

(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2014-123765

(P2014-123765A)

(43) 公開日 平成26年7月3日(2014.7.3)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/205 (2006.01)	HO 1 L 21/205	4 G O 7 7
C 2 3 C 16/34 (2006.01)	C 2 3 C 16/34	4 K O 3 O
C 3 O B 29/38 (2006.01)	C 3 O B 29/38 D	5 F O 4 5
HO 1 L 33/32 (2010.01)	HO 1 L 33/00 1 8 6	5 F 1 4 1

審査請求 有 請求項の数 8 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2014-36551 (P2014-36551)	(71) 出願人	000002130 住友電気工業株式会社
(22) 出願日	平成26年2月27日 (2014.2.27)		大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(62) 分割の表示	特願2009-111197 (P2009-111197) の分割	(71) 出願人	000153236 株式会社光波
原出願日	平成21年4月30日 (2009.4.30)		東京都練馬区向山2丁目6番8号
		(74) 代理人	100088155 弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100113435 弁理士 黒木 義樹
		(74) 代理人	100136722 弁理士 ▲高▼木 邦夫
		(74) 代理人	100108257 弁理士 近藤 伊知良

最終頁に続く

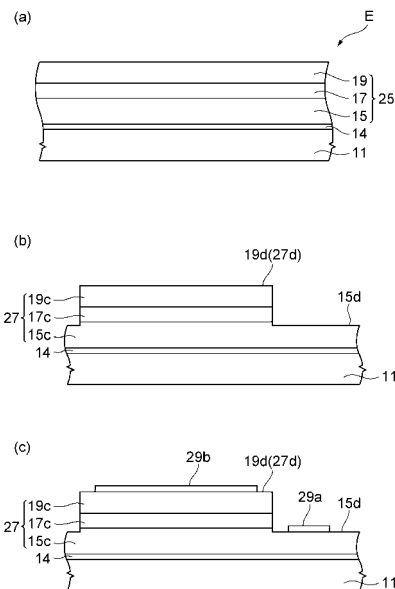
(54) 【発明の名称】 ウエハ生産物、窒化ガリウム系半導体光素子

(57) 【要約】

【課題】酸化ガリウム基板上に成長された活性層を含み発光強度を向上可能なウエハ生産物を提供する。

【解決手段】 III族窒化物からなるバッファ層13を酸化ガリウム基板11の主面11a上に摂氏600度で成長する。バッファ層13を成長した後に、水素及び窒素を含むガスG2を成長炉10に供給しながら、摂氏1050度で酸化ガリウム基板11及びバッファ層13を成長炉11の雰囲気中にさらす。III族窒化物半導体層15の堆積は、改質されたバッファ層上に行われる。改質されたバッファ層は例えばボイドを含む。III族窒化物半導体層15はGaN及びAlGaNからなることができる。ウエハ生産物は、酸化ガリウム基板11上のIII族窒化物からなる積層体と、該積層体と酸化ガリウム基板11との界面にボイドが設けられている。

【選択図】 図5



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

酸化ガリウム基板と、  
前記酸化ガリウム基板上に形成したIII族窒化物からなる積層体とを含み、  
前記酸化ガリウム基板と前記積層体との界面にボイドが設けられている、ウエハ生産物。

## 【請求項 2】

前記積層体は、前記酸化ガリウム基板上に形成したIII族窒化物バッファ層と、前記III族窒化物バッファ層上に形成したIII族窒化物半導体層とを含む、請求項 1 に記載されたウエハ生産物。

10

## 【請求項 3】

前記III族窒化物バッファ層は、2 ナノメートル以上であり、100 ナノメートル以下の厚さを有する、請求項 2 に記載されたウエハ生産物。

## 【請求項 4】

前記III族窒化物バッファ層は、GaN、AlGa<sub>N</sub>、及びAlNの少なくともいずれか一層を含む、請求項 2 又は請求項 3 に記載されたウエハ生産物。

## 【請求項 5】

前記III族窒化物半導体層は、1 マイクロメートル以上20 マイクロメートル以下の厚さを有する、請求項 2 ~ 請求項 4 のいずれか一項に記載されたウエハ生産物。

## 【請求項 6】

前記III族窒化物半導体層は、GaN、AlGa<sub>N</sub>、InGa<sub>N</sub>、及びAlNの少なくともいずれか一層を含む、請求項 2 ~ 請求項 5 のいずれか一項に記載されたウエハ生産物。

20

## 【請求項 7】

前記ボイドのサイズは、10 nm ~ 1 μmの大きさを有する、請求項 1 ~ 請求項 6 のいずれか一項に記載されたウエハ生産物。

## 【請求項 8】

請求項 1 ~ 請求項 7 のいずれか一項に記載されたウエハ生産物を含む窒化ガリウム系半導体光素子。

## 【発明の詳細な説明】

30

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、ウエハ生産物、窒化ガリウム系半導体光素子、ウエハ生産物を作製する方法、及び窒化ガリウム系半導体光素子を作製する方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

非特許文献 1 には、(100) - Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 基板上への有機金属気相成長法によるGaNエピタキシャル成長が記載されている。GaNエピタキシャル成長では、Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 基板上に、低温GaNバッファ層を摂氏600度で成長する。この低温GaNバッファ層上に直接に1000 nmのGaN層を摂氏1070度で成長する。

40

## 【0003】

非特許文献 2 には、InGa<sub>N</sub>系発光ダイオードが記載されている。発光ダイオードは、パターン形成されたサファイア基板を用い、またこのサファイア基板上にバッファ層を介して複数の窒化ガリウム系半導体層が成長される。サファイア基板のパターン形成により光の取り出し効率を向上させる。

## 【0004】

非特許文献 3 には、InGa<sub>N</sub> - Ga<sub>N</sub>発光ダイオードが記載されている。この発光ダイオードはサファイア基板上に成長されたGaN系膜を含む。サファイア基板は、レーザー光を用いてGaN系膜と分離される。

## 【先行技術文献】

50

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献1】Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 44, No. 1, 2005, pp L7-L5

【非特許文献2】Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 41, (2002), ppL1431-L1433, Part 2, No. 12B, 15, December, 2002

【非特許文献3】Appl. Phys. Lett. Vol. 89, 071109, (2006)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

酸化ガリウム基板は、窒化ガリウム系半導体光素子の作製に利用可能である。発明者の知見によれば、酸化ガリウムは、窒化ガリウム系半導体層の成長に用いられる水素含有雰囲気中に冒される。水素による酸化ガリウム基板の損傷を避けるために、高温の水素雰囲気中に酸化ガリウム基板を触れさせない成膜シーケンスを用いる。ところが、発明者らの検討によれば、窒化ガリウム系半導体光素子のための窒化ガリウム系半導体層を酸化ガリウム基板上に成長するシーケンスにおいて、酸化ガリウムに接触する低温バッファ層を改質できることを見いだした。

10

【0007】

本発明は、このような事情を鑑みて為されたものであり、酸化ガリウム基板上に成長された活性層を含み発光強度を向上可能なウエハ生産物、及びウエハ生産物を作製する方法を提供することを目的とし、酸化ガリウム基板上に成長された活性層を含み発光強度を向上可能な窒化ガリウム系半導体光素子、及び窒化ガリウム系半導体光素子を作製する方法を提供することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の一側面に係るウエハ生産物は、酸化ガリウム基板と、前記酸化ガリウム基板上に形成したIII族窒化物からなる積層体とを含み、前記酸化ガリウム基板と前記積層体との界面にポイドが設けられている。本発明の一側面に係るウエハ生産物では、前記積層体は、前記酸化ガリウム基板上に形成したIII族窒化物バッファ層と、前記III族窒化物バッファ層上に形成したIII族窒化物半導体層とを含む。本発明の一側面に係るウエハ生産物では、前記III族窒化物バッファ層は、2ナノメートル以上であり、100ナノメートル以下の厚さを有する。本発明の一側面に係るウエハ生産物では、前記III族窒化物バッファ層は、GaN、AlGaN、及びAlNの少なくともいずれか一層を含む。本発明の一側面に係るウエハ生産物では、前記III族窒化物半導体層は、1マイクロメートル以上20マイクロメートル以下の厚さを有する。本発明の一側面に係るウエハ生産物では、前記III族窒化物半導体層は、GaN、AlGaN、InGaN、及びAlNの少なくともいずれか一層を含む。本発明の一側面に係るウエハ生産物では、前記ポイドのサイズは、10nm~1μmの大きさを有する。本発明の一側面に係る窒化ガリウム系半導体光素子では、上記の或いは以下に記載されるいずれかのウエハ生産物を含む。

30

本発明の一側面は、窒化ガリウム系半導体光素子のためのウエハ生産物を作製する方法である。この方法は、(a)酸化ガリウム基板を準備する工程と、(b)前記酸化ガリウム基板の主面上に、III族窒化物からなる積層体を形成する工程と、(c)前記積層体を形成した後に、活性層を形成する工程と、(d)前記活性層上に第2のIII族窒化物半導体層を成長する工程とを備える。前記積層体を形成する前記工程では、(b1)前記酸化ガリウム基板を成長炉に配置した後に、前記酸化ガリウム基板の主面上にIII族窒化物バッファ層を第1の温度で成長する工程と、(b2)前記III族窒化物バッファ層を成長した後に、前記第1の温度よりも高い第2の温度に前記第1の温度から基板温度を変更する工程と、(b3)前記成長炉に水素及び窒素を供給しながら、前記第2の温度の基板温度で前記酸化ガリウム基板及び前記III族窒化物バッファ層を前記成長炉の雰囲気中にさらす工程と、(b4)前記酸化ガリウム基板及び前記III族窒化物バッファ層を前記成長炉の雰囲気にさらした後に、有機金属気相成長法で、前記窒化ガリウム系半導体光素子のための

40

50

のIII族窒化物半導体層を堆積する工程とを備える。前記III族窒化物半導体層は第1導電型を有し、前記窒化ガリウム系半導体層は第2導電型を有する。前記III族窒化物バッファ層の厚さが前記III族窒化物半導体層の厚さより薄い。

【0009】

この方法によれば、III族窒化物バッファ層を成長した第1の温度から第2の温度に基板温度を変更した後に、酸化ガリウム基板及びIII族窒化物バッファ層を水素及び窒素を含む雰囲気にとらす。III族窒化物半導体層の成長に先立って、水素を含む雰囲気において、III族窒化物バッファ層は改質され、またIII族窒化物半導体の堆積は、改質されたIII族窒化物バッファ層上に行われる。改質の後に成長されたIII族窒化物半導体層上には活性層が設けられる。これ故に、改質されたIII族窒化物バッファ層を有する窒化ガリウム系半導体光素子からの光取り出し効率が向上される。III族窒化物バッファ層の厚さがIII族窒化物半導体層の厚さよりも薄く、水素及び窒素を含む雰囲気による改質が、酸化ガリウム基板の表面近傍において引き起こされる。

10

【0010】

本発明の一側面に係る方法では、前記酸化ガリウム基板及び前記III族窒化物バッファ層を前記成長炉の雰囲気にとらす際において、好ましくは、水素の流量は窒素の流量以上であり、前記第2の温度は摂氏950度以上、好ましくは1050度前後である。水素を雰囲気に含むとともに、摂氏950度以上の基板温度であるとき、好ましくは1050度前後の基板温度であるとき、III族窒化物半導体層の成長に先立って、III族窒化物バッファ層は改質され、またIII族窒化物半導体の堆積は、改質されたIII族窒化物バッファ層上に行われる。また、本発明の一側面に係る方法では、前記酸化ガリウム基板及び前記III族窒化物バッファ層を前記成長炉の雰囲気にとらす際において、水素の流量は窒素の流量以上であることが好ましい。このとき、良好な改質が行われる。

20

【0011】

本発明の一側面に係る方法では、前記雰囲気にとらす工程における時間は10秒以上であることができる。この時間が10秒以上、好ましくは1分以上であるとき、上記の改質を効果的に引き起こすことができる。

【0012】

本発明の一側面に係る方法では、前記III族窒化物バッファ層の厚さは2ナノメートル以上であることができる。バッファ層の厚さが2ナノメートル以上、好ましくは10ナノメートルであるとき、III族窒化物半導体層の結晶品質が良好である。また、本発明の一側面に係る方法では、前記III族窒化物バッファ層の厚さは100ナノメートル以下であることができる。バッファ層の厚さが100ナノメートル以下であるとき、III族窒化物半導体層の結晶品質が良好である。

30

【0013】

本発明の一側面に係る方法では、前記III族窒化物バッファ層はGaN層、AlGaN層及びAlN層の少なくともいずれかを含むことができる。これらの材料でバッファ層を形成するとき、改質による技術的寄与が得られる。

【0014】

本発明の一側面に係る方法では、前記III族窒化物バッファ層はGaN層を含むことができる。バッファ層がGaN層を含むとき、GaNと水素との反応により改質が生じて改質による技術的寄与が提供される。

40

【0015】

本発明の一側面に係る方法では、前記III族窒化物半導体層はGaN及びAlGaNからなることができる。これらの材料でIII族窒化物半導体層を形成するとき、改質による技術的寄与が得られる。

【0016】

本発明の一側面に係る方法では、前記酸化ガリウム基板の前記主面は(100)面であることができる。酸化ガリウム基板の主面の結晶面が実質的に(100)面であるとき、III族窒化物半導体層の表面にc面又はc面から僅かに傾斜した面が形成される。

50

## 【0017】

本発明の一側面に係る方法では、前記積層体は、前記酸化ガリウム基板と前記積層体との界面に形成された複数のポイドを含むことができる。この方法によれば、改質処理により、上記の界面に複数のポイドが形成される。

## 【0018】

本発明の一側面に係る方法では、前記積層体は、前記酸化ガリウム基板と前記積層体との界面に形成された遷移層を含み、前記遷移層は前記酸化ガリウム基板の前記主面を覆っている。この方法によれば、改質処理により、上記の界面に遷移層が形成される。遷移層はIII族窒化物領域を含むことができる。

## 【0019】

本発明の別の側面は、窒化ガリウム系半導体光素子を作製する方法である。この方法は、(a)酸化ガリウム基板を準備する工程と、(b)前記酸化ガリウム基板の主面上に、III族窒化物からなる積層体を形成する工程とを備える。前記積層体を形成する前記工程では、(b1)前記酸化ガリウム基板を成長炉に配置した後に、前記酸化ガリウム基板の主面上にIII族窒化物バッファ層を第1の温度で成長する工程と、(b2)前記III族窒化物バッファ層を成長した後に、前記第1の温度よりも高い第2の温度に前記第1の温度から基板温度を変更する工程と、(b3)前記成長炉に水素及び窒素を供給しながら、前記第2の温度の基板温度で前記酸化ガリウム基板及び前記III族窒化物バッファ層を前記成長炉の雰囲気にとらす工程と、(b4)前記酸化ガリウム基板及び前記III族窒化物バッファ層を前記成長炉の雰囲気にとらした後に、有機金属気相成長法で、前記窒化ガリウム系半導体光素子のための第1のIII族窒化物半導体層を堆積する工程とを備える。前記III族窒化物半導体層は第1導電型を有し、前記窒化ガリウム系半導体層は第2導電型を有する。前記III族窒化物バッファ層の厚さは前記第1のIII族窒化物半導体層の厚さよりも薄い。

## 【0020】

この方法によれば、III族窒化物バッファ層を成長した第1の温度から第2の温度に基板温度を変更した後に、酸化ガリウム基板及びIII族窒化物バッファ層を水素及び窒素を含む雰囲気にとらす。水素を含む雰囲気であるとき、III族窒化物半導体層の成長に先立って、III族窒化物バッファ層は改質され、またIII族窒化物半導体の堆積は、改質されたIII族窒化物バッファ層上に行われる。改質されたIII族窒化物バッファ層上に活性層が設けられる窒化ガリウム系半導体光素子からの光取り出し効率が向上される。III族窒化物バッファ層の厚さがIII族窒化物半導体層の厚さよりも薄く、水素及び窒素を含む雰囲気による改質が、酸化ガリウム基板の表面近傍において引き起こされる。

## 【0021】

本発明の別の側面に係る方法では、前記酸化ガリウム基板及び前記III族窒化物バッファ層を前記成長炉の雰囲気にとらす際において、水素を含む雰囲気であり、好ましくは、水素の流量は窒素の流量以上であり、前記第2の温度は摂氏950度以上、好ましくは1050度前後である。水素を含む雰囲気であり、好ましくは水素の流量は窒素の流量以上であると共に基板温度が摂氏950度以上、好ましくは1050度前後の基板温度であるとき、III族窒化物半導体層の成長に先立って、III族窒化物バッファ層は改質される。

## 【0022】

本発明の別の側面に係る方法では、前記雰囲気にとらす工程における時間は10秒以上であることができる。この時間が10秒以上、好ましくは1分以上であるとき、上記の改質を効果的に引き起こすことができる。

## 【0023】

本発明の別の側面に係る方法では、前記III族窒化物バッファ層の厚さは2ナノメートル以上であることができる。バッファ層の厚さが2ナノメートル以上、好ましくは10ナノメートルであるとき、III族窒化物半導体層の結晶品質が良好である。

## 【0024】

本発明の別の側面に係る方法では、前記III族窒化物バッファ層はGaN層、AlGa

10

20

30

40

50

N層及びAlN層の少なくともいずれかを含むことができる。これらの材料でバッファ層を形成するとき、改質による技術的な寄与が得られる。また、本発明の別の側面に係る方法では、前記III族窒化物バッファ層はGaN層を含むことができる。バッファ層がGaN層を含むとき、GaNと水素との反応により改質が生じて改質による技術的な寄与が提供される。

【0025】

本発明の別の側面に係る方法では、前記III族窒化物半導体層はGaN及びAlGaNからなることができる。これらの材料でIII族窒化物半導体層を形成するとき、改質による技術的な寄与が得られる。

【0026】

本発明の別の側面に係る方法では、前記酸化ガリウム基板の前記主面は(100)面であることができる。酸化ガリウム基板の主面の結晶面が実質的に(100)面であるとき、III族窒化物半導体層の表面はc面又はc面から僅かに傾斜した面を有する。

【0027】

本発明の別の側面に係る方法では、前記積層体は、前記酸化ガリウム基板と前記積層体との界面に位置する改質層を含み、前記改質層は、前記成長炉において前記酸化ガリウム基板及び前記III族窒化物バッファ層を水素及び窒素を雰囲気中にさらすことによって提供される。

【0028】

本発明の別の側面に係る方法では、前記改質層は、前記酸化ガリウム基板と前記積層体との界面に形成された複数のポイドを含むことができる。或いは、本発明の別の側面に係る方法では、前記改質層は、前記酸化ガリウム基板の前記主面を覆う遷移層を有している。

【0029】

本発明の別の側面に係る方法では、前記酸化ガリウム基板、前記III族窒化物半導体層、前記活性層、及び前記窒化ガリウム系半導体層は、ウエハ生産物を構成する。当該方法は、前記III族窒化物半導体層に電位を提供する第1の電極を前記ウエハ生産物に形成する工程と、前記窒化ガリウム系半導体層に電位を提供する第2の電極を前記ウエハ生産物に形成する工程とを更に備えることができる。

【0030】

この方法によれば、活性層へ注入されるキャリアは、第1及び第2の電極から提供される。また、キャリアは、導電性の酸化ガリウム基板を介して活性層に到達する。

【0031】

本発明の別の側面に係る方法では、前記III族窒化物バッファ層の厚さは100ナノメートル以下であることができる。この方法によれば、III族窒化物バッファ層の厚さは100ナノメートル以下であるとき、バッファ層に起因する抵抗の増加を低減できる。

【0032】

本発明の別の側面に係る方法は、前記活性層及び前記窒化ガリウム系半導体層をエッチングして、前記III族窒化物半導体層を露出させる工程と、前記III族窒化物半導体層に電位を提供する第1の電極を前記ウエハ生産物に形成する工程と、前記窒化ガリウム系半導体層に電位を提供する第2の電極を前記ウエハ生産物に形成する工程とを更に備えることができる。

【0033】

この方法によれば、一方の素子面に第1及び第2の電極を備える発光素子が提供される。

【0034】

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】

【0035】

10

20

30

40

50

以上説明したように、本発明の一側面によれば、酸化ガリウム基板上に成長された活性層を含み発光強度を向上可能なウエハ生産物、及びウエハ生産物を作製する方法が提供される。また、本発明の別の側面によれば、酸化ガリウム基板上に成長された活性層を含み発光強度を向上可能な窒化ガリウム系半導体光素子、及び窒化ガリウム系半導体光素子を作製する方法が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0036】

【図1】図1は本実施の形態に係るウエハ生産物を作製する方法、及び窒化ガリウム系半導体光素子を作製する方法における主要な工程フローを示す図面である。

【図2】図2は、単斜晶系酸化ガリウムウエハ及び単斜晶系酸化ガリウムの結晶格子を示す図面である。

【図3】図3は、本実施の形態に係るウエハ生産物を作製する方法、及び窒化ガリウム系半導体光素子を作製する方法における主要な工程を模式的に示す図面である。

【図4】図4は、本実施の形態に係るウエハ生産物を作製する方法、及び窒化ガリウム系半導体光素子を作製する方法における主要な工程を模式的に示す図面である。

【図5】図5は、本実施の形態に係るウエハ生産物を作製する方法、及び窒化ガリウム系半導体光素子を作製する方法における主要な工程を模式的に示す図面である。

【図6】図6は、実施例1におけるSEM像を示す図面である。

【図7】図7は、実施例1におけるSEM像を示す図面である。

【図8】図8は、実施例1におけるSEM像を示す図面である。

【図9】図9は、実施例1におけるSEM像を示す図面である。

【図10】図10は、実施例2における発光ダイオードの構造を示す図面である。

【図11】図11は、実施例2における発光特性を示す図面である。

【図12】図12は、別の実施の形態に係るウエハ生産物を作製する方法、及び窒化ガリウム系半導体光素子を作製する方法における主要な工程フローを示す図面である。

【図13】図13は、別の実施の形態に係るウエハ生産物を作製する方法、及び窒化ガリウム系半導体光素子を作製する方法における主要な工程を模式的に示す図面である。

【図14】図14は、別の実施の形態に係るウエハ生産物を作製する方法、及び窒化ガリウム系半導体光素子を作製する方法における主要な工程を模式的に示す図面である。

【図15】図15は、剥離に要する時間を相対値により示す図面である。

【発明を実施するための形態】

【0037】

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、本発明のウエハ生産物を作製する方法、及び窒化ガリウム系半導体光素子を作製する方法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。

【0038】

図1は、本実施の形態に係るウエハ生産物を作製する方法、及び窒化ガリウム系半導体光素子を作製する方法における主要な工程フローを示す図面である。これらの工程フローでは、窒化ガリウム系半導体光素子として、半導体光素子が作製される。工程フロー100aの工程S101では、単斜晶系酸化ガリウムからなる主面を有する酸化ガリウム基板11を準備する。図2(a)を参照すると、酸化ガリウム基板11が示される。この基板11は、例えば $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶からなる。基板11は、単斜晶系酸化ガリウムからなる主面を有する主面11a及び裏面11bを含み、例えば主面11a及び裏面11bは互いに平行である。基板11の主面11aは、例えば単斜晶系酸化ガリウムの(100)面である。この主面11aは、(100)面に対して例えば1度以下0度以上の角度で傾斜することができる。図2(a)には、結晶座標系CRが示されており、結晶座標系CRはa軸、b軸及びc軸を有する。

【0039】

図2(b)を参照すると、単斜晶系酸化ガリウムの結晶格子が示されている。単斜晶系

10

20

30

40

50

酸化ガリウムの結晶格子の a 軸、b 軸及び c 軸の格子定数は、それぞれ、1.223 nm、0.304 nm 及び 0.58 nm である。ベクトル  $V_a$ 、 $V_b$ 、 $V_c$  は、それぞれ、a 軸、b 軸及び c 軸の方向を示す。ベクトル  $V_a$  及び  $V_b$  は (001) 面を規定し、ベクトル  $V_b$ 、 $V_c$  は (100) 面を規定し、ベクトル  $V_c$  及び  $V_a$  は (010) 面を規定する。ベクトル  $V_a$  及び  $V_b$  の成す角度 及びベクトル  $V_b$  及び  $V_c$  の成す角度 は 90 度であり、ベクトル  $V_c$  及び  $V_a$  の成す角度 は 103.7 度である。基板主面 11a の傾斜角  $A_{OFF}$  を示すために、図 2 (b) には、基板主面 11a が一点鎖線で示されている。この基板 11 によれば、単斜晶系酸化ガリウム (100) 面の基板主面 11a 上に、良好なモフォロジのエピタキシャル層が成長される。酸化ガリウム基板 11 の主面 11a の結晶面が実質的に (100) 面であるとき、窒化ガリウム系半導体光素子のための III 族窒化物半導体層の表面は c 面又は c 面から僅かに傾斜した面を有する。

10

#### 【0040】

図 1 に示される工程 S102 では、図 3 (a) に示されるように、成長炉 10 のサセプタ 10a 上に基板 11 を配置する。工程 S103 では、エピタキシャル基板を作製するために、複数の III 族窒化物膜を含む積層構造を形成する。III 族窒化物膜の成長は、例えば有機金属気相成長 (MOVPE) 法等で行われる。

#### 【0041】

成長炉 10 のサセプタ上に基板 11 を配置した後に、工程 S104 では、図 3 (b) に示されるように、ガス G0 を成長炉 10 に供給しながら、成長炉 10 内の酸化ガリウム基板 11 のサセプタ温度を変更する。ガス G0 は、例えば窒素ガスを含むことができる。成長炉 10 に供給された窒素に酸化ガリウム基板 11 が触れているとき、水素によって酸化ガリウム基板 11 が侵されることがない。これ故に、成長炉 10 に水素を供給するとき比べて、サセプタ温度を高めることができる。窒素雰囲気においては、酸化ガリウム基板 11 のための基板温度は、例えば摂氏 600 度であることができる。

20

#### 【0042】

窒素を含む雰囲気中で成長温度  $T_1$  に成長炉 10 の温度を上昇した後に、工程 S105 において、酸化ガリウム基板 11 の主面 11a 上に III 族窒化物バッファ層 13 を第 1 の温度  $T_1$  で成長する。バッファ層 13 は、例えば GaN、AlGaN、AlN といった III 族窒化物からなる。III 族窒化物の堆積のために、原料ガスとして、有機ガリウム原料、有機アルミニウム原料、窒素原料等が用いられる。

30

#### 【0043】

バッファ層 13 が GaN からなるとき、成長炉 10 には、トリメチルガリウム (TMG) 及びアンモニア ( $NH_3$ ) を含む原料ガス G1 が供給される。GaN 層バッファを用いると、GaN と水素との反応により改質が生じて改質による技術的な寄与が提供される。バッファ層 13 が AlGaN からなるとき、成長炉 10 には、TMG、トリメチルアルミニウム (TMA) 及び  $NH_3$  を含む原料ガス G1 が供給される。AlGaN 層バッファを用いると、GaN バッファ層よりも熱的に安定であるため、第 2 の温度  $T_2$  をより高い温度まで用いることができるという、技術的な寄与が提供される。バッファ層 13 が AlN からなるとき、成長炉 10 には、TMA 及び  $NH_3$  を含む原料ガス G1 が供給される。AlN 層バッファを用いると、GaN バッファ層よりも熱的に安定であるため、第 2 の温度  $T_2$  をより高い温度まで用いることができるという、技術的な寄与が提供される。バッファ層 13 の成長温度  $T_1$  は、例えば摂氏 400 度以上摂氏 800 度下の範囲にあり、バッファ層 13 はいわゆる低温バッファ層と呼ばれる。

40

#### 【0044】

バッファ層 13 の膜厚は例えば 2 ナノメートル以上であることができる。バッファ層の厚さが 2 ナノメートル以上、好ましくは 10 ナノメートル以上であるとき、引き続き成長される III 族窒化物半導体層の結晶品質が良好である。また、バッファ層の厚さは 100 ナノメートル以下であることができる。バッファ層 13 の厚さが 100 ナノメートル以下であるとき、III 族窒化物半導体層の結晶品質が良好になる。

#### 【0045】

50

工程 S 1 0 6 では、バッファ層 1 3 を成長した後に、第 1 の温度 T 1 よりも高い第 2 の温度 T 2 に成長炉 1 0 の基板温度を変更する。この後に、工程 S 1 0 7 では、図 3 ( c ) に示されるように、水素及び窒素を含むガス G 2 を成長炉 1 0 に供給しながら、第 2 の温度 T 2 の基板温度で酸化ガリウム基板 1 1 及びバッファ層 1 3 を成長炉 1 1 の雰囲気にさらす。ガス G 2 は、さらにアンモニアを含むことができる。酸化ガリウム基板 1 1 及びバッファ層 1 3 を成長炉 1 1 の雰囲気にさらす際において、雰囲気は水素を含み、好ましくは、水素の流量は窒素の流量以上である。また、第 2 の温度 T 2 は摂氏 9 5 0 度以上、好ましくは、1 0 5 0 度前後である。成長炉 1 0 において水素の流量が窒素の流量以上であると共に基板温度が摂氏 9 5 0 度以上であるとき、バッファ層 1 3 は、改質されたバッファ層 1 4 に変わる。第 2 の温度 T 2 は摂氏 1 2 0 0 度以下である。改質されすぎてしまい、良好なエピ膜が堆積できないからである。この改質は、窒化ガリウム系半導体光素子のための III 族窒化物半導体層の成長に先立って行われ、III 族窒化物半導体の堆積は、改質されたバッファ層 1 4 上に行われる。また、バッファ層 1 3 の厚さが III 族窒化物半導体層 1 5 の厚さより薄いとき、水素及び窒素を含む雰囲気による改質が、酸化ガリウム基板 1 1 の表面近傍のバッファ層に引き起こされる。

10

**【 0 0 4 6 】**

雰囲気にさらす処理時間は 1 0 秒以上であることができる。改質のための時間が 1 0 秒以上、好ましくは 1 分以上であるとき、上記の改質を効果的に引き起こすことができる。

**【 0 0 4 7 】**

酸化ガリウム基板 1 1 及びバッファ層 1 4 を成長炉 1 0 の雰囲気にさらした後に、工程 S 1 0 8 では、第 2 の温度 T 2 に等しい或いはより大きい第 3 の温度 T 3 に成長炉 1 0 のサセプタ温度を設定する。この後に、工程 S 1 0 9 では、図 4 ( a ) に示されるように、有機金属気相成長法で、窒化ガリウム系半導体光素子のための III 族窒化物半導体層 1 5 を堆積する。例えば GaN、AlGa<sub>N</sub>、InGa<sub>N</sub>、AlN 等といった III 族窒化物をバッファ層 1 4 上に堆積するとき、この堆積物は、酸化ガリウム基板 1 1 にエピタキシャル成長され、六方晶系の III 族窒化物半導体層 1 5 が得られる。また、III 族窒化物半導体層 1 5 をバッファ層 1 4 上に堆積するとき、III 族窒化物半導体層 1 5 の成長初期に、バッファ層 1 4 の構造を引き継ぐ堆積が生じるとき、この初期成長層とバッファ層 1 4 とを併せて改質層 1 4 と呼ぶこともある。

20

**【 0 0 4 8 】**

III 族窒化物半導体層 1 5 は GaN、InGa<sub>N</sub> 及び AlGa<sub>N</sub> からなることができる。これらの材料で III 族窒化物半導体層 1 5 を形成するとき、改質されたバッファ層 1 4 上に良好な結晶品質が得られる。

30

**【 0 0 4 9 】**

III 族窒化物半導体層 1 5 の膜厚は、例えば 1 マイクロメートル以上 2 0 マイクロメートル以下の範囲であることができる。III 族窒化物半導体層 1 5 の成長温度 T 3 は例えば摂氏 9 5 0 度以上摂氏 1 2 0 0 度以下の範囲になる。III 族窒化物半導体層 1 5 は、窒化ガリウム系半導体デバイスを構成する半導体層であり、またアンドープ、p 型ドーパント添加、及び n 型ドーパント添加であることができる。エピタキシャル層 1 5 に p 導電性または n 導電性を付与するために、III 族窒化物半導体層 1 5 を成長する際に原料ガスに加えてドーパントガスを供給する。ドーパントとしては、p 型導電性のためにシクロペンタジエニルマグネシウム ( Cp<sub>2</sub>Mg ) を用い、n 型導電性のためにシラン ( 例えば SiH<sub>4</sub> ) を用いることができる。III 族窒化物半導体層 1 5 が n 型 GaN からなるとき、成長炉 1 0 には、TMG、NH<sub>3</sub> 及び SiH<sub>4</sub> を含む原料ガス G 3 が供給される。これらの工程により、酸化ガリウム基板 1 1 上に積層体 1 6 が形成される。

40

**【 0 0 5 0 】**

次いで、工程 S 1 1 0 において、図 4 ( b ) に示されるように、原料ガス G 4 を成長炉 1 0 に供給して、活性層 1 7 を III 族窒化物半導体層 1 5 上に形成する。活性層 1 7 が量子井戸構造を有するとき、活性層 1 7 は交互に配列された井戸層 1 7 a 及び障壁層 1 7 b を含む。井戸層 1 7 a は、例えば GaN、InGa<sub>N</sub>、InAlGa<sub>N</sub> 等からなる。井戸

50

層 17 a の成長温度は例えば摂氏 750 度である。障壁層 17 b は、例えば GaN、InGaN、InAlGaN 等からなる。障壁層 17 b の成長温度は例えば摂氏 750 度である。

【0051】

この方法によれば、バッファ層 13 を成長した第 1 の温度 T1 から第 2 の温度 T2 にセブタ温度を変更した後に、摂氏 950 度以上、好ましくは摂氏 1050 度前後の基板温度で酸化ガリウム基板 11 及びバッファ層 13 を水素及び窒素を含む雰囲気さらして、改質されたバッファ層 14 を形成する。水素を含む雰囲気であり、好ましくは水素の流量は窒素の流量以上であると共に基板温度が摂氏 950 度以上、好ましくは 1050 度の基板温度であるとき、バッファ層 14 に十分な改質が施される。III 族窒化物半導体の堆積は、改質されたバッファ層 14 上に行われる。

10

【0052】

この後に、工程 S111 において、図 4 (c) に示されるように、窒化ガリウム系半導体層 19 を活性層 17 上に形成する。窒化ガリウム系半導体層 19 は、例えば p 型電子ブロック層 21 及び p 型コンタクト層 23 を含むことができる。

【0053】

これまでの窒化ガリウム系半導体の堆積により、図 5 (a) に示されるように、ウエハ生産物 E が得られる。ウエハ生産物 E は、酸化ガリウムウエハ 11 と、酸化ガリウムウエハ 11 上に成長された半導体積層 25 を含む。この半導体積層 25 は、III 族窒化物半導体層 15 (例えば、第 1 導電型エピタキシャル層) と、活性層 17 と、窒化ガリウム系半導体層 19 (例えば、第 2 導電型エピタキシャル層) とを含み、活性層 17 は、第 1 導電型エピタキシャル層と第 2 導電型エピタキシャル層との間に設けられている。酸化ガリウム基板 11、III 族窒化物半導体層 15、活性層 17 及び窒化ガリウム系半導体層 19 は、ウエハ生産物を構成する。引き続き工程において、III 族窒化物半導体層 15 に電位を提供する第 1 の電極をウエハ生産物 E に形成すると共に、窒化ガリウム系半導体層 19 に電位を提供する第 2 の電極をウエハ生産物 E に形成する。活性層 17 へ注入されるキャリアは、第 1 及び第 2 の電極から提供される。また、キャリアは、導電性の酸化ガリウム基板 11 を介して活性層 17 に到達する。

20

【0054】

電極プロセスの工程の一例として、以下の工程フローを行う。工程 S112 では、図 5 (b) に示されるように、ウエハ生産物 E をエッチングして半導体メサ 27 を形成する。このエッチングにより半導体積層 25 の一部が除去されて、半導体積層 25 内の III 族窒化物半導体層 15 の一部が露出されると共に半導体メサ 27 の上面 27 d (窒化ガリウム系半導体層 19 c の表面 19 d) が形成される。

30

【0055】

このウエハ生産物 E の加工の後に、工程 S113 では、図 5 (c) に示されるように、III 族窒化物半導体層 15 の露出部分 15 d 上に第 1 の電極 29 a を形成すると共に半導体メサ 27 の上面 27 d に第 2 の電極 29 b を形成する。これらの工程により、窒化ガリウム系半導体発光デバイスのための基板生産物が作製される。

【0056】

引き続き行われる実施例の説明から理解されるように、改質されたバッファ層 14 は、以下の構造を有する。また、改質工程の後に活性層 17 が成長されるとき、活性層 17 における発光強度は向上される。

40

【0057】

積層体 16 は、酸化ガリウム基板 11 と積層体 16 との界面に形成された複数のボイドを含むことができる。改質処理により、上記の界面に複数のボイドが形成される。積層体 16 は、酸化ガリウム基板 11 と積層体 16 との界面に形成された遷移層を含み、遷移層は酸化ガリウム基板 11 の主面 11 a を覆っている。改質処理により、上記の界面に遷移層が形成される。遷移層は III 族窒化物領域を含むことができる。

【0058】

50

## (実施例1)

実験例1 (酸化ガリウム基板/エピタキシャル層の界面にボイドや遷移層などがない)

(100)面の酸化ガリウム基板を準備した。酸化ガリウム基板の主面には意図的にオフ角をつけていない。酸化ガリウム基板の(100)ジャスト面に対して、AlNバッファ層をMOVPEで成長した。このAlNの成長温度は摂氏600度であった。AlN層の厚みは10ナノメートルであった。4分かけて摂氏600度から摂氏1050度まで昇温した。この昇温する際、水素(H<sub>2</sub>)の流量は5リットル/分であり、アンモニア(NH<sub>3</sub>)の流量は5リットル/分であり、窒素(N<sub>2</sub>)の流量は10リットル/分であった。この後に、このAlN層上にGaNエピタキシャル層をMOVPE法で成長した。このGaN層の厚さ3マイクロメートルであった。これらの工程によってエピタキシャル基板EW1が得られた。

10

## 【0059】

参考のために、サファイア基板上に低温GaNバッファ層を介してGaN層を成長した。これらの工程によってエピタキシャル基板EW0が得られた。図6は、サファイア基板、AlNバッファ層及びGaNエピタキシャル層の断面SEM像を示す図面である。GaN層のXRCの半値全幅及び原子間力顕微鏡の表面粗さ等に関しては、サファイア基板上の参考例における品質と同等レベルだった。

## 【0060】

また、エピタキシャル基板EW0をエピタキシャル基板EW1と比較したとき、エピタキシャル層/酸化ガリウム基板の界面に関しても、本実施例における界面には、サファイア基板上の参考例と同様に、ボイドや遷移層等は観察されなかった。

20

## 【0061】

実験例2 (酸化ガリウム基板/エピタキシャル層の界面に微少なボイドが形成された) (100)面の酸化ガリウム基板を準備した。酸化ガリウム基板の主面には意図的にオフ角をつけていない。酸化ガリウム基板の(100)ジャスト面に対して、AlNバッファ層をMOVPEで成長した。このAlNの成長温度は摂氏600度であった。AlN層の厚みは10ナノメートルであった。4分かけて摂氏600度から摂氏950度まで昇温した。この昇温する際、水素(H<sub>2</sub>)の流量は10リットル/分であり、アンモニア(NH<sub>3</sub>)の流量は5リットル/分であり、窒素(N<sub>2</sub>)の流量は5リットル/分であった。この後に、GaNエピタキシャル層の成長に先立って、水素及び窒素の混合雰囲気にてAlNバッファ層を摂氏950度に1分間保持して、改質処理を行った。次いで、改質処理されたバッファ層上にGaNエピタキシャル層をMOVPE法で成長した。このGaN層の厚さ3マイクロメートルであった。これらの工程によってエピタキシャル基板EW2が得られた。GaN層のXRCの半値全幅及び原子間力顕微鏡の表面粗さ等に関しては、サファイア基板上の参考例における品質と同等レベルだった。

30

## 【0062】

図7は、実験例2における酸化ガリウム基板、AlNバッファ層及びGaNエピタキシャル層の断面SEM像を示す図面である。本実施例における界面には、サファイア基板上の参考例と異なり、サイズ(幅)100nm程度のボイドが観察された。温度・水素の割合等の成長条件に応じて、ボイドのサイズは10nm~1μm程度の範囲で変更することができた。

40

## 【0063】

本実験例ではAlNバッファ層を用いたけれども、低温成長のGaN及び低温成長のAlGaNの成膜条件やバッファ層の成膜後の熱処理に応じて、このような遷移層を界面に作製することが可能である。

## 【0064】

実験例3 (酸化ガリウム基板/エピタキシャル層の界面に大きなボイドが形成された) (100)面の酸化ガリウム基板を準備した。酸化ガリウム基板の主面には意図的にオフ角をつけていない。酸化ガリウム基板の(100)ジャスト面に対して、AlNバッファ層をMOVPE法で成長した。このAlNの成長温度は摂氏600度であった。AlN層

50

の厚みは10ナノメートルであった。4分かけて摂氏600度から摂氏1050度まで昇温した。この昇温する際、水素( $H_2$ )の流量は10リットル/分であり、アンモニア( $NH_3$ )の流量は5リットル/分であり、窒素( $N_2$ )の流量は5リットル/分であった。この後に、GaNエピタキシャル層の成長に先立って、水素及び窒素の混合雰囲気にてAlNバッファ層を摂氏1050度に1分間保持して、改質処理を行った。次いで、改質処理されたバッファ層上にGaNエピタキシャル層をMOVPEで成長した。このGaN層の厚さ3マイクロメートルであった。これらの工程によってエピタキシャル基板EW3が得られた。GaN層のXRCの半値全幅及び原子間力顕微鏡の表面粗さ等に関しては、サファイア基板上の参考例における品質と同等レベルだった。

#### 【0065】

図8は、実験例3における酸化ガリウム基板、AlNバッファ層及びGaNエピタキシャル層の断面SEM像を示す図面である。本実施例における界面には、サファイア基板上の参考例と異なり、サイズ(幅)100nm程度のポイドが観察された。温度・水素の割合等の成長条件に応じて、ポイドのサイズは10nm~1 $\mu$ m程度の範囲、さらにこれ以上のサイズで変更することができた。

#### 【0066】

本実験例ではAlNバッファ層を用いたけれども、低温成長のGaN及び低温成長のAlGaNの成膜条件やバッファ層の成膜後の熱処理に応じて、このような界面にポイドを作製することが可能である。

#### 【0067】

実験例4(酸化ガリウム基板/エピタキシャル層の界面に遷移層が形成された)  
(100)面の酸化ガリウム基板を準備した。酸化ガリウム基板の主面には意図的にオフ角をつけていない。酸化ガリウム基板の(100)ジャスト面に対して、GaNバッファ層をMOVPE法で成長した。このGaNの成長温度は摂氏500度であった。GaN層の厚みは25ナノメートルであった。4分かけて摂氏600度から摂氏1050度まで昇温した。この昇温する際、水素( $H_2$ )の流量は10リットル/分であり、アンモニア( $NH_3$ )の流量は5リットル/分であり、窒素( $N_2$ )の流量は5リットル/分であった。この後に、GaNエピタキシャル層の成長に先立って、水素及び窒素の混合雰囲気にてGaNバッファ層を摂氏1050度に1分間保持して、熱処理を行った。次いで、熱処理されたバッファ層上にGaNエピタキシャル層をMOVPEで成長した。このGaN層の厚さ3マイクロメートルであった。これらの工程によってエピタキシャル基板EW4が得られた。GaN層のXRCの半値全幅及び原子間力顕微鏡の表面粗さ等に関しては、サファイア基板上の参考例における品質と同等レベルだった。

#### 【0068】

図9は、実験例4における酸化ガリウム基板、GaNバッファ層及びGaNエピタキシャル層の断面SEM像を示す図面である。本実施例における界面には、サファイア基板上の参考例と異なり、厚さ2 $\mu$ m程度の遷移層が観察された。この遷移層はGaとNとOから構成され、GaNとGa<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等が混じっている層であった。遷移層は、例えば多孔質のIII族窒化物領域を含むことができる。

#### 【0069】

本実験例ではGaNバッファ層を用いたけれども、低温成長のAlN及び低温成長のAlGaNの成膜条件やバッファ層の成膜後の熱処理に応じて、このような界面の遷移層を作製することが可能である。

#### 【0070】

(実施例2)

実施例1において作製されたエピタキシャル基板EW0~EW4を用いて発光ダイオード(LED)のためのエピタキシャル構造を形成した。図10は、実施例2におけるエピタキシャル構造を示す。発光ダイオード構造LEDは、改質層35、n型GaN層37、活性層39、及びp型GaN系層41を含む。発光ダイオードLEDでは、改質層35、n型GaN層37、活性層39、及びp型GaN系半導体層41は酸化ガリウム基板31の

10

20

30

40

50

主面 3 1 a 上に設けられており、p 型 GaN 系半導体層 4 1 は p 型 AlGaIn 系ブロック層及び p 型 GaN コンタクト層を含む。発光ダイオード構造 LED は、エッチングにより形成された半導体メサ 3 3 を含む。半導体メサ 3 3 の上面 3 3 a には p 型 GaN コンタクト層が露出されている。半導体メサ 3 3 は、露出された n 型 GaN 層 3 7 を含む。n 型 GaN 層 3 7 は露出領域 3 3 b を含む。上面 3 3 a には p 側電極 4 3 a を形成した。露出領域 3 3 b 上に n 側電極 4 3 b を形成した。これらの工程により、エピタキシャル基板 EW 0 ~ EW 4 を用いてそれぞれ発光ダイオード構造 LED 0 ~ LED 4 が得られた。発光ダイオード構造 LED 0 ~ LED 4 の各々をプローバ上に配置した後に、発光ダイオード構造 LED 0 ~ LED 4 に 20 mA の電流を印加して、発光強度を測定した。発光ダイオード構造 LED 1 ~ LED 4 では、バッファ層の厚さに起因する電気抵抗の増加を低減するために、バッファ層の厚さは 100 ナノメートル以下、好ましくは 30 ナノメートル以下であることができる。

10

**【0071】**

図 1 1 は、発光ダイオード構造 LED 0 ~ LED 4 の発光強度を示す図面である。発光ダイオード構造 LED 1、LED 2、LED 3、LED 4 の発光強度は、発光ダイオード構造 LED 0 を基準にして 1.2 倍、1.3 倍、1.5 倍、1.4 倍であった。

**【0072】**

図 1 2 は、別の実施の形態に係るウエハ生産物を作製する方法、及び窒化ガリウム系半導体光素子を作製する方法における主要な工程フローを示す図面である。工程フロー 100 b の工程 S 101 では、単斜晶系酸化ガリウムからなる主面を有する酸化ガリウム基板 11 を準備する。工程 S 101 ~ S 103、S 110 ~ S 111 を図 1 に示された工程フロー 100 a と同様に行う。

20

**【0073】**

工程 S 115 では、図 1 3 (a) に示されるように、窒化ガリウム系半導体層 19 上に電極 51 を形成して基板生産物 SP1 を作製する。電極 51 の形成は例えば以下のように行われる。窒化ガリウム系半導体層 19 の表面には絶縁膜 53 を形成する。絶縁膜 53 には開口が設けられており、絶縁膜 53 は例えばシリコン酸化物またはシリコン窒化物からなることができる。

**【0074】**

工程 S 116 では、図 1 3 (b) に示されるように、貼り合わせ用の導電性支持体 55 を準備する。この基板 55 は、例えば Si 基板や、ヒートシンク等からなる。また、図 1 3 (b) に示されるように、基板生産物 SP1 上の電極 51 が導電性支持体 55 に対面するように、基板生産物 SP1 及び基板 55 が配置される。

30

**【0075】**

次いで、基板生産物 SP1 に導電性支持体 55 を貼り付けて基板生産物 SP2 を作製する。基板生産物 SP2 では、導電性支持体 55 は電極 53 に電氣的な接続をなす。この貼り合わせは、図 1 3 (c) に示されるように、例えば導電性接着剤 57 等を用いて行われる。導電性接着剤 57 は例えば AuSn、PbSn といった半田であることができる。

**【0076】**

工程 117 では、図 1 4 (a) に示されるように、基板生産物 SP2 の酸化ガリウム基板 11 にレーザ光 59 を照射する。レーザ光 59 の波長は、酸化ガリウム基板 11 のバンドギャップに対応する波長より短く、また III 族窒化物半導体層 15 のバンドギャップに対応する波長より大きい。レーザ光は、例えばエキシマレーザによって提供される。この照射によって、図 1 4 (b) に示されるように、酸化ガリウム基板 11 を基板生産物 SP2 の半導体積層 25 a から分離して、半導体積層 25 a 及び導電性支持体 55 を含む基板生産物 SP3 を作製する。酸化ガリウム基板 11 にレーザ光 59 を照射するとき、改質層 14 によりリフトオフが容易になる。この分離により III 族窒化物半導体層 15 が露出される。リフトオフにより露出された半導体積層 25 a の III 族窒化物半導体層 15 の表面には、ラフネスが残る。

40

**【0077】**

50

工程 S 1 1 8 では、図 1 4 ( c ) に示されるように、III 族窒化物半導体層 1 5 の表面に電極 5 3 b を形成する。

【 0 0 7 8 】

( 実施例 3 )

レーザ光を用いた基板剥離を調べる実験を行った。酸化ガリウム基板の裏面にエキシマレーザ光を照射して、エピタキシャル膜から酸化ガリウム基板を剥離させた。剥離の実験は、ウエハ生産物から 1 0 mm × 1 0 mm のサイズの実験片を切り出した。実験片にレーザを照射して剥離に要する時間を測定した。図 1 5 は、剥離に要する時間を相対値により示す図面である。図 1 3 を参照すると、剥離に要する時間が、相対値として 0 . 3 6、0 . 3 8、0 . 1 7、0 . 0 8 として示されている。このように、酸化ガリウム (  $G a_2 O_3$  ) は、サファイア (  $A l_2 O_3$  ) に比べて化学結合の点で弱いので、相対値が 0 . 3 6 であり、レーザによる剥離が容易である。これに加え、酸化ガリウム基板 / エピタキシャル膜の界面にポイドが形成されたとき、ポイドのサイズに応じて相対値が 0 . 2 8、0 . 1 7 となる。また、酸化ガリウム基板 / エピタキシャル膜の界面に遷移層が形成されたとき、遷移層の粗密に応じて相対値が 0 . 0 8 となる。酸化ガリウム基板 / エピタキシャル膜の界面にポイドや遷移層が作製されているので、レーザリフトオフによる剥離のために要する時間はさらに短縮される。

10

【 0 0 7 9 】

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。

20

【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 8 0 】

発光ダイオードの光取り出し効率を向上させて、発光ダイオードの発光効率を大きくする試みがある。非特許文献 2 では、サファイア基板に起伏を付けて光取り出し効率を向上させている。また、非特許文献 3 では、基板剥離と共にエピタキシャル膜の裏面に起伏を作製して光取り出し効率を向上させている。

【 0 0 8 1 】

サファイア基板上に  $G a N$  膜のエピタキシャル成長を行うとき、低温  $A l N$  バッファ層や低温  $G a N$  バッファ層上に  $G a N$  のエピタキシャル成長を行う。このとき、 $G a N$  エピタキシャル膜 / サファイア基板の界面には、ポイド等を作製していない。一方で、酸化ガリウム基板上に  $G a N$  膜のエピタキシャル成長を行うとき、成長方法を工夫することにより、 $G a N$  エピタキシャル膜 / 酸化ガリウム基板の界面にポイド等を形成できる。また、改質条件によっては、ポイドだけでなく、変質層及びラフネスの形成も可能である。

30

【 0 0 8 2 】

サファイア基板を加工してエピタキシャル膜 / サファイア基板の界面における散乱により光取り出し効率を向上させるとき、サファイア基板に新たな微細加工を施す必要がある。この例から理解されるように、サファイア基板から  $G a N$  エピタキシャル膜を剥離するためは容易ではなく、エキシマレーザ等の高価な装置を長時間にわたり利用する必要がある。さらに、剥離により露出されたエピタキシャル膜面に起伏をつける工程も必要となる。

40

【 0 0 8 3 】

酸化ガリウム基板上に  $G a N$  エピタキシャル膜を成長するとき、成長条件によっては、エピタキシャル膜 / 酸化ガリウム基板の界面に起伏やポイド等を形成することができる。この界面の改質には、例えば、昇温の雰囲気 ( 高い水素分圧、低い窒素分圧 ) の雰囲気及び / または  $G a N$  の成膜温度に近い高温によるアニール処理により提供される。さらに、このアニール時間を長くすることにより、エピタキシャル膜 / 酸化ガリウム基板の界面を荒らてラフネスを形成でき、さらに、ポイドや変質層を作ることにも可能になる。加工した

50

サファイア基板等を使わずとも、エピタキシャル膜 / 酸化ガリウム基板の界面の近傍領域の改質により、光取り出し効率を向上させる。この結果、発光ダイオードの発光効率の向上が可能となる。

【0084】

また、大きなポイドや界面の遷移層、ラフネス等を形成することにより、容易に剥離が生じると同時に、エピタキシャル膜の裏面へのラフネスの形成をエピタキシャル成長で実現する。これ故に、エピタキシャル膜裏面のラフネス形成のための加工の省略可能となる。この方法を採用して光取り出し効率の向上を図るとき、基板剥離の容易さや高歩留まり等が提供される。また、この方法では、GaNエピタキシャル膜の成長初期においてGaNの核をマスクにして用い、酸化ガリウム基板を高温の水素ガスでエッチングしている。

10

【0085】

酸化ガリウムは、ガリウムと酸素との結合が弱いので、高温の雰囲気、特に水素などにより損傷を受ける。これ故に、バッファ層堆積後の昇温時に酸化ガリウム基板が不所望な損傷を避けることが大切である。

【符号の説明】

【0086】

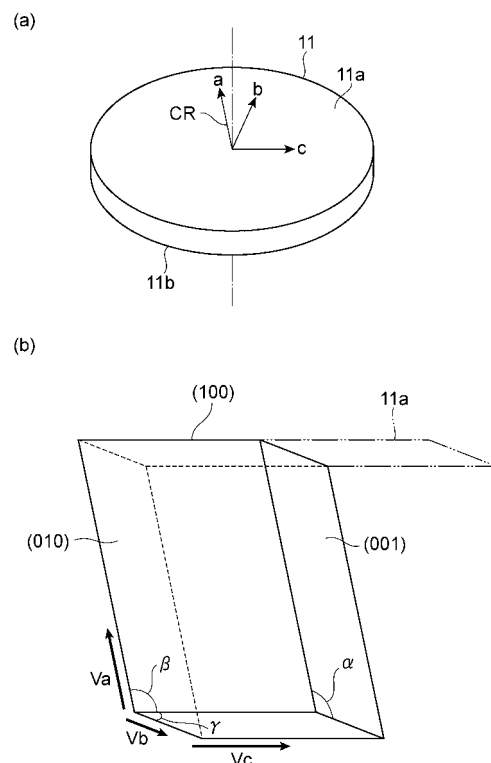
10 ... 成長炉、10a ... サセプタ、11 ... 酸化ガリウム基板、11a ... 基板主面、11b ... 基板裏面、13 ... III族窒化物バッファ層、14 ... バッファ層、改質層、15 ... III族窒化物半導体層、16 ... 積層体、17 ... 活性層、19 ... 窒化ガリウム系半導体層、21 ... p型電子ブロック層、23 ... p型コンタクト層、E ... ウエハ生産物、25、25a ... 半導体積層、27 ... 半導体メサ、29a、29b ... 電極。

20

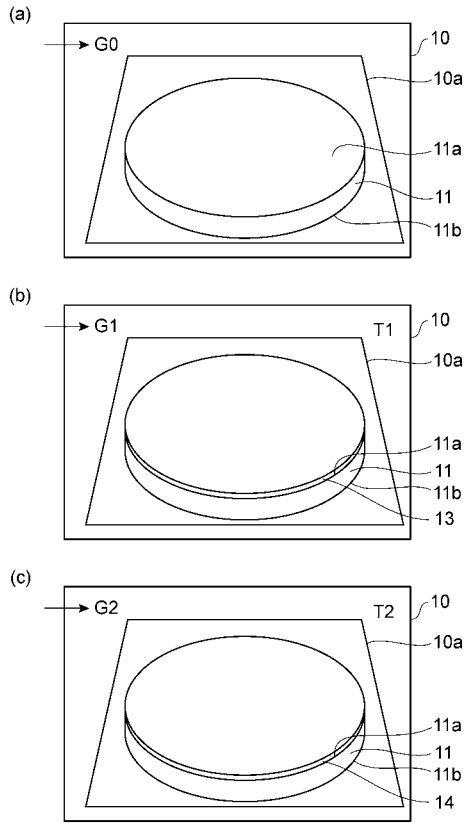
【図1】



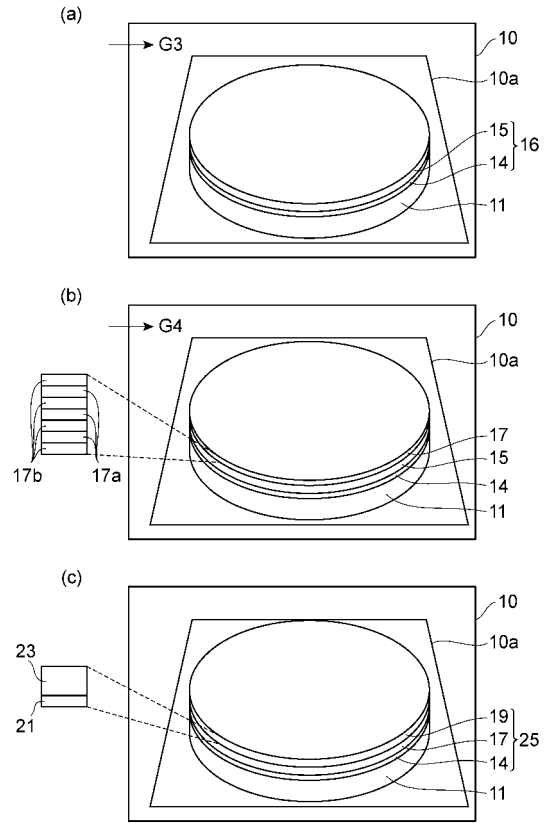
【図2】



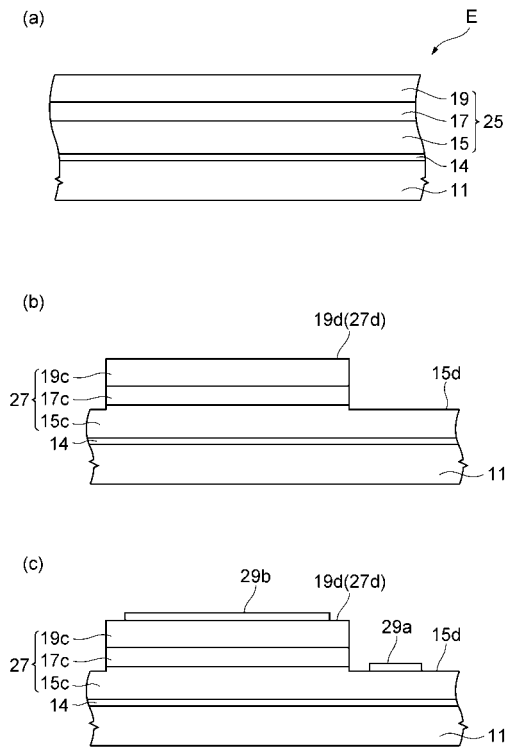
【 図 3 】



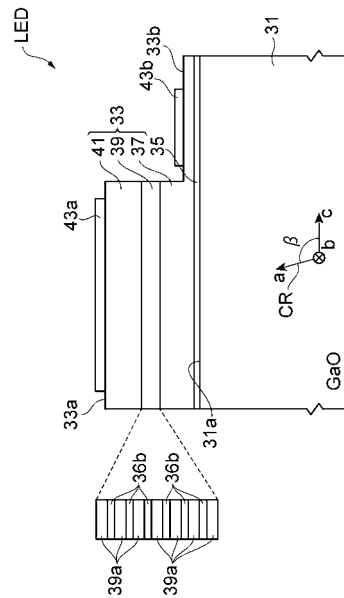
【 図 4 】



【 図 5 】



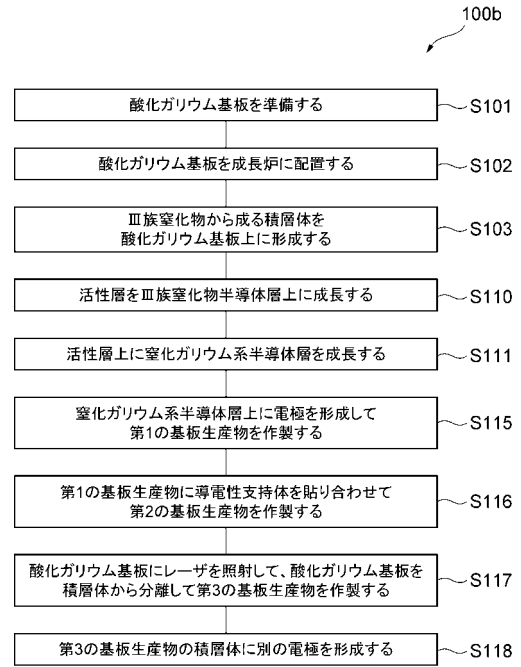
【 図 10 】



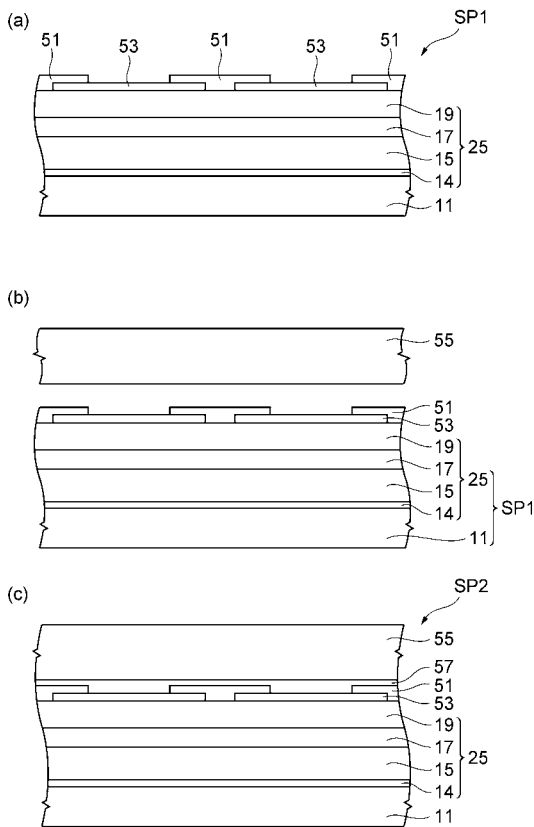
【 図 1 1 】

番号	下地のn-GaNの作製方法	エピ基板界面	発光強度 (A.U.)
EW0	サファイア基板上n-GaN	ポイド等なし	1.0
EW1	実験例 1	ポイド等なし	1.2
EW2	実験例 2	100nm程度のポイド	1.3
EW3	実験例 3	最大1μm程度のポイドあり	1.5
EW4	実験例 4	遷移層あり	1.4

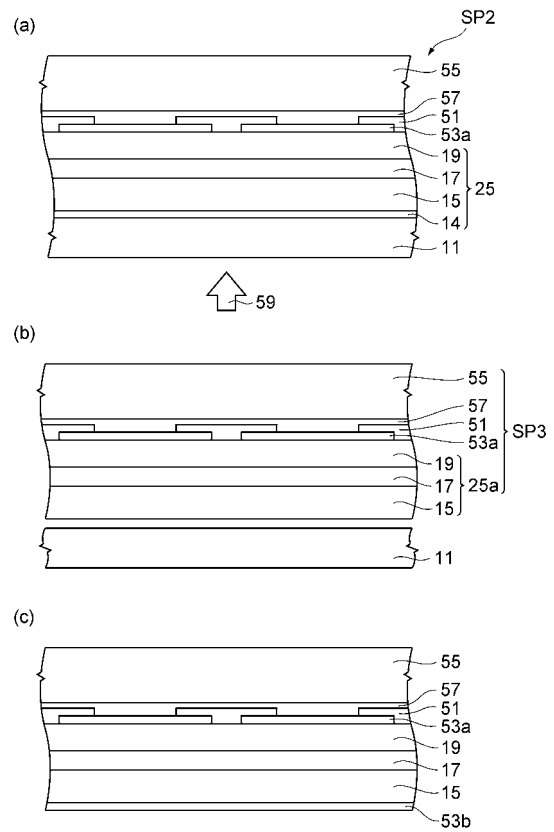
【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



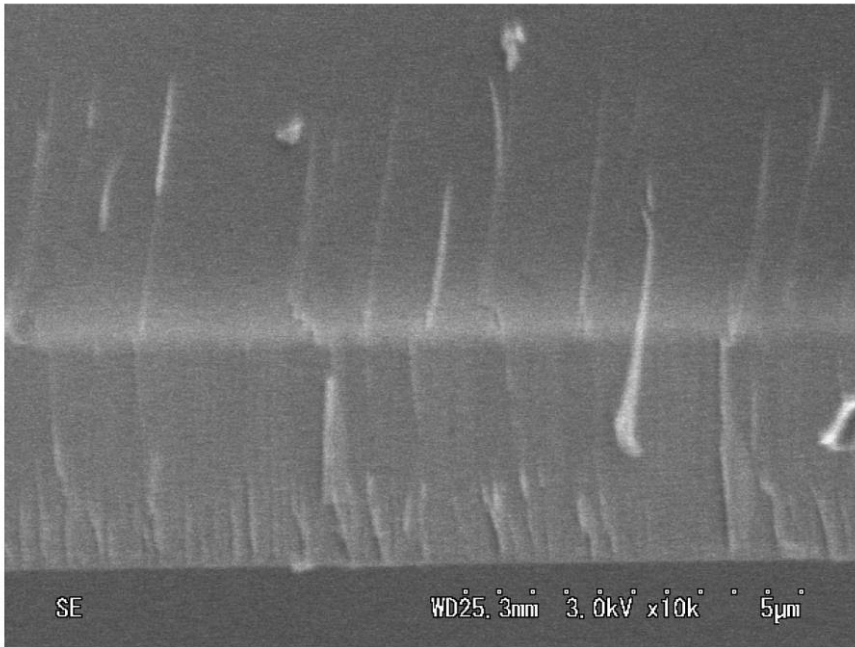
【 図 1 4 】



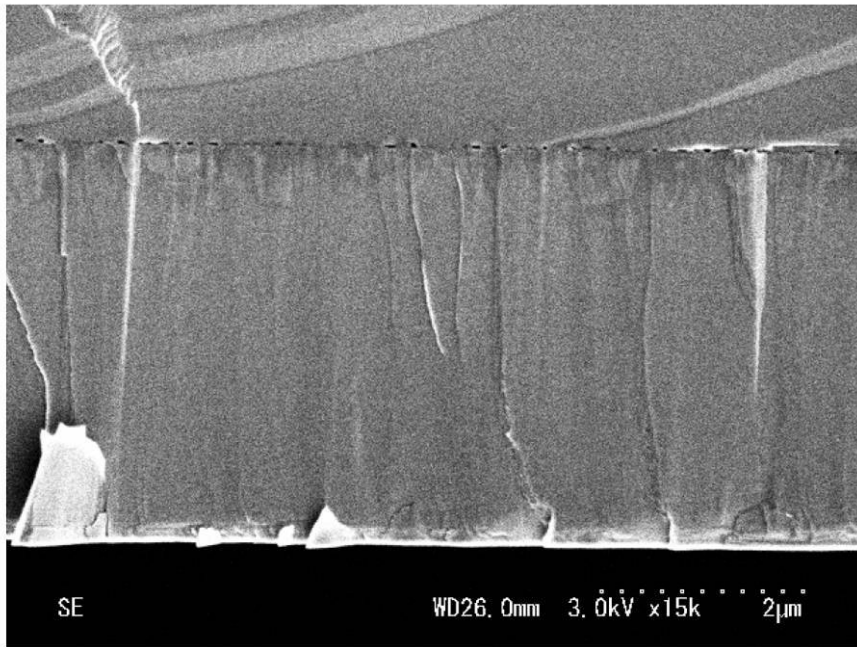
## 【 図 1 5 】

番号	下地のn-GaNの作製方法	エピ基板界面	剥離に要する時間 (相対比較)
LED 0	サファイア基板上n-GaN	ポイド等なし	1.00
LED 1	実験例 1	ポイド等なし	0.36
LED 2	実験例 2	100nm程度のポイド	0.28
LED 3	実験例 3	最大1 $\mu$ m程度のポイドあり	0.17
LED 4	実験例 4	遷移層あり	0.08

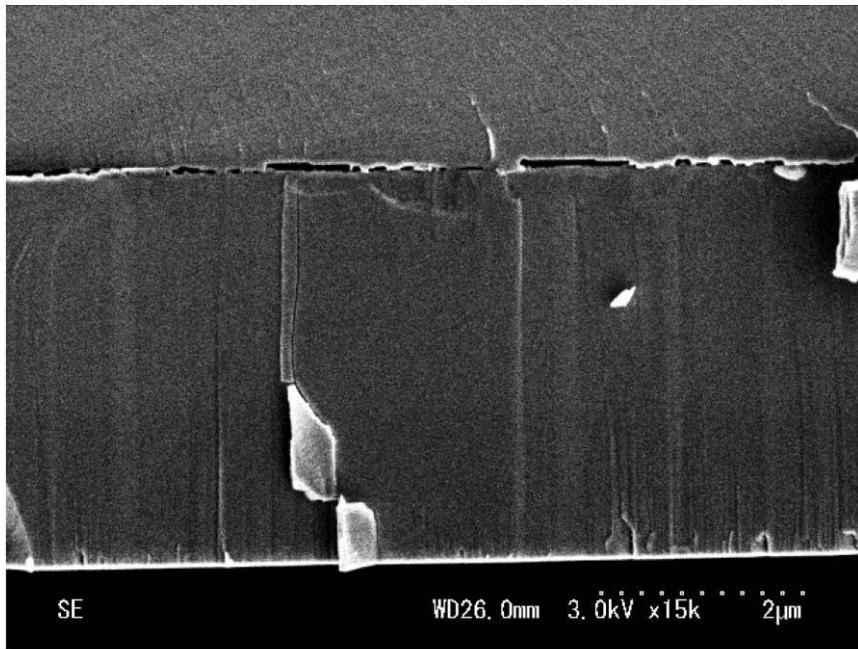
【 図 6 】



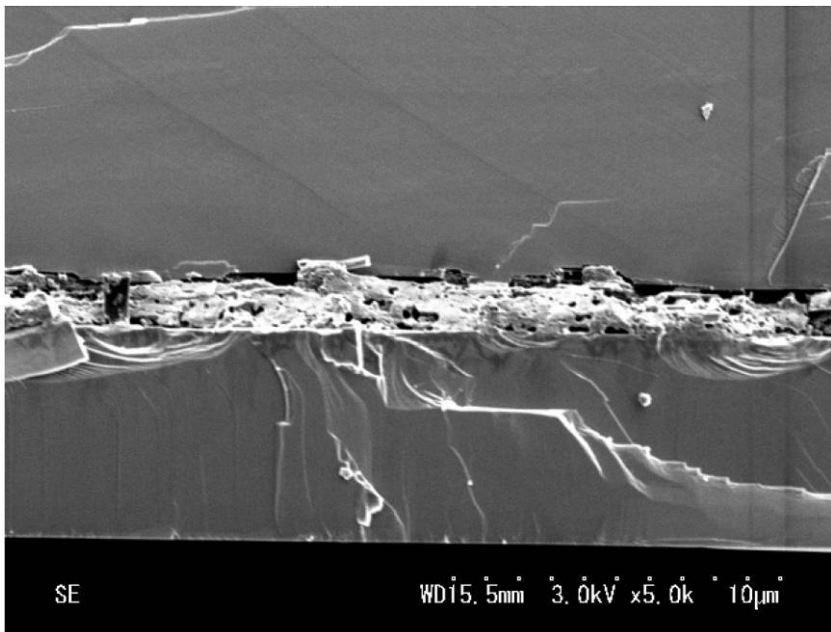
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



## フロントページの続き

(72)発明者 橋本 信  
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 秋田 勝史  
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

(72)発明者 元木 健作  
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 藤原 伸介  
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 中幡 英章  
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

Fターム(参考) 4G077 AA03 AB10 BB10 BE11 BE13 BE15 DB08 EA02 EA06 EB01  
ED06 EF03 EH01 HA02 TA04 TA06 TB05 TC13 TJ12 TK01  
TK08  
4K030 AA11 AA13 AA17 AA18 BA02 BA09 BA38 BB12 CA05 CA12  
FA10 JA01 LA14  
5F045 AA04 AB09 AB14 AB17 AB18 AC07 AC12 AC15 AF08 CA10  
DA52 DA53 DA55 DA62 DA70 GH08 HA06  
5F141 AA03 CA23 CA40 CA46 CA65 CA73