

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5050574号  
(P5050574)

(45) 発行日 平成24年10月17日(2012.10.17)

(24) 登録日 平成24年8月3日(2012.8.3)

(51) Int.Cl. F I  
H O 1 L 33/32 (2010.01) H O 1 L 33/00 1 8 6

請求項の数 12 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2007-54648 (P2007-54648)	(73) 特許権者	000002130
(22) 出願日	平成19年3月5日(2007.3.5)		住友電気工業株式会社
(65) 公開番号	特開2008-218746 (P2008-218746A)		大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(43) 公開日	平成20年9月18日(2008.9.18)	(74) 代理人	100088155
審査請求日	平成22年3月5日(2010.3.5)		弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100092657
			弁理士 寺崎 史朗
		(74) 代理人	100110582
			弁理士 柴田 昌聰
		(74) 代理人	100108257
			弁理士 近藤 伊知良
		(72) 発明者	京野 孝史
			兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 III族窒化物系半導体発光素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1導電型窒化ガリウム系半導体領域と、

第2導電型窒化ガリウム系半導体領域と、

前記第1導電型窒化ガリウム系半導体領域と前記第2導電型窒化ガリウム系半導体領域との間に設けられ、第1の面と該第1の面に対して傾斜したファセット面から成る第2の面とを有する半導体表面上に設けられ、さらに前記半導体表面の前記ファセット面に起因する段差を表面に有する活性層と、

前記第1導電型窒化ガリウム系半導体領域、前記第2導電型窒化ガリウム系半導体領域および前記活性層を搭載する主面を有する基板と、

前記活性層の前記表面上に設けられており前記段差を埋め込むアンドープ窒化ガリウム系半導体層と、

前記第2導電型窒化ガリウム系半導体領域上に設けられた第1の電極と、

を備え、

前記第2導電型窒化ガリウム系半導体領域は、前記アンドープ窒化ガリウム系半導体層上に設けられ、

前記活性層は、 $In_{x_1}Ga_{1-x_1}N$  ( $0 < x_1 < 1$ ) からなる井戸層および  $In_{x_2}Ga_{1-x_2}N$  からなる ( $0 < x_2 < x_1$ ) 障壁層を含み、

前記井戸層は第1および第2の部分を含み、前記第1の部分は前記第1の面上に位置し、前記第2の部分は前記ファセット面上に位置し、

前記井戸層の前記第 2 の部分の厚さは、前記井戸層の前記第 1 の部分の厚さより薄く、前記井戸層の前記第 2 の部分におけるキャリアの再結合確率は、前記井戸層の前記第 1 の部分におけるキャリアの再結合確率より高い、ことを特徴とする III 族窒化物系半導体発光素子。

【請求項 2】

第 1 導電型窒化ガリウム系半導体領域と、

第 2 導電型窒化ガリウム系半導体領域と、

前記第 1 導電型窒化ガリウム系半導体領域と前記第 2 導電型窒化ガリウム系半導体領域との間に設けられ、第 1 の面と該第 1 の面に対して傾斜したファセット面から成る第 2 の面とを有する半導体表面上に設けられ、さらに前記半導体表面の前記ファセット面に起因する段差を表面に有する活性層と、

前記第 1 導電型窒化ガリウム系半導体領域、前記第 2 導電型窒化ガリウム系半導体領域および前記活性層を搭載する主面を有する基板と、

前記活性層の前記表面上に設けられており前記段差を埋め込むアンドープ窒化ガリウム系半導体層と、

前記第 2 導電型窒化ガリウム系半導体領域上に設けられた第 1 の電極と、  
を備え、

前記第 2 導電型窒化ガリウム系半導体領域は、前記アンドープ窒化ガリウム系半導体層上に設けられ、

前記活性層は、 $In_{x_1}Ga_{1-x_1}N$  ( $0 < x_1 < 1$ ) からなる井戸層および  $In_{x_2}Ga_{1-x_2}N$  からなる ( $0 < x_2 < x_1$ ) 障壁層を含み、

前記井戸層は第 1 および第 2 の部分を含み、前記第 1 の部分は前記第 1 の面上に位置し、前記第 2 の部分は前記ファセット面上に位置し、

前記井戸層の前記第 2 の部分のピエゾ電界は、前記井戸層の前記第 1 の部分のピエゾ電界より小さく、

前記井戸層の前記第 2 の部分におけるキャリアの再結合確率は、前記井戸層の前記第 1 の部分におけるキャリアの再結合確率より高い、ことを特徴とする III 族窒化物系半導体発光素子。

【請求項 3】

前記井戸層の前記第 2 の部分の厚さは、前記井戸層の前記第 1 の部分の厚さの 0.75 倍の厚さ以下である、ことを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載された III 族窒化物系半導体発光素子。

【請求項 4】

前記井戸層の前記第 2 の部分のインジウム組成は、前記井戸層の前記第 1 の部分のインジウム組成よりも小さい、ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 3 のいずれか一項に記載された III 族窒化物系半導体発光素子。

【請求項 5】

前記障壁層は第 1 および第 2 の部分を含み、前記第 1 の部分は前記第 1 の面上に位置し、前記第 2 の部分は前記ファセット面上に位置し、

前記障壁層の前記第 2 の部分の厚さは、前記障壁層の前記第 1 の部分の厚さより薄い、ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 4 のいずれか一項に記載された III 族窒化物系半導体発光素子。

【請求項 6】

前記障壁層の前記第 2 の部分の厚さは、前記障壁層の前記第 1 の部分の厚さの 0.2 倍の厚さ以上である、ことを特徴とする請求項 5 に記載された III 族窒化物系半導体発光素子。

【請求項 7】

前記半導体表面に対して前記第 1 の面の割合が 0.95 以下である、ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 6 のいずれか一項に記載された III 族窒化物系半導体発光素子。

【請求項 8】

10

20

30

40

50

前記半導体表面に対して前記第1の面の割合が0.8以上である、ことを特徴とする、ことを特徴とする請求項1～請求項7のいずれか一項に記載されたIII族窒化物系半導体発光素子。

【請求項9】

前記基板上に設けられ、前記半導体表面を提供するInGaN層を更に備える、ことを特徴とする請求項1～請求項8のいずれか一項に記載されたIII族窒化物系半導体発光素子。

【請求項10】

前記活性層における前記井戸層の数は3以上10以下である、ことを特徴とする請求項1～請求項9のいずれか一項に記載されたIII族窒化物系半導体発光素子。

10

【請求項11】

前記第1導電型窒化ガリウム系半導体領域に接続された第2の電極をさらに備え、前記基板はIII族窒化物半導体と異なる材料から成り、前記半導体表面における前記ファセット面は、Vピットによって提供される、ことを特徴とする請求項1～請求項10のいずれか一項に記載されたIII族窒化物系半導体発光素子。

【請求項12】

前記第1導電型窒化ガリウム系半導体領域に接続された第2の電極をさらに備え、前記基板の主面は段差を有しており、前記半導体表面における前記ファセット面は、前記基板の前記主面における前記段差に関連している、ことを特徴とする請求項1～請求項11のいずれか一項に記載されたIII族窒化物系半導体発光素子。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、III族窒化物系半導体発光素子に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献1には、窒化物半導体素子が記載されている。窒化物半導体素子は、基板上に順に設けられたn型窒化物半導体層、活性層およびp型窒化物半導体層を有する。この窒化物半導体素子において、活性層は、Inを有する窒化物半導体井戸層を含む多重量子井戸構造を有する。井戸層又は障壁層の単一層中にn型不純物を変調ドーピングすることによって順方向電圧を低減する。

30

【0003】

特許文献2には、窒化物半導体発光素子が記載されている。この窒化物半導体発光素子では、量子井戸構造の活性層は、n型窒化物半導体層とp型窒化物半導体層の間に設けられており、またインジウムを含む窒化物半導体井戸層を有する。障壁層よりバンドギャップエネルギーの大きい $Al_{1-d}Ga_dN$  (0.30 <math>d</math> <math>1</math>) 中間層をすべての井戸層上に形成する。これにより、窒化物半導体発光素子の閾値電圧又は駆動電圧が低減される。

40

【特許文献1】特開2003-179260号公報

【特許文献2】特開2004-297098号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献1の窒化物半導体素子のように、障壁層に不純物をドーピングすると、結晶品質の劣化が生じることがある。この結果、発光効率の悪化を招く。発光層に不純物をドーピングすると、吸収損失が生じることがある。

【0005】

特許文献2の窒化物半導体発光素子の作製のために、井戸層上にAlGaN中間層を成

50

膜している。しかしながら、InGa<sub>n</sub>N活性層と同じような温度域で、AlGa<sub>n</sub>Nを成膜することは容易ではない。InGa<sub>n</sub>Nは、摂氏800度付近においてN<sub>2</sub>雰囲気中で成長され、AlGa<sub>n</sub>Nは摂氏1000度以上でH<sub>2</sub>雰囲気中で成長される。このため、両者の成長温度域は大きく異なる。このように背景により、AlGa<sub>n</sub>N中間層の結晶品質を高めることが困難である。

【0006】

本発明は、このような事情を鑑みて為されたものであり、駆動電圧を下げる事が可能なIII族窒化物系半導体発光素子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】

【0007】

本発明の一側面に係るIII族窒化物系半導体発光素子は、(a)第1導電型窒化ガリウム系半導体領域と第2導電型窒化ガリウム系半導体領域との間に設けられ、第1の面と該第1の面に対して傾斜したファセット面から成る第2の面とを有する半導体表面上に設けられた活性層を備える。前記活性層は、In<sub>x1</sub>Ga<sub>1-x1</sub>N(0<x1<1)からなる井戸層およびIn<sub>x2</sub>Ga<sub>1-x2</sub>N(0<x2<1)からなる障壁層を含み、前記井戸層は第1および第2の部分を含み、前記第1の部分は前記第1の面上に位置し、前記第2の部分は前記ファセット面上に位置し、前記井戸層の前記第2の部分の厚さは、前記井戸層の前記第1の部分の厚さより薄い。

【0008】

井戸層は、第1の面および第2の面(傾斜したファセット面)上にそれぞれ形成された第1および第2の部分を含んでおり、井戸層の前記第2の部分の厚さは井戸層の前記第1の部分の厚さより薄い。井戸層が部分的に薄くなっているため、III族窒化物系半導体発光素子の駆動電圧が低減される。これは、井戸層が薄くなっている部分ではピエゾ電界が弱く、注入されたキャリアが再結合しやすいためと考えられる。

【0009】

本発明のIII族窒化物系半導体発光素子では、前記井戸層の前記第2の部分の厚さは、前記井戸層の前記第1の部分の厚さの0.75倍の厚さ以下であることが好ましい。井戸層において、第1の部分の厚さが第2の部分の幅の75%以下であれば、駆動電圧の低減が得られる。

【0010】

また、このIII族窒化物系半導体発光素子では、井戸層の前記第2の部分の厚さは井戸層の前記第1の部分の厚さの0.2倍の厚さ以上であることが好ましい。第1の部分の厚さが第2の部分の厚さの20%未満になると、層厚が薄くなり井戸層として機能しにくくなる。

【0011】

本発明のIII族窒化物系半導体発光素子では、前記障壁層は、前記第1の面上に位置する第1の部分と、前記ファセット面上に位置する第2の部分とを含み、前記障壁層の前記第2の部分の厚さは、前記障壁層の前記第1の部分の厚さより薄い。

【0012】

本発明のIII族窒化物系半導体発光素子では、前記障壁層の前記第1の部分の厚さは前記障壁層の前記第2の部分の厚さの0.2倍の厚さ以上であることが好ましい。

【0013】

また、このIII族窒化物系半導体発光素子では、障壁層の前記第2の部分の厚さが障壁層の前記第1の部分の厚さの0.75倍の厚さ以下であることが好ましい。

【0014】

本発明のIII族窒化物系半導体発光素子では、前記井戸層の前記第2の部分のインジウム組成は前記井戸層の前記第1の部分のインジウム組成よりも小さい。

【0015】

本発明のIII族窒化物系半導体発光素子では、前記半導体表面に対して前記第1の面の割合が0.95以下であることが好ましい。半導体表面の面積(S0)に対して第1の面の面積(S1)の比(S0-S1)/S0が0.05より大きいとき、駆動電圧の低減が

10

20

30

40

50

得られる。

【0016】

本発明のIII族窒化物系半導体発光素子では、前記半導体表面に対して前記第1の面の割合が0.8以上であることが好ましい。面積比 $(S0 - S1) / S0$ が0.2を越えるとき、発光スペクトルの半値幅が増大したり、或いは発光出力の低下が顕著になる。

【0017】

本発明のIII族窒化物系半導体発光素子では、前記活性層の表面は、前記半導体表面の前記ファセット面に起因する段差を有しており、前記III族窒化物系半導体発光素子は、前記活性層上に設けられており前記段差を埋め込む窒化ガリウム系半導体層を更に備えることができる。

10

【0018】

結晶成長によりファセット面に起因する段差を埋め込むことができ、活性層上に設けられる半導体層および電極を実質的に平坦な下地層の上形成できる。

【0019】

本発明のIII族窒化物系半導体発光素子では、前記活性層における前記InGaN井戸層の数は3以上であることが好ましい。井戸層の数は3以上である量子井戸構造でも、駆動電圧を下げるができる。また、前記活性層における前記InGaN井戸層の数は10以下であることが好ましい。InGaN井戸層の数が10を越えると、活性層が多くの半導体層から成り活性層の結晶品質を維持することが容易でない。

【0020】

20

本発明のIII族窒化物系半導体発光素子は、前記第1導電型窒化ガリウム系半導体領域、前記第2導電型窒化ガリウム系半導体領域および前記活性層を搭載する基板を更に備えることができる。前記基板はIII族窒化物半導体と異なる材料から成り、前記半導体表面における前記ファセット面は、Vピットによって提供される。このIII族窒化物系半導体発光素子によれば、Vピットを構成するファセット面を利用して、駆動電圧を下げるができる。

【0021】

本発明のIII族窒化物系半導体発光素子は、前記第1導電型窒化ガリウム系半導体領域、前記第2導電型窒化ガリウム系半導体領域および前記活性層を搭載する基板と、前記基板上に設けられ前記半導体表面を提供する窒化ガリウム系半導体領域とを更に備えることができる。前記基板の主面は段差を有しており、前記半導体表面における前記ファセット面は、前記主面における前記段差に関連している。窒化ガリウム系半導体領域は、段差を有する基板上に成長されたので、半導体表面には段差に関連したファセット面が形成される。このファセット面を利用して、駆動電圧を下げるができる。

30

【0022】

本発明の上記の目的および他の目的、特徴、並びに利点は、添付図面を参照して進められる本発明の好適な実施の形態の以下の詳細な記述から、より容易に明らかになる。

【発明の効果】

【0023】

以上説明したように、本発明によれば、駆動電圧を下げる事が可能なIII族窒化物系半導体発光素子が提供される。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0024】

本発明の知見は、例示として示された添付図面を参照して以下の詳細な記述を考慮することによって容易に理解できる。引き続き、添付図面を参照しながら、本発明のIII族窒化物系半導体発光素子に係る実施の形態を説明する。可能な場合には、同一の部分には同一の符号を付する。

【0025】

図1は、本実施の形態に係るIII族窒化物系半導体発光素子の構造を概略的に示す図面である。III族窒化物系半導体発光素子としては、例えば発光ダイオード等がある。図1

50

(a)を参照すると、III族窒化物系半導体発光素子11の特徴を表す一断面が示されている。III族窒化物系半導体発光素子11は、第1導電型窒化ガリウム系半導体領域13と、第2導電型窒化ガリウム系半導体領域15と、これらの半導体領域13、15の間に設けられた活性層17とを備える。活性層17は、半導体表面19上に設けられており、この半導体表面19は、所定の結晶面(例えば、実質的に(0001)面に等しい面)を有する第1の面19aと、該第1の面19aに対して傾斜したファセット面から成る第2の面19bとを有する。活性層19は量子井戸構造を有しており、また $In_{x_1}Ga_{1-x_1}N$ ( $0 < x_1 < 1$ )からなる井戸層21および $In_{x_2}Ga_{1-x_2}N$ ( $0 < x_2 < x_1$ )からなる障壁層23を含む。これら井戸層21および障壁層23は交互に配置されており、また障壁層23のバンドギャップは井戸層21のバンドギャップより大きい。具体的には、井戸層21はInGa<sub>N</sub>からなり、障壁層23はGa<sub>N</sub>またはInGa<sub>N</sub>からなる。

10

#### 【0026】

図1(b)を参照すると、半導体表面19上に成長された2周期分の井戸層21および障壁層23が示されている。InGa<sub>N</sub>井戸層21は、第1の面19a上に位置する第1の部分21aと、ファセット面19b上に位置する第2の部分21bとを含む。同様に、障壁層23は、第1の面19a上に位置する第1の部分23aと、ファセット面19b上に位置する第2の部分23bとを含む。第1の部分21aおよび第1の部分23aは交互に配列されており、第2の部分21bおよび第2の部分23bは交互に配列されている。InGa<sub>N</sub>井戸層21において、第2の部分21bの厚さ $d_{21b}$ は第1の部分21aの厚さ $d_{21a}$ より薄い。井戸層および障壁層の厚さは、下地の半導体表面19に対して垂直な方向に規定される。

20

#### 【0027】

ファセット面を有する半導体表面19上に活性層17を成長することによってInGa<sub>N</sub>井戸層21が部分的に薄くなっているため、III族窒化物系半導体発光素子11の駆動電圧が低減される。このIII族窒化物系半導体発光素子11によれば、駆動電圧の低減のために障壁層へのドーピングやAlGa<sub>N</sub>中間層を用いることなく、駆動電圧を下げる事が可能になる。

#### 【0028】

III族窒化物系半導体発光素子11は、第1導電型窒化ガリウム系半導体領域13、活性層17および第2導電型窒化ガリウム系半導体領域15を搭載する基板を更に備えることができる。基板25はIII族窒化物半導体と異なる材料から成ることができる。半導体表面19におけるファセット面19bは、Vピットによって提供される。

30

#### 【0029】

基板25として六方晶系の材料(例えば、サファイア等)を用いた場合には、窒化ガリウム系半導体は、基板25のC面(0001面)、或いはこの面から所望のオフ角を有する面上に成長される。このように異種基板上に窒化ガリウム系半導体を成長すると、格子不整に起因して多数の貫通転位が形成される。貫通転位に対応してVピットが形成される。このとき、ファセット面としては、例えば(11-22)面(「-2」は2バーを示す)等が現れる。例えば、基板25は、サファイアに限定されることなく、SiC等でもよい。

40

#### 【0030】

図1(a)に示されるように、活性層17の成長の後でも、活性層17の表面17aは、半導体表面19のファセット面19bに起因する段差を有している。活性層17の表面17aは、ファセット面17bを有する。このため、III族窒化物系半導体発光素子11は、活性層17上に設けられており段差を埋め込む窒化ガリウム系半導体層26を更に備えることが好ましい。結晶成長によりファセット面に起因する段差を埋め込むことができ、活性層17上に設けられる半導体層および電極を実質的に平坦な下地層の上形成できる。窒化ガリウム系半導体層26としては、InGa<sub>N</sub>を除いた窒化ガリウム系半導体、例えばアンドープGa<sub>N</sub>、アンドープAlGa<sub>N</sub>等を用いることができる。また、Mg等を

50

ドーピングし、p型のGa<sub>0.99</sub>N、あるいはAlGa<sub>0.99</sub>Nとしても良い。

【0031】

III族窒化物系半導体発光素子11では、第2導電型窒化ガリウム系半導体領域15は、例えば一または複数のp型窒化ガリウム系半導体層である。p型窒化ガリウム系半導体層は、p型電子ブロック層27およびp型コンタクト層29により構成されることができる。p型電子ブロック層27は、例えばp型AlGa<sub>0.99</sub>N半導体からなることができる。p型コンタクト層29は、例えばp型Ga<sub>0.99</sub>N半導体からなることができる。第2導電型窒化ガリウム系半導体領域15上には、第1の電極31が設けられる。

【0032】

第1導電型窒化ガリウム系半導体領域13は、例えば一又は複数のn型窒化ガリウム系半導体領域である。n型窒化ガリウム系半導体層は、ファセット面を提供するn型下地半導体層33とn型コンタクト半導体層35とによって構成されることができる。下地のn型窒化ガリウム系半導体層33は、例えばn型InGa<sub>0.99</sub>N、n型Ga<sub>0.99</sub>N、n型AlGa<sub>0.99</sub>Nからなることができる。半導体層33は、窒化ガリウム系半導体の内において成長時のマイグレーションが小さい材料からなることが好ましい。これによって、下地の欠陥や段差等によりファセット面が形成されやすい。n型コンタクト半導体層35は、例えばn型Ga<sub>0.99</sub>Nからなることができる。n型コンタクト半導体層35上には第2の電極37が設けられる。

【0033】

ファセット面を有する半導体表面19は、例えば貫通転位に起因して形成される、いわゆるVピットを有するものによって提供される。図2(a)は、Vピットを模式的に示す図面である。窒化ガリウム系半導体領域41は、例示的に示された貫通転位43を含み、窒化ガリウム系半導体領域41上に、窒化ガリウム系半導体の内において成長時のマイグレーションが小さい材料からなる膜45、例えばInGa<sub>0.99</sub>N膜、を成長することによって、下地の転位を伴うVピット47が形成されやすい。膜45は半導体表面45aを提供し、半導体表面45aは、第1の面45bと、第1の面45bに対して傾斜した第2の面45cとを含み、第2の面45cはファセット面である。Vピット47は、当該半導体材料が示す結晶対称性を有する。

【0034】

(実施例1)

図2(b)に示される構造の発光ダイオードを作製した。有機金属気相成長炉内にサファイア基板53をセットした。摂氏1100度の温度で、10分間、水素(H<sub>2</sub>)雰囲気中で、サファイア基板53のC面53aをサーマルクリーニングを行った。クリーニングの後に、厚さ25nmのGa<sub>0.99</sub>N層を摂氏475度で成長した。この後に、厚さ5μmのn型(シリコン添加)Ga<sub>0.99</sub>N膜55を成長した。n型Ga<sub>0.99</sub>N膜55は、多数の貫通転位(例えば、転位密度1×10<sup>9</sup>cm<sup>-2</sup>程度)を含む。摂氏800度の成長温度で、厚さ500nmのn型(シリコン添加)In<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>N膜57をn型Ga<sub>0.99</sub>N膜55上に成長した。In<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>N膜57の表面57aには、貫通転位に対応した図2(a)に示されるVピットが形成される。In<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>N膜57上に活性層59を成長した。活性層59は、厚さ3nmのIn<sub>0.14</sub>Ga<sub>0.86</sub>N井戸層59aと厚さ15nmのIn<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>N障壁層59bが交互に配置された多重量子井戸構造を有する。InGa<sub>0.99</sub>N多重量子井戸構造は、摂氏800度という低温であり、この温度では、原子のマイグレーションが抑制される。このような成長条件で、InGa<sub>0.99</sub>N多重量子井戸構造が成長されるので、ファセットは維持されたまま成長が進行する。

【0035】

この活性層59上に、摂氏1100度の成長温度に昇温した後に、10nmのアンドープGa<sub>0.99</sub>N層60を成長した。この昇温中の表面原子のマイグレーションとアンドープGa<sub>0.99</sub>Nの成長によってファセットは埋められ、アンドープGa<sub>0.99</sub>N層60の表面は平坦になる。ファセット部のステップ密度は高いので、マイグレーションしてきた原子が結晶として取り込まれやすい。また、アンドープGa<sub>0.99</sub>Nは摂氏1100度という高温で成長するので、

10

20

30

40

50

原子のマイグレーションが促進され、ステップ密度の高いファセット部に優先的に取り込まれ、この結果、平坦化が成される。

【0036】

次いで、アンドープGaN層60上に、順に、厚さ20nmのp型(Mg添加)AlGaN電子ブロック層61、厚さ50nmの(Mg添加)GaNコンタクト層63を成長した。この後に、p側電極(Ni/Au)65を形成した。また、エッチングにより部分的にn型GaN膜55を露出させた後に、n側電極(Ti/Al)67を形成した。これらの工程により、発光ダイオードAが完成した。比較のために、InGaN層57を含まない発光ダイオードBも作製した。

【0037】

まず、発光ダイオードAの評価試料を作製して、この試料の透過型電子顕微鏡像(HAADF-STEM像)を撮影した。図3は、試料のVピット部の透過型電子顕微鏡像を示す図面である。この像によれば、Vピット斜面では井戸層とバリア層の膜厚が薄くなっている。また、Vピット斜面上の井戸層のコントラストが平坦面上の井戸層のコントラストに比べて弱いので、Vピット上の井戸層のインジウム組成は、平坦面上の井戸層のインジウム組成に比べて小さい。窒化ガリウム系半導体の成長において、ステップ密度が高い半導体エリアでは、インジウムは取り込まれにくく、成長速度も遅くなるので、インジウム組成の振る舞いは妥当である。さらに、活性層の多層膜は、平坦面およびVピットの斜面に沿って伸びているので、Vピットに対応した凹みが、活性層の表面にも形成される。活性層上に窒化ガリウム系半導体、例えばアンドープGaNまたはアンドープAlGaN、

10

20

【0038】

この発光ダイオードの電気特性を評価した。図4は、発光ダイオードA、Bの電流-電圧特性 $C_A$ 、 $C_B$ を示すグラフである。発光ダイオードAの駆動電圧は、発光ダイオードBの駆動電圧に比べて低下した。井戸層の厚みが小さいほど、駆動電圧は下がるので、実施例における発光ダイオードAの井戸層では、薄い部分と厚い部分とが並列回路を構成していると考えられる。発光ダイオードA、B共に、450nmの波長で発光し、その発光出力もほぼ同等であった。すなわち、発光ダイオードAのようなVピットの利用は発光出力へ悪影響を与えないと考えられる。

30

【0039】

(実施例2)

InGaN層の膜厚に依存してVピットのサイズが変化する様子を調べるために、図5(a)に示される構造の評価試料を作製した。評価試料は、発光ダイオードAの作製工程において活性層の成長が完了した後に、成長炉がエピタキシャルウエハを取り出した。In<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>N層57の膜厚が、100nm、300nm、500nmの3種類の試料を作製し、走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて活性層の表面を観察した。

40

【0040】

図5(b)、図6(a)および図6(b)に示されるように、In<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>N層57の膜厚の増加に伴い、六角錘状の穴が拡大していく。この穴は貫通転位に対応しており、その垂直断面の形状からVピットと呼ばれる。n型GaNの堆積では、貫通転位を引き継ぎながらGaNの成長が進行するので、GaNにVピットは形成されない。一方、低温(例えば、摂氏900度以下の成長温度)でマイグレーションが生じにくいInGaNを厚く堆積すると、Vピットが拡大した。InGaN層57上に成長されたInGaN井戸層を含む多重量子井戸構造も低温で成長するので、Vピットは埋まることなくファセット面上に薄膜が成膜される。これ故に、活性層の表面を撮影したSTEM像(図3)にもVピットが観測される。

50



## 【 0 0 4 1 】

実施の形態は、上記の実施例等に基づくものに限定されない。III族窒化物系半導体発光素子11では、InGaN井戸層21の第2の部分21bの厚さはInGaN井戸層の第1の部分21aの厚さの0.75倍の厚さ以下であることが好ましい。このとき、駆動電圧の低減が得られる。また、第1の部分21aの幅が第2の部分21bの厚さの20%未満になると、層厚が極端に薄くなり井戸層として機能しにくくなる。さらに、InGaN井戸層21において、第2の部分21bのインジウム組成は第1の部分21aのインジウム組成よりも小さい。この点もピエゾ電界低下につながるため、駆動電圧低減に有利に働くという利点がある。

## 【 0 0 4 2 】

障壁層23の第2の部分23bの厚さは第1の部分23aの厚さより薄い。ファセット面上では、InGaN井戸層21および障壁層23の厚さは共に薄い。

## 【 0 0 4 3 】

障壁層23の第1の部分23aの厚さは、障壁層23の第2の部分23bの厚さの0.2倍の厚さ以上であることが好ましい。この範囲であれば障壁層として機能する。また、 $In_{x_2}Ga_{1-x_2}N$ 障壁層の第1の部分の厚さが $In_{x_2}Ga_{1-x_2}N$ 障壁層の第2の部分の厚さの0.75倍の厚さ以下であることが好ましい。

## 【 0 0 4 4 】

半導体表面19の面積( $S_0$ )に対して第1の面19aの面積( $S_1$ )の比( $S_0 - S_1$ ) /  $S_0$ が0.05以下であれば、駆動電圧の低減が得られる。また、面積比( $S_0 - S_1$ ) /  $S_0$ が0.8未満になると、発光スペクトルの半値幅が増大したり、或いは発光出力の低下が顕著になる。

## 【 0 0 4 5 】

活性層17におけるInGaN井戸層21の数は3以上であることが好ましい。井戸層21の数は3以上である量子井戸構造でも、駆動電圧を下げるができる。また、活性層17におけるInGaN井戸層21の数は10以下であることが好ましい。InGaN井戸層21の数が10を越えると、活性層17が、多層半導体膜から成り、活性層17の結晶品質を維持することが容易でない。

## 【 0 0 4 6 】

図7は、本発明の実施の形態に係るIII族窒化物系半導体発光素子の変形例を示す図面である。III族窒化物系半導体発光素子11aでは、ファセット面を提供する半導体表面は、窒化ガリウム系半導体層73の半導体表面75によって提供される。半導体表面75は、所定の結晶面(例えば、実質的に(0001)面に等しい面)を有する第1の面75aと、該第1の面75aに対して傾斜したファセット面から成る第2の面75bとを有する。このような半導体表面75を形成するために、III族窒化物系半導体発光素子11aは、III族窒化物基板77を含む。III族窒化物基板77は、例えばGaN、AlGaN、AlN等からなる。また、III族窒化物基板77は、商業的に入手可能なウエハであることができ、或いはこのようなウエハ上に結晶成長したエピタキシャルウエハであってもよい。III族窒化物基板77は、第1導電型窒化ガリウム系半導体領域13、活性層19および第2導電型窒化ガリウム系半導体領域15を搭載する。本実施例では、第1導電型窒化ガリウム系半導体領域13は窒化ガリウム系半導体層73を含む。

## 【 0 0 4 7 】

III族窒化物基板77の主面77aは段差79を有する。半導体表面73におけるファセット面75bは、主面77aにおける段差79に関連している。段差79の傾斜角 $\theta$ は、III族窒化物基板77上に窒化ガリウム系半導体層73をエピタキシャル成長した際に半導体表面75がファセット面を提供できるような範囲である。この段差79は、例えばマスクを用いてIII族窒化物基板77をエッチングして形成される。この場合、段差79の傾斜角 $\theta$ は、III族窒化物基板77の主面77aに対してほぼ90度である。一例を示せば、傾斜角 $\theta$ の範囲は、角度75度以上であることが好ましく、また角度90度以下であることが好ましい。段差79は、基板77の主面77a上に

10

20

30

40

50

設けられた側面79aを有する。段差79の形成は、図7に示された具体的な形状に限定されることはない。下地のn型窒化ガリウム系半導体層73は、例えばn型InGa<sub>0.99</sub>N、n型Ga<sub>0.99</sub>Nからなることができる。半導体層73は、マイグレーションが小さくなる条件で成長できる窒化ガリウム系半導体からなることが好ましい。

【0048】

段差79を有する基板77上に、窒化ガリウム系半導体層73が成長されたので、半導体表面75には段差79に関連したファセット面75bが形成される。このファセット面75bを利用して、駆動電圧を下げるができる。

【0049】

(実施例3)

GaN基板上に発光ダイオードを作製した。GaN基板の転位密度が、例えば $10^6 \text{ cm}^{-2}$ 以下であるので、多数のVピットは形成されない。そこで、塩素およびアルゴンを含むエッチングガスで、マスクを用いてGaN基板のドライエッチング(反応性イオンエッチング)を行った。マスクのパターンは、ストライプ、円形等である。GaN基板をエッチングによって加工して、GaN基板の表面にファセット面を形成した。この加工により、溝や凹みといった形状によって提供される段差が形成される。段差の大きさは、例えば1 $\mu\text{m}$ 程度である。

【0050】

加工されたGaN基板を有機金属気相成長炉内にセットした。摂氏1050度で、10分間、アンモニアおよび水素を含む雰囲気中に保持して、前処理としてサーマルクリーニングを行った。摂氏1150度の成長温度で、厚さ2 $\mu\text{m}$ のn型(シリコン添加)GaNを成長した。GaN基板の段差が完全には埋まらない成長条件では、このGaNが、ファセット面を有する半導体表面を提供する。実施例1と同様にして、活性層等を成長した。活性層の表面にもファセット面が形成された。活性層の表面の段差は、アンドープGaN層とそれに続くp型GaN層により埋め込んだ。このエピタキシャル基板に電極を形成して、発光ダイオードCを作製した。なお、段差を形成しないGaN基板上にも、同じ条件で窒化ガリウム系エピタキシャル膜の構造を形成した。このエピタキシャル基板に電極を形成して、発光ダイオードDを作製した。

【0051】

発光ダイオードCの駆動電圧は、発光ダイオードDの駆動電圧より低かった。この駆動電圧差は、例えば20mAの駆動電流において0.3ボルトであった。

【0052】

好適な実施の形態において本発明の原理を図示し説明してきたが、本発明は、そのような原理から逸脱することなく配置および詳細において変更され得ることは、当業者によって認識される。本発明は、本実施の形態に開示された特定の構成に限定されるものではない。したがって、特許請求の範囲およびその精神の範囲から来る全ての修正および変更権利を請求する。

【図面の簡単な説明】

【0053】

【図1】図1は、本実施の形態に係るIII族窒化物系半導体発光素子の構造を概略的に示す図面である。

【図2】図2(a)は、Vピットを模式的に示す図面である。図2(b)は発光ダイオードの構造の一例を示す図面である。

【図3】図3は、試料のVピット部の透過型電子顕微鏡像を示す図面である。

【図4】図4は、発光ダイオードA、Bの電流-電圧特性 $C_A$ 、 $C_B$ を示すグラフである。

【図5】図5(a)は、InGa<sub>0.99</sub>N層の膜厚に依存してVピットのサイズが変化する様子を調べるため評価試料の構造を示す図面である。図5(b)は、厚さ100nmのIn<sub>0.99</sub>Ga<sub>0.01</sub>N層のVピットの形成を示す図面である。

【図6】図6(a)は、厚さ300nmのIn<sub>0.99</sub>Ga<sub>0.01</sub>N層のVピットの形

10

20

30

40

50

成を示す図面である。図6(b)は、厚さ500nmのIn<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>N層のVピットの形成を示す図面である。

【図7】図7は、本発明の実施の形態に係るIII族窒化物系半導体発光素子の変形例を示す図面である。

【符号の説明】

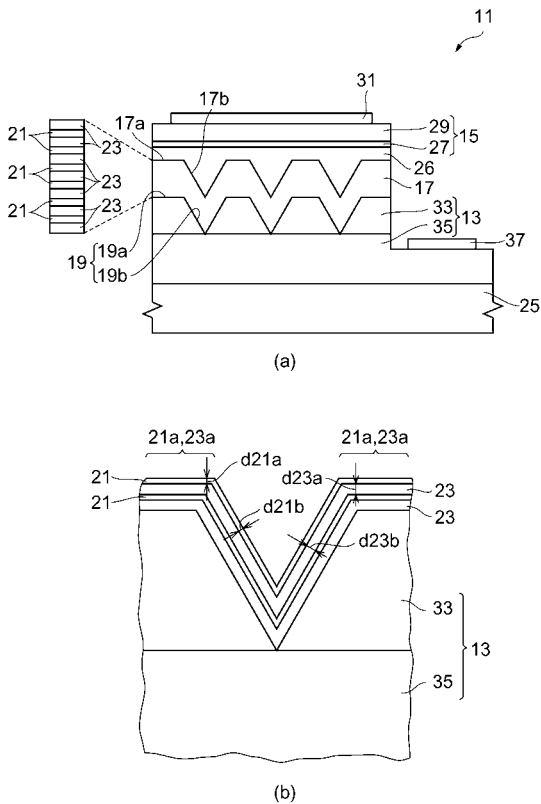
【0054】

11、11a...III族窒化物系半導体発光素子、13...第1導電型窒化ガリウム系半導体領域、15...第2導電型窒化ガリウム系半導体領域、17...活性層、17a...活性層の表面、17b...活性層のファセット面、19...半導体表面、19a...半導体表面の第1の面、19b...半導体表面の第2の面(ファセット面)、21...井戸層、23...障壁層、21a...井戸層の第1の部分、21b...井戸層の第2の部分、23a...障壁層の第1の部分、23b...障壁層の第2の部分、d<sub>21b</sub>...第2の部分の厚さ、d<sub>21a</sub>...第1の部分の厚さ、25...基板、27...p型電子ブロック層、29...p型コンタクト層、31...第1の電極、33...n型下地半導体層、35...n型コンタクト半導体層、41...窒化ガリウム系半導体領域、43...貫通転位、47...Vピット、45a...半導体表面、45b...半導体表面の第1の面、45c...半導体表面の第2の面、53...サファイア基板、55...n型(シリコン添加)Ga<sub>0.99</sub>N膜、57...n型(シリコン添加)In<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>N膜、59...活性層、59a...In<sub>0.14</sub>Ga<sub>0.86</sub>N井戸層、59b...In<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>N障壁層、61...AlGa<sub>0.99</sub>N電子ブロック層、63...(Mg添加)Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層、65...p側電極(Ni/Au)、67...n側電極(Ti/Al)、A、B、C、D...発光ダイオード、73...窒化ガリウム系半導体層、75...半導体表面、75a...半導体表面の第1の面、75b...半導体表面の第2の面、77...III族窒化物基板、79...III族窒化物基板の段差、THETA...傾斜角

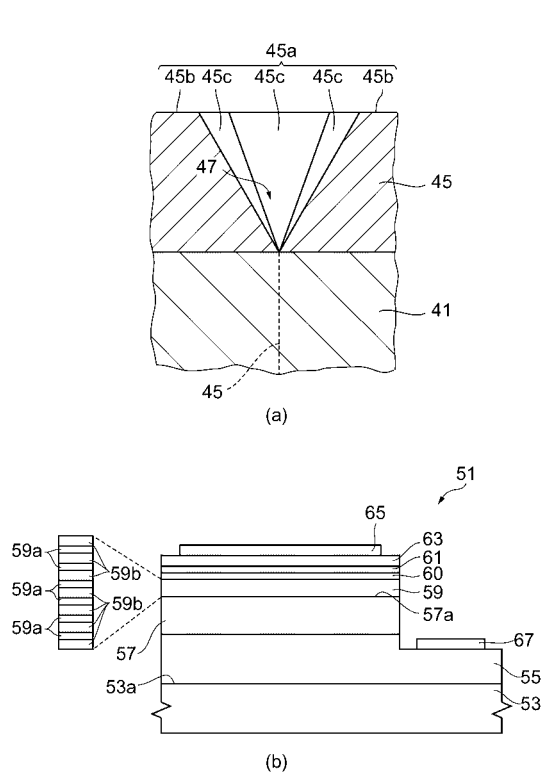
10

20

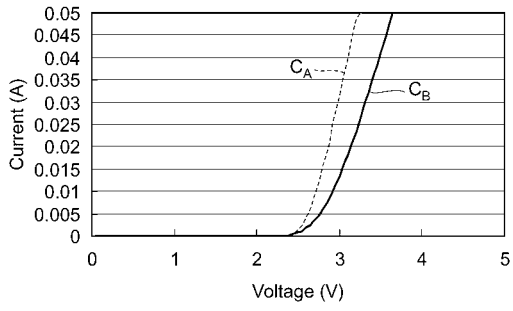
【図1】



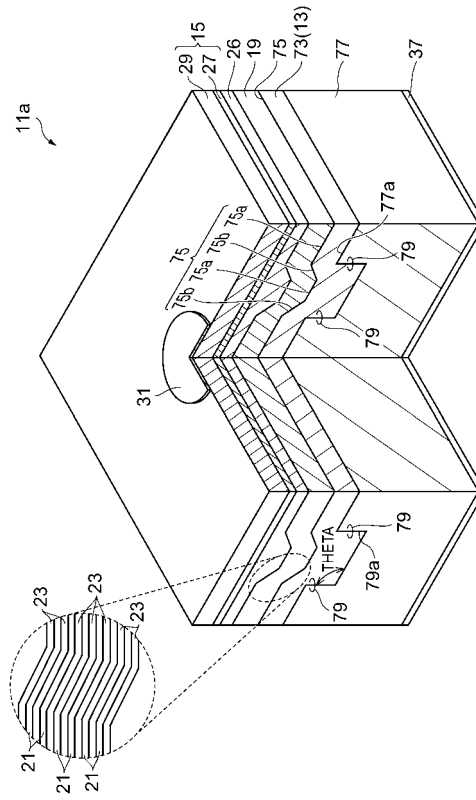
【図2】



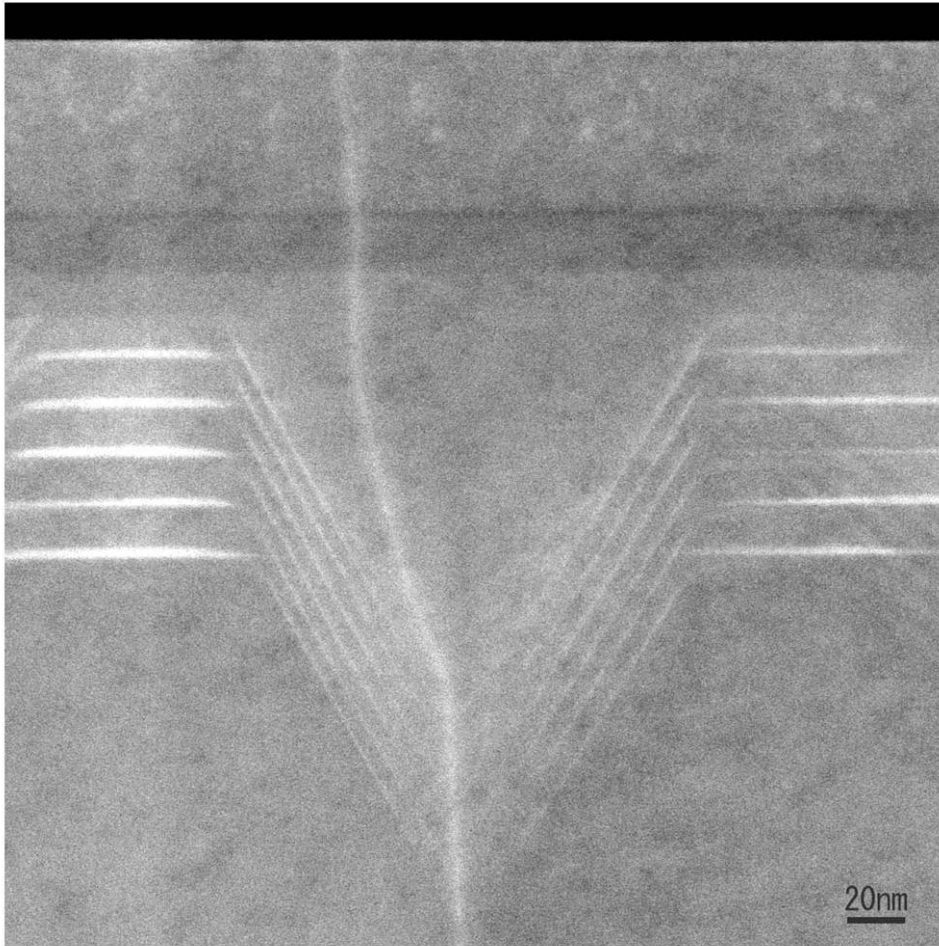
【 図 4 】



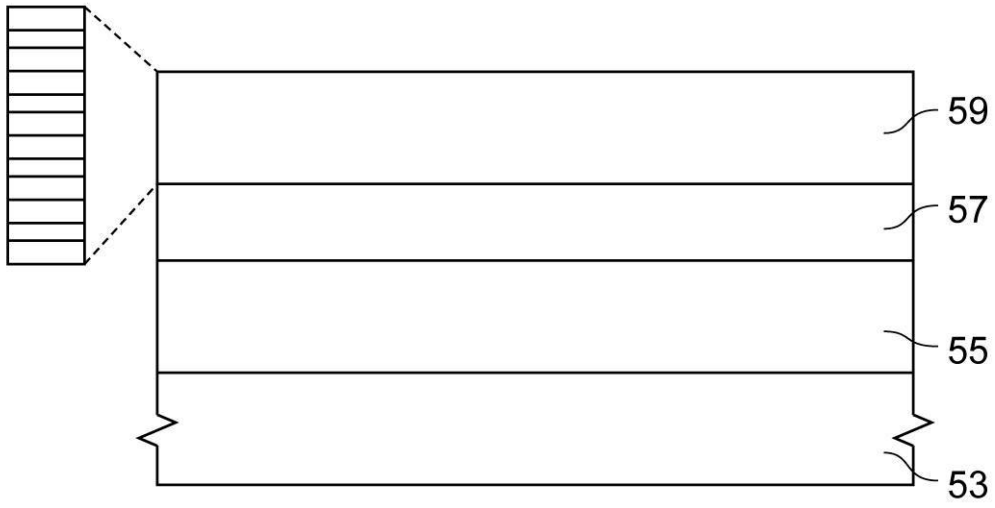
【 図 7 】



【 図 3 】

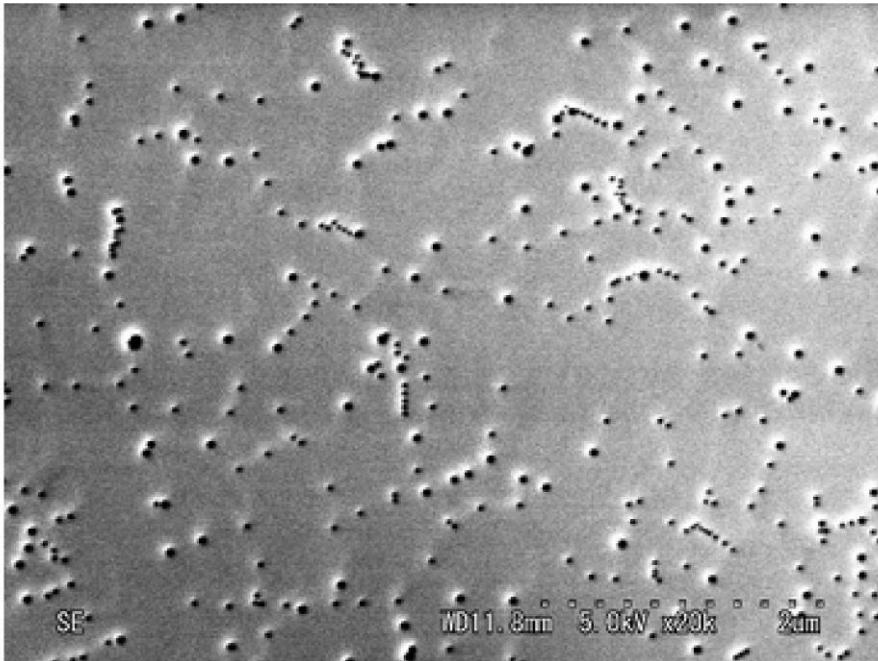


【 図 5 】



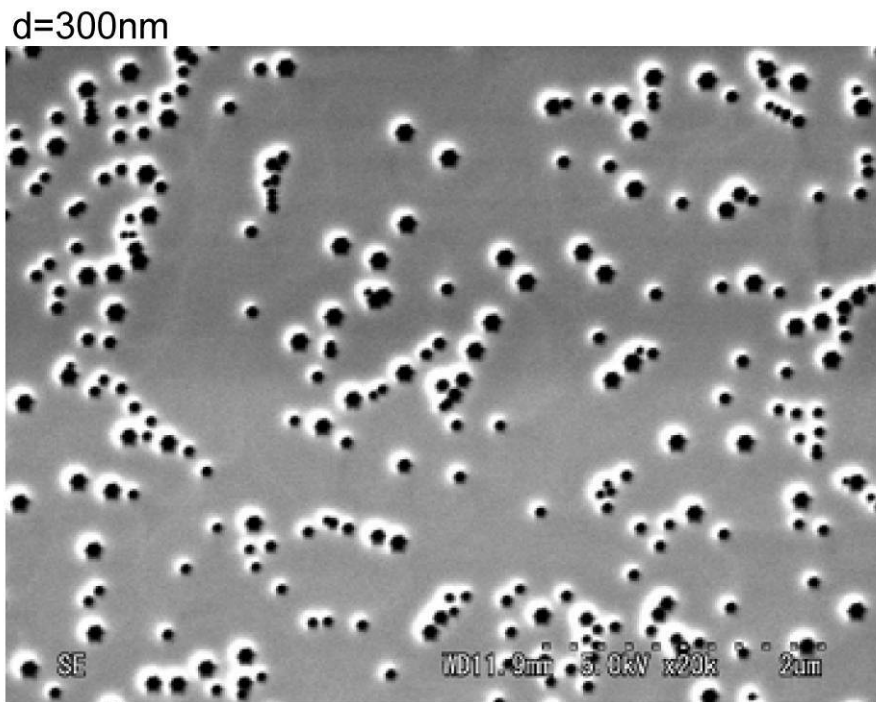
(a)

d=100nm

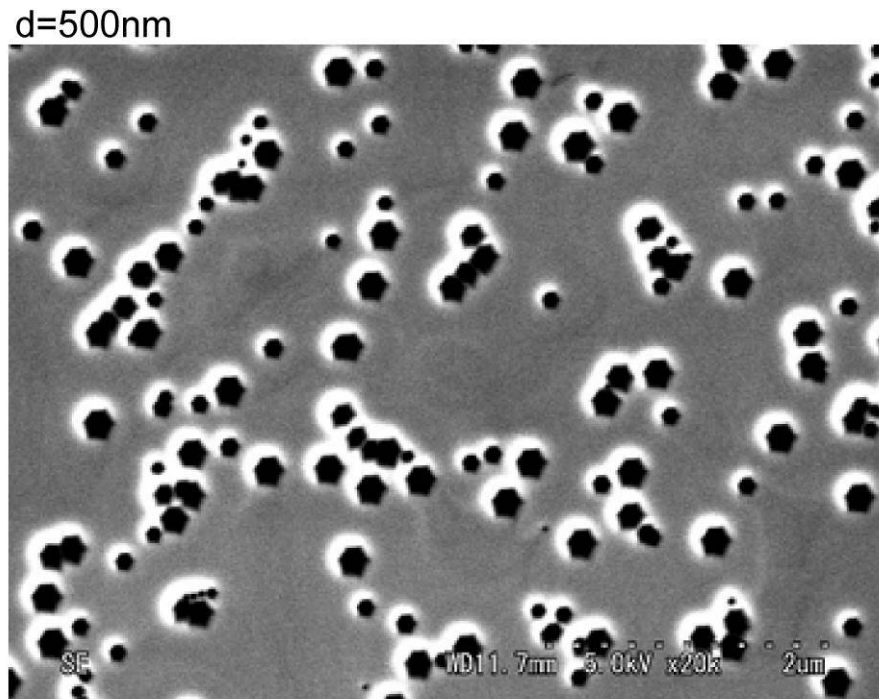


(b)

【 図 6 】



(a)



(b)

---

フロントページの続き

(72)発明者 善積 祐介

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

(72)発明者 上野 昌紀

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

審査官 道祖土 新吾

(56)参考文献 国際公開第06/118623(WO, A1)

特開2002-185040(JP, A)

特開2003-092426(JP, A)

特開2002-164296(JP, A)

特開平11-112029(JP, A)

特開2003-158297(JP, A)

特開2003-101156(JP, A)

特開2006-310766(JP, A)

特開2006-186005(JP, A)

特開2006-147942(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 33/00 - 33/64

H01S 5/00 - 5/50