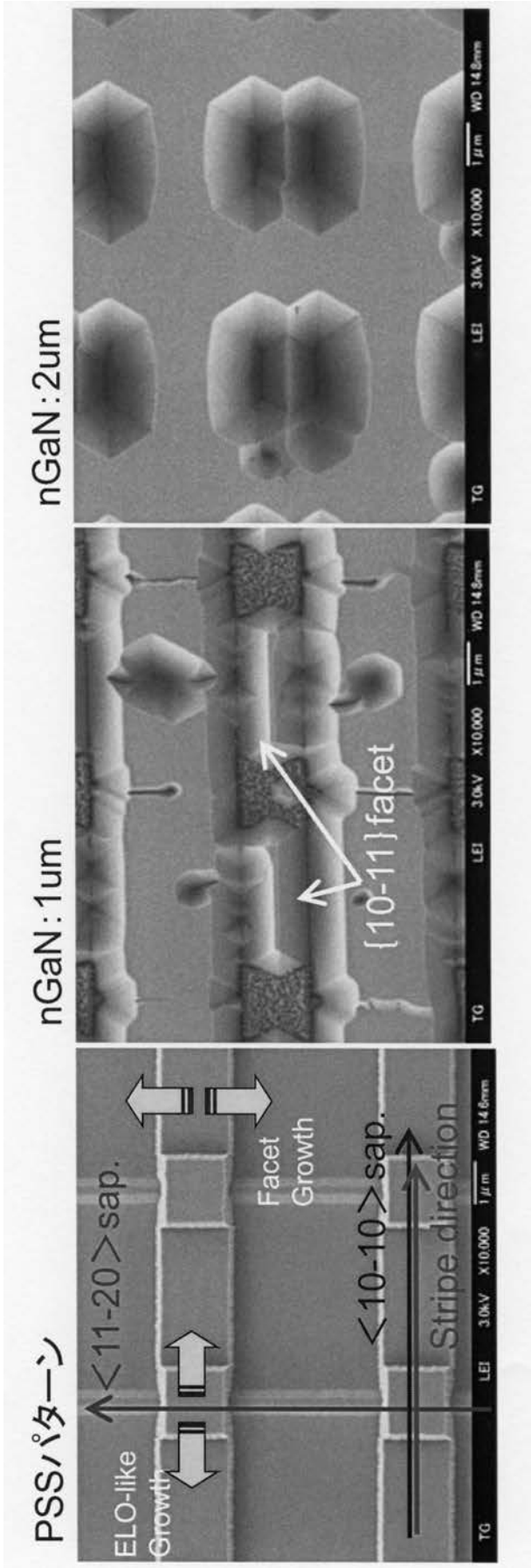
【 図 9 . C 】



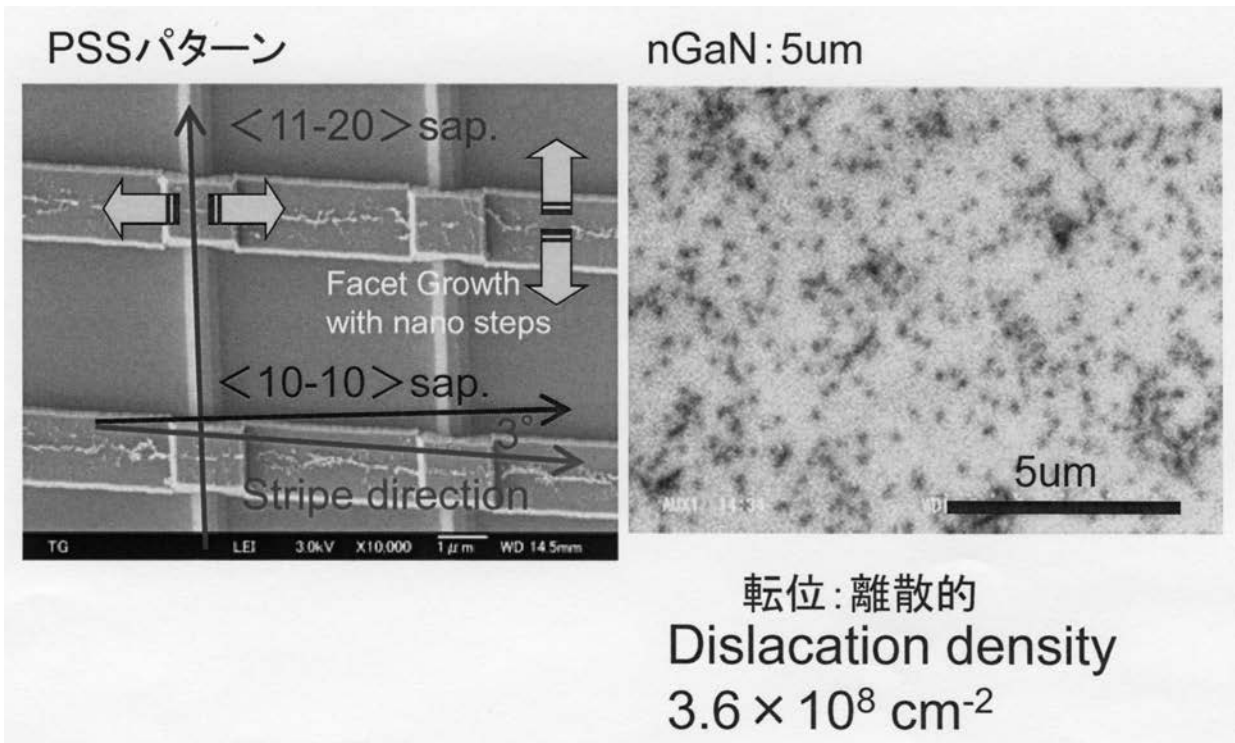
【 図 15 】



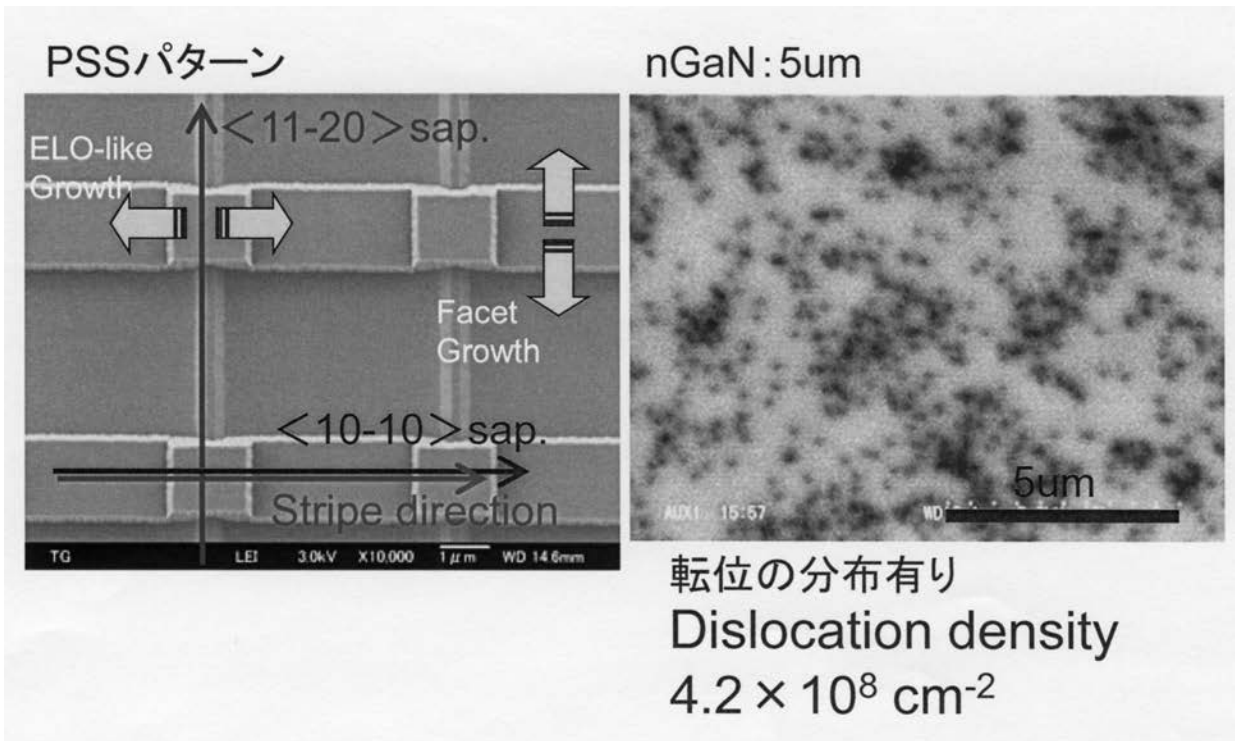
【 図 16 】



【図17】

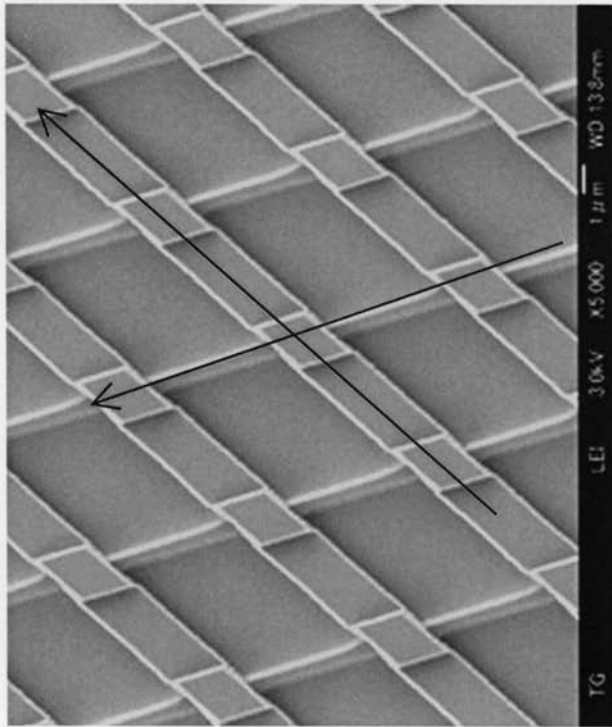


【図18】

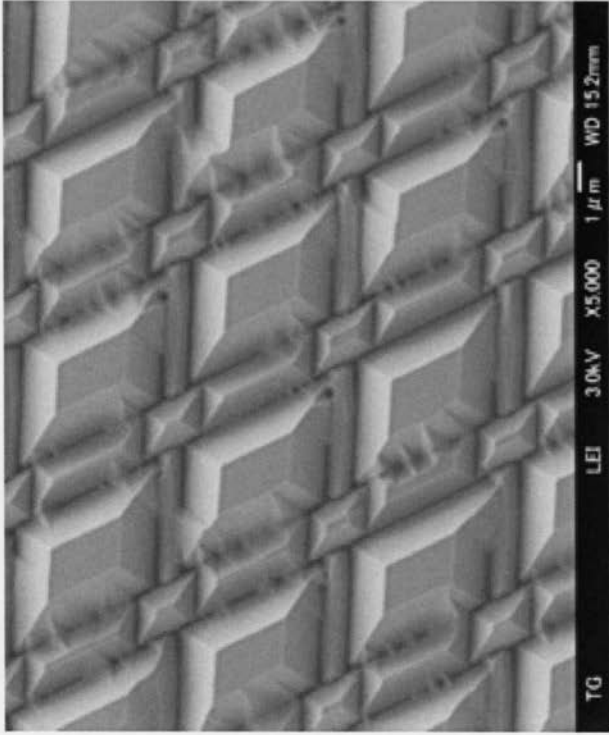


【図19】

m軸3° オフ m軸3° オフ

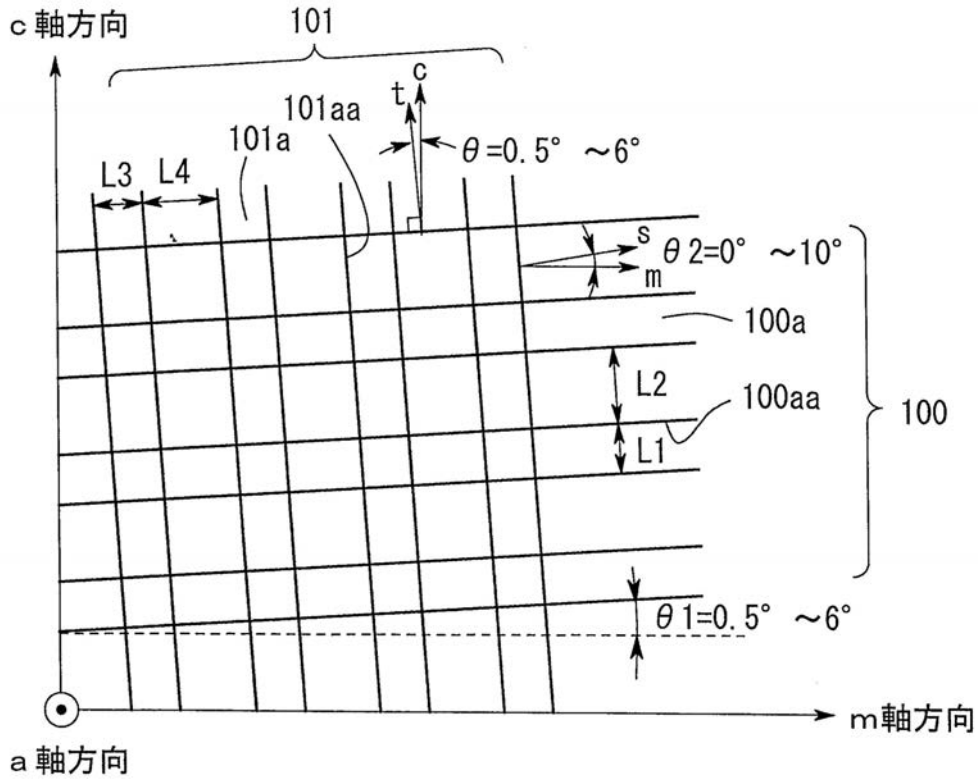


(a)

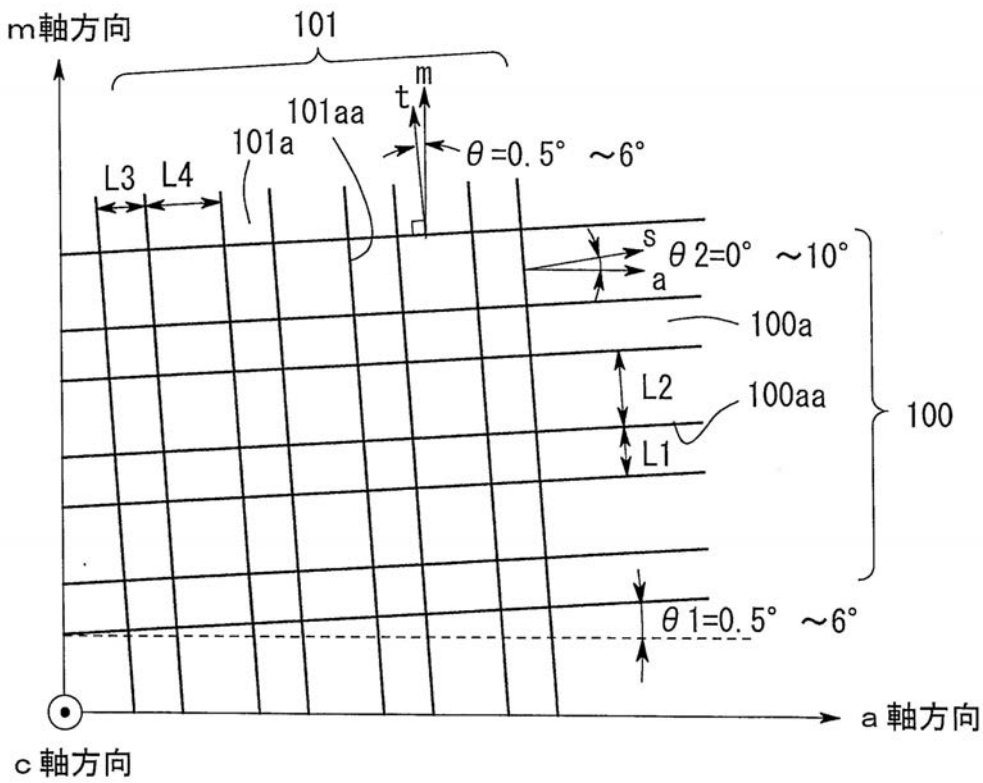


(b)

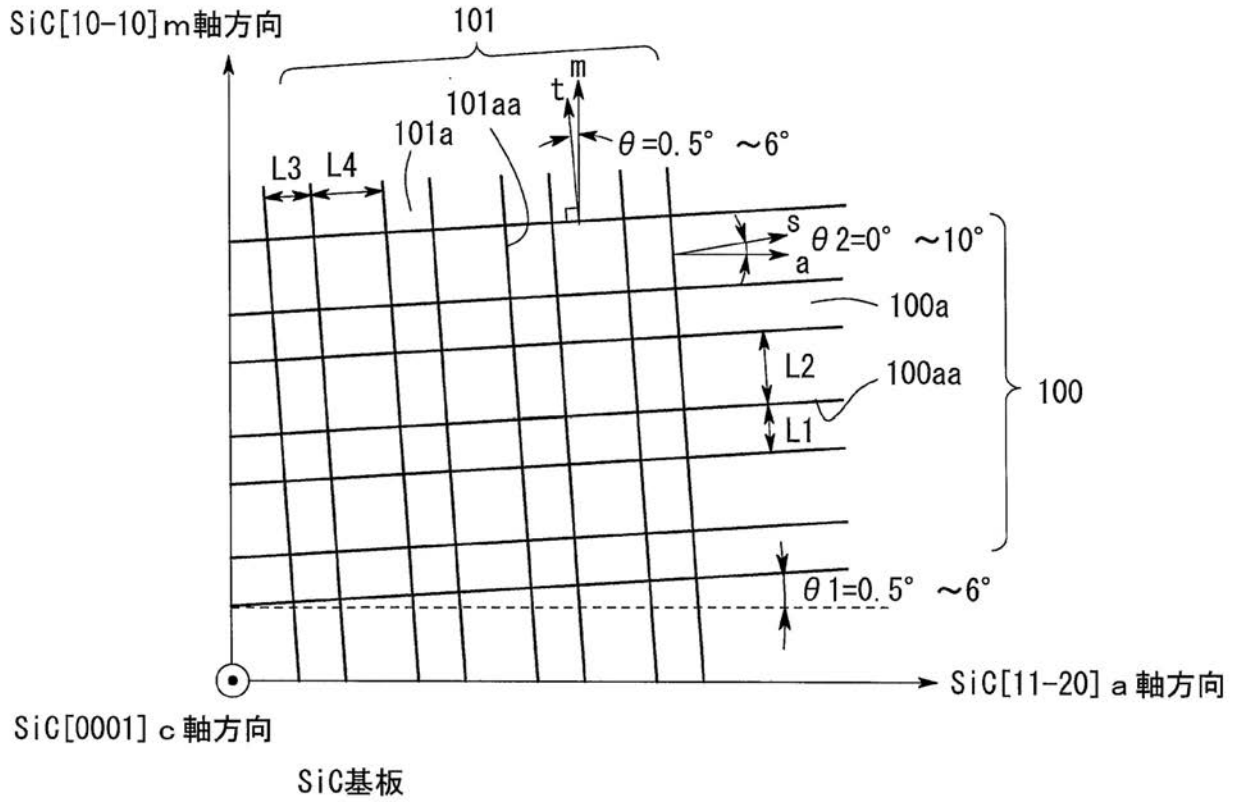
【圖 2 0】



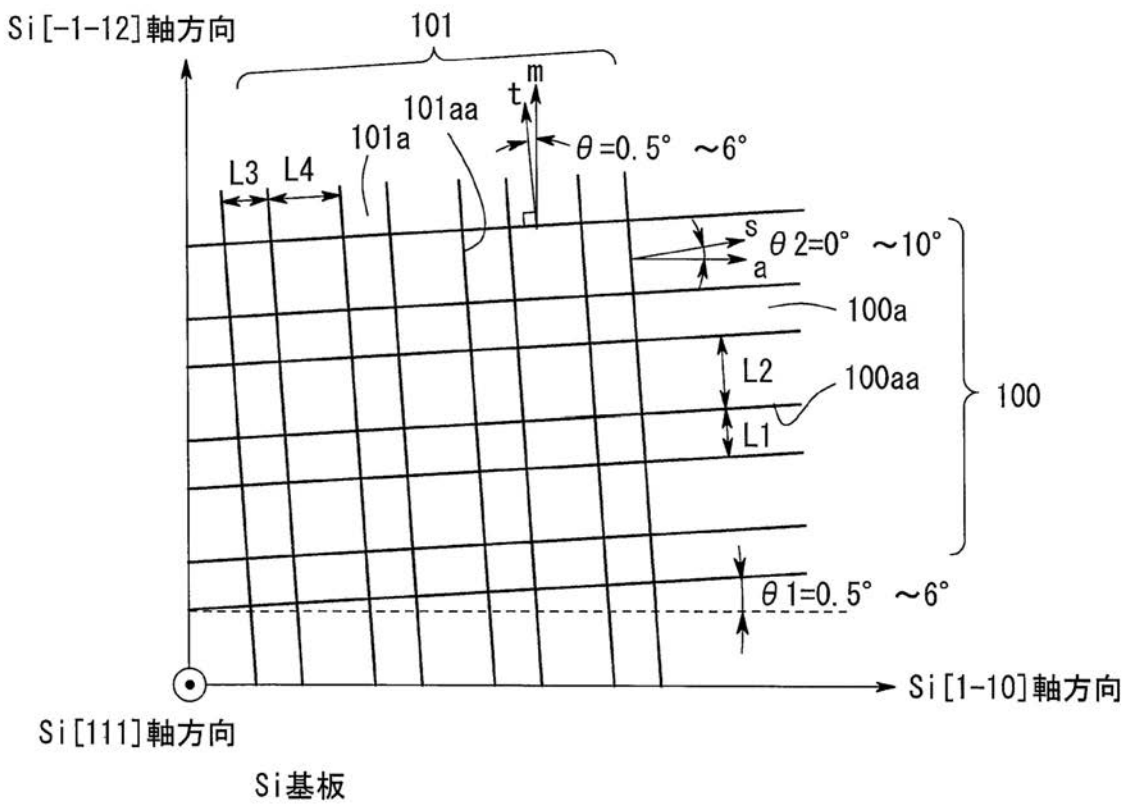
【圖 2 1】



【圖 2 2】



【圖 2 3】



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 33/32 (2010.01) H 0 1 L 33/00 1 8 6

(72)発明者 天野 浩

愛知県名古屋市千種区不老町1番 国立大学法人名古屋大学内

Fターム(参考) 4G077 AB02 BE15 DB08 ED04 ED05 ED06 EE07 HA02 HA12 TB05
TC17 TC19 TK01 TK04 TK06
4K030 AA11 AA13 AA17 AA18 AA20 BA02 BA08 BA11 BA38 BB13
CA04 CA05 CA11 FA10 LA14
5F045 AA04 AB09 AB14 AC08 AC12 AC19 AD07 AD08 AD09 AD14
AD15 AD16 AF02 AF09 AF12 BB12 BB16 CA09 CA10 DA67
EB15 HA03
5F141 AA40 CA05 CA23 CA40 CA65 CA74 CA88 CB11