

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2012 年 5 月 10 日(10.05.2012)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2012/060299 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 5/323 (2006.01) H01L 33/16 (2010.01)
H01L 21/205 (2006.01) H01L 33/32 (2010.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/074973
- (22) 国際出願日: 2011 年 10 月 28 日(28.10.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2010-248932 2010 年 11 月 5 日(05.11.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 住友電気工業株式会社(SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号 Osaka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 塩谷 陽平 (ENYA Yohei) [JP/JP]; 〒6640016 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 Hyogo (JP). 京野 孝史 (KYONO Takashi) [JP/JP]; 〒6640016 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 Hyogo (JP). 住友 隆道 (SUMITOMO Takamichi) [JP/JP]; 〒6640016 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 Hyogo (JP). 善積 祐介 (YOSHIZUMI Yusuke) [JP/JP]; 〒6640016 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 Hyogo (JP). 西塚 幸司 (NISHIZUKA Koji) [JP/JP]; 〒6640016 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 Hyogo (JP).

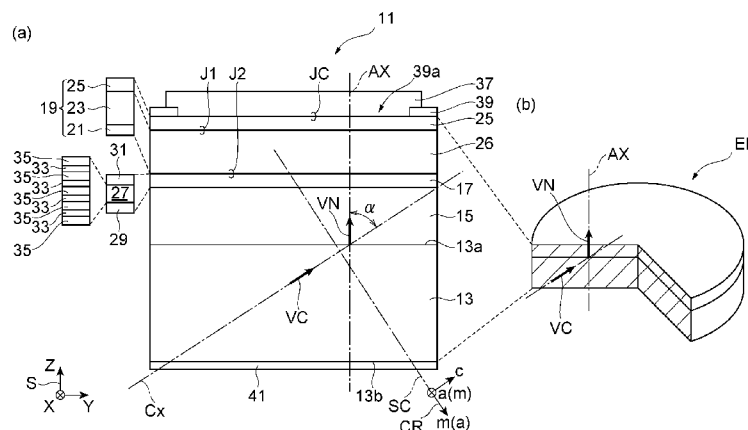
- (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外 (HASEGAWA Yoshiaki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目 1 番 1 号丸の内 MY PLAZA (明治安田生命ビル) 9 階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL,

[続葉有]

(54) Title: GROUP III NITRIDE SEMICONDUCTOR DEVICE, METHOD OF MANUFACTURING GROUP III NITRIDE SEMICONDUCTOR DEVICES, AND EPITAXIAL SUBSTRATE

(54) 発明の名称: III 族窒化物半導体素子、III 族窒化物半導体素子を作製する方法、及びエピタキシャル基板

[図1]





PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

低減された酸素濃度の p 型窒化ガリウム系半導体層を有する III 族窒化物半導体素子を提供する。III 族窒化物半導体素子 11 は、基板 13、n 型 III 族窒化物半導体領域 15、発光層 17、及び p 型 III 族窒化物半導体領域 19 を備える。基板 13 の主面 13a は、該第 1 の窒化ガリウム系半導体の c 軸に沿って延びる基準軸 Cx に直交する面 Sc から 50 度以上 130 度未満の範囲の角度で傾斜する。p 型 III 族窒化物半導体領域 19 は、第 1 の p 型窒化ガリウム系半導体層 21 を含み、第 1 の p 型窒化ガリウム系半導体層 21 の酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。第 1 の p 型窒化ガリウム系半導体層 21 の p 型ドーパント濃度 N_{pd} と酸素濃度 N_{oxg} との濃度比 (N_{oxg}/N_{pd}) が $1/10$ 以下である。

明 細 書

発明の名称：

III族窒化物半導体素子、III族窒化物半導体素子を作製する方法、及びエピタキシャル基板

技術分野

[0001] 本発明は、III族窒化物半導体素子、III族窒化物半導体素子を作製する方法、及びエピタキシャル基板に関する。

背景技術

[0002] 特許文献1には、青色発光デバイスのためのInGaN層の成長方法が記載されている。InGaN成長時における成長温度と成長速度とを規定している。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開平6-209122号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 特許文献1における成長においては、サファイア基板を成長炉のサセプタ上に配置した後に、アンモニアと、TMGと、キャリアガスとして水素とを摂氏510度の基板温度において流して、GaNバッファ層を成長する。この期間中に、コニカル石英チューブからは水素及び窒素を流し続け、サセプタをゆっくりと回転させる。このGaNバッファ層の表面はc面からなる。GaNバッファ層の成長後に、摂氏1020度の基板温度で、同じく水素をキャリアガスとしてTMGを流して、約2μm厚のGaN層を成長する。このGaN層成長の後に、摂氏805度の基板温度で、キャリアガスを窒素に切り替え、TMG、TMI、アンモニア、およびシランを流して、SiドープInGaNを成長する。このInGaN成長の期間中に、コニカル石英チ

ューブから供給するガスは窒素のみである。

[0005] 特許文献1によれば、c面上へのGa₂Nの成長には水素及び窒素を流す一方で、InGa₂Nの成長では窒素を流す。

[0006] 発明者らの検討によれば、極性面ではない非極性面へのIII族窒化物の成長では、成長炉に供給されていない酸素が、半極性表面の結晶状態の違いに起因して、上記のようなc面Ga₂N表面に比べて不純物として取り込まれやすい。Inを含まない窒化ガリウム系半導体、例えばGa₂NやAlGa₂Nは、水素を供給しながら成長される。高い還元性を示す水素の雰囲気においては、成長炉内の在留物、例えば治具や付着物から酸素が脱離される。この酸素は、酸素を取り込みやすい非極性面へのエピタキシャル成長では、結果としてエピタキシャル膜に取り込まれる。酸素は、p型窒化物半導体層では補償不純物となる。これ故に、Inを含まない窒化ガリウム系半導体のエピタキシャル成長は、水素を含む雰囲気で行うけれども、これは、エピタキシャル層の抵抗を増大させ、半導体素子の電気特性を悪化させている。

[0007] 本発明の一側面は、このような事情を鑑みて為されたものであり、低減された酸素濃度のp型窒化ガリウム系半導体層を有するIII族窒化物半導体素子を提供することを目的とし、また、本発明の別の側面は、酸素不純物の取り込み量を低減できる、III族窒化物半導体素子を作製する方法を提供することを目的とし、さらに、本発明の更なる別の側面は、該III族窒化物半導体素子のためのエピタキシャル基板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

[0008] 本発明の一側面に係るIII族窒化物半導体素子は、(a)第1の窒化ガリウム系半導体からなる主面を含み導電性を有する基板と、(b)第1のp型窒化ガリウム系半導体層を含み前記主面上に設けられたIII族窒化物半導体領域とを備える。前記基板の前記主面は、該第1の窒化ガリウム系半導体のc軸に沿って延びる基準軸に直交する面から50度以上130度未満の範囲の角度で傾斜し、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層のp型ドーパン

ト濃度 N_{pd} と前記酸素濃度 N_{oxg} との比 (N_{oxg}/N_{pd}) が $1/10$ 以下である。

[0009] このIII族窒化物半導体素子によれば、第1のp型窒化ガリウム系半導体層が基板の主面上に設けられ、この主面は基板の第1の窒化ガリウム系半導体のc軸に沿って延びる基準軸に直交する面から50度以上130度未満の範囲の角度で傾斜する。この角度範囲では、第1のp型窒化ガリウム系半導体層における酸素濃度を $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下にできるので、第1のp型窒化ガリウム系半導体層に含まれる酸素により第1のp型窒化ガリウム系半導体層におけるp型ドーパントが補償されることを低減できる。また、比 (N_{oxg}/N_{pd}) が $1/10$ 以下であるので、p型ドーパント濃度 N_{pd} を低めることができる。

[0010] 本発明の一側面に係るIII族窒化物半導体素子では、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層はIII族構成元素としてインジウムを含まないことが良い。このIII族窒化物半導体素子によれば、III族構成元素としてインジウムを含まない窒化ガリウム系半導体において、酸素濃度を低減でき、またp型ドーパント濃度 N_{pd} を低めることができる。

[0011] 本発明の一側面に係るIII族窒化物半導体素子は、前記主面上に設けられたn型窒化ガリウム系半導体層と、発光層のための窒化ガリウム系半導体層とを更に備えることができる。前記発光層は、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層と前記n型窒化ガリウム系半導体層との間に設けられ、当該III族窒化物半導体素子は発光素子であることができる。このIII族窒化物半導体素子によれば、発光素子においてp型窒化ガリウム系半導体層の電気的特性を向上できる。

[0012] 本発明の一側面に係るIII族窒化物半導体素子では、前記発光層の発光波長は440nm以上、600nm以下であることができる。

[0013] このIII族窒化物半導体素子によれば、上記の発光波長範囲の光を発生する発光素子において、p型窒化ガリウム系半導体の電気的特性を向上できる。

[0014] 本発明の一側面に係るIII族窒化物半導体素子は、前記発光層の発光波長は

490nm以上、600nm以下であることができる。

[0015] このIII族窒化物半導体素子によれば、長波長における発光を提供する発光素子において、p型窒化ガリウム系半導体の電気的特性を向上できる。

[0016] 本発明の一側面に係るIII族窒化物半導体素子は、前記III族窒化物半導体領域に接触を成す電極を更に備えることができる。前記III族窒化物半導体領域は、前記電極に接触を成すコンタクト層と、p型III族窒化物半導体積層とを含み、前記p型III族窒化物半導体積層は前記コンタクト層と前記発光層との間に設けられ、前記p型III族窒化物半導体積層は前記コンタクト層に接触と第1の接合を成すと共に前記発光層と第2の接合を成し、前記p型III族窒化物半導体積層の酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、前記p型III族窒化物半導体積層のp型ドーパント濃度 N_{pd} と前記酸素濃度 N_{oxg} との比 (N_{oxg}/N_{pd}) が $1/10$ 以下であることが良い。

[0017] このIII族窒化物半導体素子によれば、電極から発光層に至る電流経路において、p型III族窒化物半導体積層における酸素濃度が低減されると共に比 (N_{oxg}/N_{pd}) が $1/10$ 以下にまで低減される。この電流経路を構成するp型III族窒化物半導体の電気的特性を向上できる。

[0018] 本発明の一側面に係るIII族窒化物半導体素子では、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層は、GaN、InGaN、AlGaNまたはInAlGaNからなることができる。

[0019] このIII族窒化物半導体素子によれば、極性面でないIII族窒化物半導体表面上に成長されるGaN、InGaN、AlGaNまたはInAlGaNにおいて、酸素濃度が低減されると共に比 (N_{oxg}/N_{pd}) が $1/10$ 以下にまで低減される。

[0020] 本発明の一側面に係るIII族窒化物半導体素子では、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層は、GaN又はAlGaNからなることができる。

[0021] このIII族窒化物半導体素子によれば、極性面でないIII族窒化物半導体表面上に成長されるGaN又はAlGaNにおいて、酸素濃度が低減されると共に比 (N_{oxg}/N_{pd}) が $1/10$ 以下にまで低減される。

[0022] 本発明の一側面に係るIII族窒化物半導体素子では、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層の炭素濃度は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることができる。

[0023] このIII族窒化物半導体素子によれば、特に長波長における発光の発光素子の作製では、p層半導体の成長温度を低くすることが求められ、これ故に炭素不純物の濃度が増える。発明者らの知見によれば、窒素雰囲気中で成長された第1のp型窒化ガリウム系半導体層では、酸素濃度だけでなく炭素濃度も低減可能である。

[0024] 本発明の一側面に係るIII族窒化物半導体素子では、前記III族窒化物半導体領域は、前記主面上に設けられた第2のp型窒化ガリウム系半導体層を更に含み、前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層は、III族構成元素としてインジウムを含み、前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層のp型ドーパント濃度 N_{pd} と前記酸素濃度 N_{oxg} との比(N_{oxg}/N_{pd})が $1/10$ 以下であることができる。

[0025] このIII族窒化物半導体素子によれば、III族構成元素としてインジウムを含むp型窒化ガリウム系半導体層においても、酸素濃度を低減できるとともに濃度比(N_{oxg}/N_{pd})を $1/10$ 以下にまで低減できる。したがって、このp型III族窒化物半導体の電気的特性を向上できる。

[0026] 本発明の別の側面は、III族窒化物半導体素子を作製する方法である。この方法は、(a)第1の窒化ガリウム系半導体からなる主面を含み導電性を有する基板を準備する工程と、(b)第1のp型窒化ガリウム系半導体層を含むIII族窒化物半導体領域を前記主面上に成長する工程とを備える。前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層の成長では、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層のIII族構成元素及びV族構成元素のための原料ガスと第1の雰囲気ガスとが成長炉に供給され、前記第1の雰囲気ガスとして窒素が用いられ、前記基板の前記主面は、該第1の窒化ガリウム系半導体のc軸に沿って延びる基準軸に直交する面から 50° 以上 130° 未満の範囲の角度で傾斜し、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下

であり、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層のp型ドーパント濃度 N_{pd} と前記酸素濃度 N_{oxg} との比(N_{oxg}/N_{pd})が $1/10$ 以下である。

[0027] この作製方法によれば、第1のp型窒化ガリウム系半導体層が、基板の主面上に成長され、この主面は基板の第1の窒化ガリウム系半導体のc軸に沿って延びる基準軸に直交する面から 50° 以上 130° 未満の範囲の角度で傾斜する。この成長は、第1のp型窒化ガリウム系半導体層のための原料ガスと第1の雰囲気ガスとが成長炉に供給され、この雰囲気ガスとして窒素が用いられる。これ故に、第1のp型窒化ガリウム系半導体層における酸素濃度を $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下にできる。第1のp型窒化ガリウム系半導体層に含まれる酸素により、第1のp型窒化ガリウム系半導体層におけるp型ドーパントが補償されることを低減できる。また、濃度比(N_{oxg}/N_{pd})が $1/10$ 以下であるので、p型ドーパント濃度 N_{pd} を低めることができる。

[0028] 本発明の別の側面に係る作製方法では、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層は、III族構成元素としてインジウムを含まないことができる。この作製方法によれば、III族構成元素としてインジウムを含まない窒化ガリウム系半導体において、酸素濃度を低減でき、また上記の濃度比を低めることができる。

[0029] 本発明の別の側面に係る作製方法は、n型窒化ガリウム系半導体層を前記主面上に成長する工程と、活性層のための窒化ガリウム系半導体層を前記主面上に成長する工程とを更に備えることができる。前記活性層は、前記p型窒化ガリウム系半導体層と前記n型窒化ガリウム系半導体層との間に設けられ、当該III族窒化物半導体素子は発光素子である。この作製方法によれば、発光素子においてp型窒化ガリウム系半導体層の電気的特性を向上できる。

[0030] 本発明の別の側面に係る作製方法では、前記活性層の発光波長は 440 nm 以上、 600 nm 以下であることができる。この作製方法によれば、上記の発光波長範囲の光を発生する発光素子において、p型窒化ガリウム系半導

体の電気的特性を向上できる。

[0031] 本発明の別の側面に係る作製方法では、前記活性層の発光波長は490nm以上、600nm以下であることができる。この作製方法によれば、長波長における発光を提供する発光素子において、p型窒化ガリウム系半導体の特性を向上できる。

[0032] 本発明の別の側面に係る作製方法は、前記III族窒化物半導体領域に接触を成す電極を形成する工程を更に備えることができる。前記III族窒化物半導体領域は、前記電極に接触を成すコンタクト層と、p型III族窒化物半導体積層とを含み、前記p型III族窒化物半導体積層は前記コンタクト層と前記発光層との間に設けられ、前記p型III族窒化物半導体積層は前記コンタクト層に接触と第1の接合を成すと共に前記発光層と第2の接合を成し、前記p型III族窒化物半導体積層内の一又は複数のp型窒化ガリウム系半導体層の各々の成長では、当該p型窒化ガリウム系半導体層のIII族構成元素及びV族構成元素のための原料ガスと第2の雰囲気ガスとが成長炉に供給され、前記第2の雰囲気ガスとして窒素が用いられ、前記p型III族窒化物半導体積層の酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、前記p型III族窒化物半導体積層のp型ドーパント濃度 N_{pd} と前記酸素濃度 N_{oxg} との比(N_{oxg}/N_{pd})が1/10以下であることができる。

[0033] この作製方法によれば、電極から発光層に至る電流経路において、p型III族窒化物半導体積層の酸素濃度が低減されると共に比(N_{oxg}/N_{pd})が1/10以下にまで低減される。この電流経路を構成するp型III族窒化物半導体の電気的特性を向上できる。

[0034] 本発明の別の側面に係る作製方法では、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層は、GaN、InGa_xN_{1-x}、AlGa_xN_{1-x}またはInAlGa_xN_{1-x}からなることができる。この作製方法によれば、極性面でないIII族窒化物半導体表面上に成長されるGaN、InGa_xN_{1-x}、AlGa_xN_{1-x}またはInAlGa_xN_{1-x}において、酸素濃度が低減されると共に比(N_{oxg}/N_{pd})が1/10以下にまで低減される。

- [0035] 本発明の別の側面に係る作製方法では、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層は、Ga_{1-x}N_x又はAl_{1-x}Ga_xNからなることができる。この作製方法によれば、極性面でないIII族窒化物半導体表面上に成長されるGa_{1-x}N_x又はAl_{1-x}Ga_xNにおいて、酸素濃度が低減されると共に比(N_{ox}/N_{pd})が1/10以下にまで低減される。
- [0036] 本発明の別の側面に係る作製方法では、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層の炭素濃度は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが良い。この作製方法によれば、特に長波長における発光素子の作製では、p層半導体の成長温度を低くすることが求められ、これ故に炭素不純物の濃度が増える。発明者らの知見によれば、窒素雰囲気中で成長された第1のp型窒化ガリウム系半導体層では、酸素濃度だけでなく炭素濃度も低減可能である。
- [0037] 本発明の別の側面に係る作製方法では、前記III族窒化物半導体領域の表面粗さは、算術平均粗さで1 nm以下であることができる。この作製方法によれば、窒素雰囲気における成長による、低酸素濃度を実現する成膜では、算術平均粗さを低減できる。
- [0038] 本発明の別の側面に係る作製方法では、前記III族窒化物半導体領域は、第2のp型窒化ガリウム系半導体層を更に含み、前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層は、III族構成元素としてインジウムを含み、前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層の成長では、前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層のII族構成元素及びV族構成元素のための原料ガスと第2の雰囲気ガスとが成長炉に供給され、前記第2の雰囲気ガスとして窒素が用いられ、前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層のp型ドーパント濃度 N_{pd} と前記酸素濃度 N_{ox} との比(N_{ox}/N_{pd})が1/10以下であることができる。
- [0039] この作製方法によれば、III族構成元素としてインジウムを含むp型窒化ガリウム系半導体層においても、酸素濃度を低減できる共に濃度比(N_{ox}/N_{pd})を1/10以下にまで低減できる。したがって、このp型III族窒

化物半導体の電気的特性を向上できる。

[0040] 本発明の更なる別の側面は、III族窒化物半導体素子のためのエピタキシャル基板に係る。このエピタキシャル基板は、(a) 第1の窒化ガリウム系半導体からなる主面を含み導電性を有する基板と、(b) 第1のp型窒化ガリウム系半導体層を含み前記主面上に設けられたIII族窒化物半導体領域とを備える。前記基板の前記主面は、該第1の窒化ガリウム系半導体のc軸に沿って延びる基準軸に直交する面から50度以上130度未満の範囲の角度で傾斜し、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層のp型ドーパント濃度 N_{pd} と前記酸素濃度 N_{oxg} との比(N_{oxg}/N_{pd})が $1/10$ 以下である。

[0041] このエピタキシャル基板によれば、第1のp型窒化ガリウム系半導体層が、基板の主面上に設けられ、この主面は基板の第1の窒化ガリウム系半導体のc軸に沿って延びる基準軸に直交する面から50度以上130度未満の範囲の角度で傾斜する。この角度範囲では、第1のp型窒化ガリウム系半導体層における酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であるので、第1のp型窒化ガリウム系半導体層に含まれる酸素により第1のp型窒化ガリウム系半導体層におけるp型ドーパントが補償されることを低減できる。また、濃度比(N_{oxg}/N_{pd})が $1/10$ 以下であるので、p型ドーパント濃度 N_{pd} を低めることができる。

[0042] 本発明の更なる別の側面に係るエピタキシャル基板では、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層は、III族構成元素としてインジウムを含まない。

[0043] このエピタキシャル基板によれば、III族構成元素としてインジウムを含まない窒化ガリウム系半導体において、酸素濃度を低減でき、また濃度比を低めることができる。

[0044] 本発明の更なる別の側面に係るエピタキシャル基板は、前記主面上に設けられたn型窒化ガリウム系半導体層と、発光層のための窒化ガリウム系半導体層とを更に備えることができる。前記発光層は、前記p型窒化ガリウム系

半導体層と前記 n 型窒化ガリウム系半導体層との間に設けられ、当該 III 族窒化物半導体素子は発光素子であることができる。このエピタキシャル基板によれば、発光素子において p 型窒化ガリウム系半導体層の電気的特性を向上できる。

[0045] 本発明の更なる別の側面に係るエピタキシャル基板では、前記発光層の発光波長は 440 nm 以上、 600 nm 以下であることができる。このエピタキシャル基板によれば、上記の発光波長範囲の光を発生する発光素子において、p 型窒化ガリウム系半導体の電気的特性を向上できる。

[0046] 本発明の更なる別の側面に係るエピタキシャル基板では、前記発光層の発光波長は 490 nm 以上、 600 nm 以下であることができる。このエピタキシャル基板によれば、長波長における発光を提供する発光素子において、p 型窒化ガリウム系半導体の電気的特性を向上できる。

[0047] 本発明の更なる別の側面に係るエピタキシャル基板では、前記 III 族窒化物半導体領域の全体は p 型導電性を有し、前記 III 族窒化物半導体領域の酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、前記 III 族窒化物半導体領域の p 型ドーパント濃度 N_{pd} と前記酸素濃度 N_{oxg} との比 (N_{oxg}/N_{pd}) が $1/10$ 以下であることができる。

[0048] このエピタキシャル基板によれば、高ドーパント濃度である p 型半導体領域を除いて III 族窒化物半導体領域の全体において、酸素濃度が低減されると共に比 (N_{oxg}/N_{pd}) が $1/10$ 以下にまで低減される。この電流経路を構成する p 型 III 族窒化物半導体の特性を向上できる。

[0049] 本発明の更なる別の側面に係るエピタキシャル基板では、前記第 1 の p 型窒化ガリウム系半導体層は、 GaN 、 $InGaN$ 、 $AlGaN$ または $InAlGaN$ からなることができる。このエピタキシャル基板によれば、極性面でない III 族窒化物半導体表面上に成長される GaN 、 $InGaN$ 、 $AlGaN$ または $InAlGaN$ において、酸素濃度が低減されると共に比 (N_{oxg}/N_{pd}) が $1/10$ 以下にまで低減される。

[0050] 本発明の更なる別の側面に係るエピタキシャル基板では、前記第 1 の p 型

窒化ガリウム系半導体層は、GaN又はAlGaNからなることができる。
このエピタキシャル基板によれば、極性面でないIII族窒化物半導体表面上に
成長されるGaN又はAlGaNにおいて、酸素濃度が低減されると共に比
(N_{oxg}/N_{pd})が1/10以下にまで低減される。

[0051] 本発明の更なる別の側面に係るエピタキシャル基板では、前記第1のp型
窒化ガリウム系半導体層の炭素濃度は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることができ
る。このエピタキシャル基板によれば、特に長波長における発光素子の作
製では、p層半導体の成長温度を低くすることが求められ、これ故に炭素不
純物の濃度が増える。発明者らの知見によれば、窒素雰囲気中で成長された
第1のp型窒化ガリウム系半導体層では、酸素濃度だけでなく炭素濃度も低
減可能である。

[0052] 本発明の更なる別の側面に係るエピタキシャル基板では、前記III族窒化物
半導体領域は、前記主面上に設けられた第2のp型窒化ガリウム系半導体層
を更に含み、前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$
以下であり、前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層は、III族構成
元素としてインジウムを含み、前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層のp
型ドーパント濃度 N_{pd} と前記酸素濃度 N_{oxg} との比(N_{oxg}/N_{pd})
が1/10以下であることができる。

[0053] このエピタキシャル基板によれば、III族構成元素としてインジウムを含む
p型窒化ガリウム系半導体層においても、酸素濃度を低減できる共に濃度比
(N_{oxg}/N_{pd})を1/10以下にまで低減できる。したがって、この
p型III族窒化物半導体の特性を向上できる。

[0054] 本発明の更なる別の側面に係るエピタキシャル基板では、前記エピタキシ
ャル基板の表面粗さは、算術平均粗さで1nm以下であることができる。こ
このエピタキシャル基板によれば、低酸素濃度を実現する成膜条件は、エピタ
キシャル基板の表面における算術平均粗さを低減することが可能である。

[0055] 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

[0056] 以上説明したように、本発明の一側面によれば、低減された酸素濃度の p 型窒化ガリウム系半導体層を有する III 族窒化物半導体素子が提供される。また、本発明の別の側面によれば、酸素不純物の取り込み量を低減できる、III 族窒化物半導体素子を作製する方法が提供される。さらに、本発明の更なる別の側面によれば、III 族窒化物半導体素子のためのエピタキシャル基板が提供される。

図面の簡単な説明

[0057] [図1]図 1 は、本実施の形態に係る III 族窒化物半導体素子の構造及び III 族窒化物半導体素子のためのエピタキシャル基板の構造を概略的に示す図面である。

[図2]図 2 は、本実施の形態に係る、III 族窒化物半導体素子及びエピタキシャル基板を作製する方法における主要な工程を示す図面である。

[図3]図 3 は、本実施の形態に係る、III 族窒化物半導体素子及びエピタキシャル基板を作製する方法における主要な工程を示す図面である。

[図4]図 4 は、本実施の形態に係る、III 族窒化物半導体素子及びエピタキシャル基板を作製する方法における主要な工程における生産物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、III 族窒化物半導体素子及びエピタキシャル基板を作製する方法における主要な工程における生産物を模式的に示す図面である。

[図6]図 6 は、実施例 1 のレーザダイオードの素子構造、並びにこの素子のためのエピタキシャル構成層の雰囲気ガス、p 型ドーパント濃度、酸素濃度及び O/Mg 比を示す図面である。

[図7]図 7 は、実施例 2 のレーザダイオードの素子構造、並びにこの素子のためのエピタキシャル構成層の雰囲気ガス、p 型ドーパント濃度、酸素濃度及び O/Mg 比を示す図面である。

[図8]図8は、実施例3のレーザダイオードの素子構造、並びにこの素子のためのエピタキシャル構成層の雰囲気ガス、p型ドーパント濃度、酸素濃度及びO/Mg比率を示す図面である。

[図9]図9は、実施例4のレーザダイオードの素子構造、並びにこの素子のためのエピタキシャル構成層の雰囲気ガス、p型ドーパント濃度、酸素濃度及びO/Mg比を示す図面である。

[図10]図10は、実施例5のレーザダイオードの素子構造、及びエピタキシャル構造の構成層の雰囲気ガスを示す図面である。

発明を実施するための形態

[0058] 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。引き続いて、添付図面を参照しながら、III族窒化物半導体素子、エピタキシャル基板、III族窒化物半導体素子を作製する方法、及びエピタキシャル基板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。

[0059] 図1は、本実施の形態に係るIII族窒化物半導体素子の構造及びIII族窒化物半導体素子のためのエピタキシャル基板の構造を概略的に示す図面である。引き続く説明では、III族窒化物半導体素子11としては、例えば発光ダイオード、レーザダイオード等の発光素子を説明するけれども、本実施の形態はp型III族窒化物半導体を含むIII族窒化物半導体素子に適用可能である。

[0060] 図1では、図1の(a)部にIII族窒化物半導体素子11が示され、図1の(b)部にIII族窒化物半導体素子11のためのエピタキシャル基板EPが示される。エピタキシャル基板EPはIII族窒化物半導体素子11と同様のエピタキシャル層構造を有する。引き続く説明では、III族窒化物半導体素子11を構成する半導体層を説明する。エピタキシャル基板EPは、これらの半導体層に対応する半導体層(半導体膜)を含み、対応する半導体層には、III族窒化物半導体素子11のために説明が適用される。

[0061] 図1を参照すると、座標系S及び結晶座標系CRが示されている。基板13の主面13aは、Z軸の方向を向いており、またX方向及びY方向に延び

ている。X軸はa軸の方向に向いている。

[0062] 図1の(a)部に示されるように、III族窒化物半導体素子11は、基板13と、n型III族窒化物半導体エピタキシャル領域(以下、「n型III族窒化物半導体領域」と記す)15と、発光層17と、p型III族窒化物半導体エピタキシャル領域(以下、「p型III族窒化物半導体領域」と記す)19とを備える。基板13は、第1の窒化ガリウム系半導体からなる主面13aを有し、また導電性を示す。基板13の主面13aは、該第1の窒化ガリウム系半導体のc軸に沿って延びる基準軸Cxに直交する面Scから50度以上130度未満の範囲の角度で傾斜する。n型III族窒化物半導体領域15は、一又は複数のn型窒化ガリウム系半導体層を含み、主面13a上に設けられることができる。n型III族窒化物半導体領域15は、例えばn型バッファ層、n型クラッド層、n型光ガイド層を含むことができる。p型III族窒化物半導体領域19は、一又は複数のp型窒化ガリウム系半導体層を含むことができる。p型III族窒化物半導体領域19は、例えば第1のp型窒化ガリウム系半導体層21を含み、主面13a上に設けられる。第1のp型窒化ガリウム系半導体層21の酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。第1のp型窒化ガリウム系半導体層21のp型ドーパント濃度 N_{pd} と酸素濃度 N_{oxg} との濃度比(N_{oxg}/N_{pd})が $1/10$ 以下である。また、本実施例では、III族窒化物半導体領域19は、第2のp型窒化ガリウム系半導体層23を含むことができる。p型III族窒化物半導体領域19は、例えばp型電子ブロック層、p型光ガイド層、p型クラッド層、p型コンタクト層を含むことができる。

[0063] このIII族窒化物半導体素子11によれば、第1のp型窒化ガリウム系半導体層21が、基板13の主面13a上に設けられる。この主面13aは、基準軸Cxに直交する面Scを基準にして50度以上130度未満の範囲の角度で傾斜する。第1のp型窒化ガリウム系半導体層21における酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であるので、第1のp型窒化ガリウム系半導体層21に含まれる酸素により第1のp型窒化ガリウム系半導体層21におけるp型

ドーパントが補償されることを低減できる。また、濃度比 (N_{oxg}/N_{pd}) が $1/10$ 以下であるので、p型ドーパント濃度 N_{pd} を低めることができる。

[0064] 第1及び第2のp型窒化ガリウム系半導体層21、23は、GaN、InGa_{1-x}N、AlGa_{1-x}NまたはInAlGa_{1-x}Nからなることができる。本実施例では、極性面でないIII族窒化物半導体表面上に成長されるGa_{1-x}In_xN、Ga_{1-x}Al_xNまたはGa_{1-x}In_yAl_{1-y}Nにおいて、酸素濃度が低減されると共に濃度比 (N_{oxg}/N_{pd}) が $1/10$ 以下にまで低減される。

[0065] 第1のp型窒化ガリウム系半導体層21はIII族構成元素としてインジウムを含まないことが良い。これにより、III族構成元素としてインジウムを含まない窒化ガリウム系半導体において、酸素濃度を低減でき、またp型ドーパント濃度 N_{pd} を低めることができる。更に良い実施例では、第1のp型窒化ガリウム系半導体層21は、Ga_{1-x}N又はGa_{1-x}Al_xN等からなることができる。極性面でないIII族窒化物半導体表面上に成長されるGa_{1-x}N又はGa_{1-x}Al_xNにおいて、酸素濃度が低減されると共に濃度比 (N_{oxg}/N_{pd}) が $1/10$ 以下にまで低減される。

[0066] 一方、第2のp型窒化ガリウム系半導体層23はIII族構成元素としてインジウムを含むことが良い。これにより、III族構成元素としてインジウムを含む窒化ガリウム系半導体において、酸素濃度を低減でき、またp型ドーパント濃度 N_{pd} を低めることができる。第2のp型窒化ガリウム系半導体層23の酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることができる。第2のp型窒化ガリウム系半導体層23は、III族構成元素としてインジウムを含み、また例えばIn_{1-x}Ga_xN又はIn_{1-x}Al_xGa_yN等からなることができる。第2のp型窒化ガリウム系半導体層23において、p型ドーパント濃度 N_{pd} と酸素濃度 N_{oxg} との濃度比 (N_{oxg}/N_{pd}) が $1/10$ 以下であることができる。III族構成元素としてインジウムを含むp型窒化ガリウム系半導体層23においても、酸素濃度を低減できる共に濃度比 (N_{oxg}/N_{pd}) を $1/10$ 以下にまで低減できる。したがって、このp型III族窒化物半導体の特性

を向上できる。

[0067] 第1及び第2のp型窒化ガリウム系半導体層21、23では、p型ドーパントとしてマグネシウム(Mg)、亜鉛(Zn)等を用いることができる、p型ドーパント濃度は例えば $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることがよく、これ以下のドーピング濃度であると抵抗が増加し、電気特性が悪化するからである。また、p型ドーパント濃度は例えば $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることがよく、これ以上のドーピング濃度であると結晶性が悪化し、電気特性が悪化するからである。これらの層21、23におけるp型ドーパント濃度をp型コンタクト層25におけるp型ドーパント濃度より小さくすることができる。

[0068] p型III族窒化物半導体積層26は、本実施例では、第1及び第2のp型窒化ガリウム系半導体層21、23の2層からなる。p型III族窒化物半導体積層26は、コンタクト層25と第1の接合J1を成すと共に発光層17と第2の接合J2を成す。上記の説明から理解されるように、p型III族窒化物半導体積層26の全体に亘って酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが良い。III族窒化物半導体積層26のp型ドーパント濃度 N_{pd} と該酸素濃度 N_{oxg} との濃度比(N_{oxg}/N_{pd})が $1/10$ 以下であることができる。高ドーパント濃度であるp型半導体領域25を除いてIII族窒化物半導体領域26の全体において、酸素濃度が低減されると共に比(N_{oxg}/N_{pd})が $1/10$ 以下にまで低減される。アノードからの電流経路を構成するp型III族窒化物半導体の電気的特性を向上できる。

[0069] 第1のp型窒化ガリウム系半導体層21の炭素濃度は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることができる。特に長波長における発光素子の作製では、p層半導体の成長温度を低くすることが求められ、これ故に炭素不純物の濃度が増える。発明者らの知見によれば、窒素雰囲気中で成長された第1のp型窒化ガリウム系半導体層21では、酸素濃度だけでなく炭素濃度も低減可能である。特に長波長における発光素子の作製では、p層半導体の成長温度を低くすることが求められ、これ故に炭素不純物の濃度が増える。発明者らの知見に

よれば、窒素雰囲気中で成長された第2のp型窒化ガリウム系半導体層23では、酸素濃度だけでなく炭素濃度も低減可能である。また、第2のp型窒化ガリウム系半導体層23の炭素濃度は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることができる。

[0070] 基板13は、第1の窒化ガリウム系半導体からなり、例えばGa₂N、InGa₂N、AlGa₂N等であることができる。Ga₂Nは、二元化合物である窒化ガリウム系半導体であるので、良好な結晶品質と安定した基板主面とを提供できる。また、第1の窒化ガリウム系半導体は、例えばAlN等からなることができる。

[0071] 基板13のc面は、図1に示された平面Scに沿って延びている。平面Sc上では、六方晶系窒化ガリウム系半導体の結晶軸を示すための座標系CR（c軸、a軸、m軸）が示されている。基板13の主面13aは、基準軸Cxに直交する面を基準にして該第1の窒化ガリウム系半導体のm軸又はa軸の方向に傾斜角 α で傾斜している。傾斜角 α は、基板13の主面13aの法線ベクトルVNと基準軸Cxを示すc軸部ベクトルVCとの成す角度によって規定される。主面13a上において、活性層17は、n型窒化ガリウム系半導体領域15とp型窒化ガリウム系半導体領域19との間に設けられ、n型窒化ガリウム系半導体領域15、活性層17及びp型窒化ガリウム系半導体領域19は、法線軸Axの方向に配列される。

[0072] 良好な実施例では、傾斜角 α の範囲は、半極性の特徴を示す面方位の第1の角度範囲と、無極性に近い特徴を示す面方位の第2の角度範囲とに分けることができる。第1の角度範囲は、例えば50度以上、80度以下であり、また100度以上、130度未満である。第1の角度範囲では、特にIn組成が高いInGa₂Nの結晶性を高められるという利点があり、また第2の角度範囲では特にIn組成が高いInGa₂Nのpiezo電界を抑制できるという利点がある。

[0073] 発光層17は、活性層27を含み、必要な場合にはn側光ガイド層29及びp側光ガイド層31を含むことができる。活性層27は、少なくとも一つ

の半導体エピタキシャル層 33 を含む。半導体エピタキシャル層 33 は、窒化ガリウム系半導体エピタキシャル領域 15 上に設けられている。半導体エピタキシャル層 33 は、例えば AlGa_{1-x}N、Ga_{1-x}N、InGa_{1-x}N、InAlGa_{1-x}N 等からなり、またインジウムを含む第 2 の窒化ガリウム系半導体からなることができる。活性層 27 は、別の半導体エピタキシャル層 35 を含むことができる。別の半導体エピタキシャル層 35 は、例えば AlGa_{1-x}N、Ga_{1-x}N、InGa_{1-x}N、InAlGa_{1-x}N 等からなり、またインジウムを含む第 3 の窒化ガリウム系半導体からなることができる。別の半導体エピタキシャル層 35 は、半導体エピタキシャル層 33 のバンドギャップより大きいバンドギャップを有する。一実施例では、半導体エピタキシャル層 33 は井戸層として働き、半導体エピタキシャル層 35 は障壁層として働く。活性層 27 は、単一又は多重の量子井戸構造を有することができる。

[0074] 発光層 17（活性層 27）の発光波長は例えば 440 nm 以上、600 nm 以下であることができる。上記の発光波長範囲の光を発生する発光素子において、p 型窒化ガリウム系半導体の電気的特性を向上できる。また、発光層 17（活性層 27）の発光波長は 490 nm 以上、600 nm 以下であることができる。これにより、長波長における発光を提供する発光素子において、p 型窒化ガリウム系半導体の特性を向上できる。

[0075] 本実施の形態における一実施例を示す。

半導体層 15：n 型 InAlGa_{1-x}N クラッド層。

半導体層 21：p 型 Ga_{1-x}N 電子ブロック層。

半導体層 23：p 型 InAlGa_{1-x}N クラッド層。

半導体層 25：p 型 Ga_{1-x}N コンタクト層。

半導体層 29：n 側アンドープ InGa_{1-x}N 光ガイド層。

半導体層 31：p 側アンドープ InGa_{1-x}N 光ガイド層。

必要な場合には、n 型 III 族窒化物半導体領域 15 は、n 側光ガイド層 29 及び n 型光ガイド層を含むことができ、また p 型 III 族窒化物半導体領域 19 は、p 側光ガイド層 31 及び p 型光ガイド層を含むことができる。

[0076] III族窒化物半導体素子 11 のエピタキシャル基板 EP は、これらの半導体層に対応する半導体層（半導体膜）を含み、対応する半導体層には、III族窒化物半導体素子 11 のために説明が当てはまる。このエピタキシャル基板 EP の表面粗さは、算術平均粗さで 1 nm 以下である。III族窒化物半導体素子 11 は、コンタクト層 25 上に設けられた第 1 の電極 37（例えば、アノード）を含むことができ、第 1 の電極 37 は、コンタクト層 25 を覆う絶縁膜 39 の開口 39a を介して p 型 III 族窒化物半導体領域 19（コンタクト層 25）に接触 JC を成す。電極としては、例えば Ni / Au を用いられる。III 族窒化物半導体素子 11 は、基板 13 の裏面 13b 上に設けられた第 2 の電極 41（例えば、カソード）を含むことができ、第 2 の電極 41 は、例えば Ti / Al から成る。

[0077] 図 2 及び図 3 は、本実施の形態に係る、III族窒化物半導体素子及びエピタキシャル基板を作製する方法における主要な工程を示す図面である。図 4 及び図 5 は、本実施の形態に係る、III族窒化物半導体素子及びエピタキシャル基板を作製する方法における主要な工程における生産物を模式的に示す図面である。

[0078] 図 2 及び図 3 に示される工程フローに従って、有機金属気相成長法により、発光素子の構造のエピタキシャル基板及びIII族窒化物半導体光素子を基板上に作製した。エピタキシャル成長のための原料として、トリメチルガリウム（TMG）、トリメチルインジウム（TMI）、トリメチルアルミニウム（TMA）、アンモニア（NH₃）、シラン（SiH₄）、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム（Cp₂Mg）を用いた。

[0079] 工程 S101 では、窒化ガリウム系半導体からなる主面を有する基板（図 4 の（a）部に示される基板 51）を準備する。この基板 51 の主面の法線軸は、窒化ガリウム系半導体の c 軸に対して 50 度から 130 度未満の角度範囲内の傾斜角を有する。本実施例では、基板 51 は、六方晶系 GaN における m 軸方向に c 面から 75 度の角度で傾斜した主面を有しており、この傾斜面は {20-21} 面として示される。主面は鏡面研磨されている。

- [0080] 基板 5 1 上に以下の条件でエピタキシャル成長を行う。まず、工程 S 1 0 2 では、基板 5 1 を成長炉 1 0 内に設置する。成長炉 1 0 内には、例えば石英フローチャネル等の石英製の治具が配置されている。必要な場合には、摂氏 1 0 5 0 度の温度及び 2 7 k P a の炉内圧力において、 NH_3 と H_2 を含む熱処理ガスを成長炉 1 0 に供給しながら 1 0 分間熱処理を行う。この熱処理により、表面改質が生じる。
- [0081] この熱処理の後に、工程 S 1 0 3 では、基板 5 1 上に III 族窒化物半導体層を成長してエピタキシャル基板を形成する。まず、工程 S 1 0 4 では、III 族構成元素及び V 族構成元素のための原料、及び n 型ドーパントを含む原料ガス並びに雰囲気ガスを成長炉 1 0 に供給して、III 族窒化物半導体領域 5 3 をエピタキシャルに成長する。III 族窒化物半導体領域 5 3 の主面 5 3 a の傾斜角は、基板 5 1 の主面 5 1 a の傾斜角に対応している。III 族窒化物半導体領域 5 3 は、一又は複数の III 族窒化物半導体層を含むことができる。雰囲気ガスは、キャリアガス、サブフローガスを含む。雰囲気ガスは、例えば窒素及び／又は水素を含むことができる。本実施例では、例えば、以下の窒化ガリウム系半導体領域が成長される。摂氏 9 5 0 度において、TMG、 NH_3 、 SiH_4 及び窒素及び／又は水素を成長炉 1 0 に供給して、Si ドープ Ga N 層 5 5 a を成長する。次いで、摂氏 8 7 0 度の基板温度で、TMG、TMI、TMA、 NH_3 、 SiH_4 及び窒素を成長炉 1 0 に供給して、Si ドープ In Al Ga N 層 5 5 b を成長する。この後に、摂氏 1 0 5 0 度において、TMG、 NH_3 、 SiH_4 及び窒素及び／又は水素を成長炉 1 0 に供給して、Si ドープ Ga N 層 5 5 c を成長する。還元性を有する水素雰囲気では成長炉内の治具や治具の付着物から酸素が脱離されやすくなる。
- [0082] 工程 S 1 0 5 では、発光層 5 7 を成長する。この工程では、まず、工程 S 1 0 6 では、摂氏 8 7 0 度の基板温度で、TMG、TMI、 NH_3 及び窒素を成長炉に供給して、In Ga N 光ガイド層 5 9 a を成長する。光ガイド層 5 9 a の一部又は全部は、アンドープ又は n 型導電性であることができる。
- [0083] 次いで、活性層 5 9 b を成長する。活性層 5 9 b の成長では、工程 S 1 0

7で、TMG、TMI、NH₃及び雰囲気ガスの窒素を成長炉に供給して、アンドープInGa_N障壁層61aを成長する。InGa_N層61aの厚さは15nmである。この成長後に、成長を中断して、障壁層の成長温度から井戸層の成長温度に基板温度を変更する。変更後に、工程S108では、TMG、TMI、NH₃及び雰囲気ガスの窒素を成長炉10に供給して、アンドープInGa_N井戸層61bを成長する。InGa_N井戸層61bの厚さは3nmである。必要な場合には、障壁層の成長、温度変更、井戸層の成長を繰り返すことができ、本実施例では、量子井戸構造は3層の井戸層を含む。工程S109では、摂氏870度の基板温度で、TMG、TMI、NH₃及び雰囲気ガスの窒素を成長炉10に供給して、InGa_N光ガイド層59cを成長する。光ガイド層59cの一部又は全部は、アンドープ又はp型導電性であることができる。発光層57及び活性層59bの主面の傾斜角は、基板51の主面51aの傾斜角に対応している。

[0084] 工程S110では、III族原料、V族原料、及びp型ドーパントを含む原料ガス並びに雰囲気ガスを成長炉10に供給して、III族窒化物半導体領域63をエピタキシャルに成長する。III族窒化物半導体領域63の主面63aの傾斜角は、基板51の主面51aの傾斜角に対応している。III族窒化物半導体領域63は、一又は複数のIII族窒化物半導体層を含むことができる。本実施例では、以下の窒化ガリウム系半導体領域が成長される。

[0085] 例えば、発光層57の成長後に、TMGの供給を停止して、基板温度を上昇する。TMG、NH₃、Cp₂Mg及び雰囲気ガスを成長炉に供給して、摂氏840度の基板温度でp型Ga_N電子ブロック層65aを成長する。この成長において、雰囲気ガスの窒素が供給されることが良い。次いで、TMG、TMI、NH₃、Cp₂Mg及び窒素を成長炉10に供給して、摂氏840度の基板温度でMgドーープInGa_N光ガイド層65bを成長する。この後に、摂氏840度において、TMG、NH₃、Cp₂Mg及び雰囲気ガスを成長炉10に供給して、MgドーープGa_N光ガイド層65cを成長する。この成長において、雰囲気ガスとして窒素が供給されることが良い。そして、摂

氏870度の基板温度で、TMG、TMI、TMA、 NH_3 、 Cp_2Mg 及び窒素を成長炉10に供給して、MgドープInAlGa Nクラッド層65dを成長する。次いで、摂氏870度において、TMG、 NH_3 、 Cp_2Mg 及び雰囲気ガスを成長炉10に供給して、高濃度MgドープGa Nコンタクト層65eを成長する。この成長において、雰囲気ガスとして窒素が供給されることが良い。これらの工程の後に、エピタキシャル基板EP1が形成される。

[0086] 工程S111では、エピタキシャル基板EP1上に電極を形成する。電極の形成は以下のように行われる。例えば、p型Ga Nコンタクト層65e上に電極(Ni/Au)を形成すると共に、エピタキシャル基板EP1の裏面に、電極(Ti/Al)を形成する。電極の形成に先立って、エピタキシャル基板EP1を加工してリッジ構造を形成することができる。

[0087] 工程S110におけるp型III族窒化物半導体領域63のエピタキシャル成長に際して、図5に示されるように、以下のように行うことができる。

[0088] 一実施例では、III族窒化物半導体領域63は、III族構成元素としてインジウムを含む一又は複数のp型窒化ガリウム系半導体層（「p型窒化ガリウム系半導体層63A」と称す）、及び／又はIII族構成元素としてインジウムを含まない一又は複数のp型窒化ガリウム系半導体層（「p型窒化ガリウム系半導体層63B」と称す）を含むことができる。図5の(a)部に示されるように、工程S112では、p型窒化ガリウム系半導体層63Aの全てを窒素雰囲気中で形成する。各成長によって、p型窒化ガリウム系半導体層63Aの酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、p型窒化ガリウム系半導体層63Aのp型ドーパント濃度 N_{pd} と酸素濃度 N_{oxg} との比(N_{oxg}/N_{pd})が1/10以下である。また、図5の(b)部に示されるように、工程S113では、p型窒化ガリウム系半導体層63Bうちの一部の層63Cを窒素雰囲気中で形成する工程を行う。この成長によって、p型窒化ガリウム系半導体層63Cの酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、p型窒化ガリウム系半導体層63Cのp型ドーパント濃度 N_{pd} と酸素濃度 N_{oxg} と

の比 (N_{oxg}/N_{pd}) が $1/10$ 以下である。また、図 5 の (c) 部に示されるように、p 型窒化ガリウム系半導体層 63B うちの残りの層 63D を水素雰囲気中で形成する工程を行う。III 族窒化物半導体領域 63 の成長では、層 63A、63C、63D の成長の順序を組み替えることができる。

[0089] 別の実施例では、III 族窒化物半導体領域 65 は、III 族構成元素としてインジウムを含む一又は複数の p 型窒化ガリウム系半導体層（「p 型窒化ガリウム系半導体層 65A」と称す）と、III 族構成元素としてインジウムを含まない一又は複数の p 型窒化ガリウム系半導体層（「p 型窒化ガリウム系半導体層 65B」と称す）とを含むことができる。図 5 の (d) 部に示されるように、工程 S114 では、p 型窒化ガリウム系半導体層 65A の全てを窒素雰囲気中で形成する。この成長によって、p 型窒化ガリウム系半導体層 65A の酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、p 型窒化ガリウム系半導体層 65A の p 型ドーパント濃度 N_{pd} と酸素濃度 N_{oxg} との比 (N_{oxg}/N_{pd}) が $1/10$ 以下である。また、図 5 の (e) 部に示されるように、工程 S115 では、p 型窒化ガリウム系半導体層 65B を窒素雰囲気中で形成する。この成長によって、p 型窒化ガリウム系半導体層 65B の酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、p 型窒化ガリウム系半導体層 65B の p 型ドーパント濃度 N_{pd} と酸素濃度 N_{oxg} との比 (N_{oxg}/N_{pd}) が $1/10$ 以下である。III 族窒化物半導体領域 65 の成長では、層 65A、65B の成長の順序を組み替えることができる。

[0090] 更なる別の実施例では、III 族窒化物半導体領域 67 は、III 族構成元素としてインジウムを含む一又は複数の p 型窒化ガリウム系半導体層（「p 型窒化ガリウム系半導体層 67A」と称す）と、III 族構成元素としてインジウムを含まない一又は複数の p 型窒化ガリウム系半導体層（「p 型窒化ガリウム系半導体層 67B」と称す）と、p 型コンタクト層 67C とを含むことができる。図 5 の (f) 部に示されるように、工程 S116 では、p 型窒化ガリウム系半導体層 67A の全てを窒素雰囲気中で形成すると共に、p 型窒化ガリウム系半導体層 67B の全てを窒素雰囲気中で形成する。窒素雰囲気中における

る p 型窒化ガリウム系半導体層 67 A、67 B の成長によって、これらの層 67 A、67 B の酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、これらの層 67 A、67 B の p 型ドーパント濃度 N_{pd} と酸素濃度 N_{oxg} との比 (N_{oxg} / N_{pd}) が $1 / 10$ 以下である。工程 S 117 では、p 型窒化ガリウム系半導体コンタクト層 67 C を形成する。また、このコンタクト層 67 C も窒素雰囲気中で形成することができ、この成長ではコンタクト層 67 C の酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。

[0091] 成長炉の石英チューブには、III 族構成元素及び V 族構成元素のための原料ガス及び雰囲気ガスが供給される。III 族構成元素としてインジウムを含まない p 型窒化ガリウム系半導体層の成長では、雰囲気ガスの割合 (雰囲気ガス / (雰囲気ガス + 原料ガス)) が 60% 以上であることができる。ここで、百分率は体積パーセントである。引き続き本実施の形態における実施例を説明する。

[0092] (実施例 1)

図 6 の (a) 部に示される素子構造のレーザダイオードを作製する。図 6 の (b) 部には、エピタキシャル構造の構成層の雰囲気ガスが示される。{20-21} 面 GaN 基板を準備する。この GaN 基板上に、有機金属気相成長法で、エピタキシャル積層を形成する。p 型窒化ガリウム系半導体層の成長において、インジウム (In) を含まない窒化ガリウム系半導体層の成長は、雰囲気ガスとして水素のみを供給して形成された水素雰囲気中で成長する。また、インジウム (In) を含む窒化ガリウム系半導体層の成長は、雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成された窒素雰囲気中で成長する。エピタキシャル積層上には、幅 $10 \mu\text{m}$ のストライプ窓を有する絶縁膜 (シリコン酸化膜) を形成する。アノード電極として Pd 電極を蒸着により形成する。この後に、パッド電極を蒸着により形成する。このように作製された基板生産物を、 $600 \mu\text{m}$ 間隔で分離して、レーザバーを作製する。レーザバーの共振器端面に、誘電体多層膜からなる反射膜を成膜する。誘電体多層膜は、 $\text{SiO}_2 / \text{TiO}_2$ からなる。前端面の反射率は 80% であり、後端面の

反射率は95%である。波長520nmでしきい値電流4kA/cm²で発振し、動作電圧は8.5ボルトである。

[0093] 図6の(b)部を参照すると、マグネシウム濃度、酸素濃度、及びこれらのO/Mg比率(酸素濃度/マグネシウム濃度)が示されている。図6の(b)部において、例えば「3e20」は 3×10^{20} を表す。

[0094] インジウム(In)を含む窒化ガリウム系半導体層、例えばp型InGaN、p型InAlGaNの成長は、雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成された窒素雰囲気中で成長されており、その酸素濃度は 5×10^{17} cm⁻³以下である。また、O/Mg比率は0.1以下である。その成膜条件はV/III比が5000から10000程度である。一方で、雰囲気ガスとして水素のみを供給して形成されたp型窒化ガリウム系半導体層(インジウム(In)を含まない窒化ガリウム系半導体層)の成長では、酸素濃度が高い。

[0095] (実施例2)

図7の(a)部に示される素子構造のレーザダイオードを作製する。図7の(b)部には、エピタキシャル構造の構成層の雰囲気ガスが示される。{20-21}面GaN基板を準備する。このGaN基板上に、有機金属気相成長法で、エピタキシャル積層を形成する。p型窒化ガリウム系半導体層の成長において、インジウム(In)を含まない窒化ガリウム系半導体層の成長は、雰囲気ガスとして窒素又は水素を供給して形成された雰囲気中で成長する。また、インジウム(In)を含む窒化ガリウム系半導体層の成長は、雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成された雰囲気中で成長する。実施例1と同様に、エピタキシャル積層上には、絶縁膜、アノード電極等を作製して基板生産物を作製する。この基板生産物を600μm間隔で分離して、レーザバーを作製する。実施例1と同様に、誘電体多層膜からなる反射膜をレーザバーの共振器端面に成膜する。波長520nmでしきい値電流4kA/cm²で発振し、動作電圧は8.0ボルトである。

[0096] 図7の(b)部を参照すると、マグネシウム濃度、酸素濃度、及びこれらのO/Mg比率(酸素濃度/マグネシウム濃度)が示されている。

[0097] インジウム (In) を含む窒化ガリウム系半導体層、例えば p 型 InGa_{1-x}N、p 型 InAlGa_{1-x}N の成長は、雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成された窒素雰囲気中で成長されており、O/Mg 比率は 0.1 以下である。その成膜条件は V/III 比が 5000 から 10000 程度である。

[0098] インジウム (In) を含まない窒化ガリウム系半導体層、例えば p 型 GaN 光ガイド層の成長は、雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成される一方で、残りのインジウム (In) を含まない窒化ガリウム系半導体層、例えば p+ 型 GaN コンタクト層及び p 型 GaN 電子ブロック層の成長は、水素雰囲気中で成長される。雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成された p 型 GaN 層の成長では、酸素濃度が低く、O/Mg 比率は 0.1 以下である。しかしながら、雰囲気ガスとして水素のみを供給して形成された p 型 GaN 電子ブロック層、p+ GaN コンタクト層の成長では、酸素濃度が高い。

[0099] (実施例 3)

図 8 の (a) 部に示される素子構造のレーザダイオードを作製する。図 8 の (b) 部には、エピタキシャル構造の構成層の雰囲気ガスが示される。{20-21} 面 GaN 基板を準備する。この GaN 基板上に、有機金属気相成長法で、エピタキシャル積層を形成する。p 型窒化ガリウム系半導体層の成長において、インジウム (In) を含まない窒化ガリウム系半導体層の成長は、雰囲気ガスとして窒素又は水素を供給して形成された雰囲気中で成長する。また、インジウム (In) を含む窒化ガリウム系半導体層の成長は、雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成された窒素雰囲気中で成長する。実施例 1 と同様に、エピタキシャル積層上には、絶縁膜、アノード電極等を作製して基板生産物を作製する。この基板生産物を 600 μm 間隔で分離して、レーザバーを作製する。実施例 1 と同様に、誘電体多層膜からなる反射膜をレーザバーの共振器端面に成膜する。波長 520 nm でしきい値電流 4 kA/cm² で発振し、動作電圧は 7.5 ボルトである。

[0100] 図 8 の (b) 部を参照すると、マグネシウム濃度、酸素濃度、及びこれらの O/Mg 比率 (酸素濃度/マグネシウム濃度) が示されている。インジウ

ム (In) を含む窒化ガリウム系半導体層、例えば p 型 InGa_N、p 型 InAlGa_N の成長は、雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成された窒素雰囲気中で成長されており、O/Mg 比率は 0.1 以下である。インジウム (In) を含まない窒化ガリウム系半導体層、例えば p 型 Ga_N 光ガイド層及び p 型 Ga_N 電子ブロック層の成長は、雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成される一方で、残りのインジウム (In) を含まない窒化ガリウム系半導体層、例えば p+ 型 Ga_N コンタクト層の成長は、水素雰囲気中で成長される。雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成された p 型 Ga_N 光ガイド層及び p 型 Ga_N 電子ブロック層の成長では、酸素濃度が低く、O/Mg 比率は 0.1 以下である。その成膜条件は V/III 比が 5000 から 10000 程度である。しかしながら、雰囲気ガスとして水素のみを供給して形成された p+ Ga_N コンタクト層の成長では、酸素濃度が高い。

[0101] (実施例 4)

図 9 の (a) 部に示される素子構造のレーザダイオードを作製する。図 9 の (b) 部には、エピタキシャル構造の構成層の雰囲気ガスが示される。{20-21} 面 Ga_N 基板を準備する。この Ga_N 基板上に、有機金属気相成長法で、エピタキシャル積層を形成する。p 型窒化ガリウム系半導体層の成長において、インジウム (In) を含まない窒化ガリウム系半導体層の成長は、雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成された窒素雰囲気中で成長する。また、インジウム (In) を含む窒化ガリウム系半導体層の成長は、雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成された窒素雰囲気中で成長する。実施例 1 と同様に、エピタキシャル積層上には、絶縁膜、アノード電極等を作製して基板生産物を作製する。この基板生産物を 600 μm 間隔で分離して、レーザバーを作製する。実施例 1 と同様に、誘電体多層膜からなる反射膜をレーザバーの共振器端面に成膜する。波長 520 nm でしきい値電流 4 kA/cm² で発振し、動作電圧は 7.0 ボルトである。

[0102] 図 9 の (b) 部を参照すると、マグネシウム濃度、酸素濃度、及びこれらの O/Mg 比率 (酸素濃度/マグネシウム濃度) が示されている。インジウ

ム (In) を含む窒化ガリウム系半導体層、例えば p 型 InGa_N、p 型 InAlGa_N の成長は、雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成された窒素雰囲気中で成長されており、O/Mg 比率は 0.1 以下である。その成膜条件は V/III 比が 5000 から 10000 程度である。インジウム (In) を含まない窒化ガリウム系半導体層、例えば p 型 Ga_N 光ガイド層、p 型 Ga_N 電子ブロック層及び P+Ga_N コンタクト層の成長は、雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成され、全て p 型窒化ガリウム系半導体層の成長が、窒素雰囲気中で成長される。雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成された p 型 Ga_N 光ガイド層、p 型 Ga_N 電子ブロック層及び p+Ga_N コンタクト層の成長では、酸素濃度が低く、O/Mg 比率は 0.1 以下である。

[0103] (実施例 5)

図 10 の (a) 部に示される素子構造のレーザダイオードを作製する。図 10 の (b) 部には、エピタキシャル構造の構成層の雰囲気ガスが示される。

{20-21} 面 Ga_N 基板を準備する。この Ga_N 基板上に、有機金属気相成長法で、エピタキシャル積層を形成する。インジウム (In) を含まない窒化ガリウム系半導体層の成長、また、インジウム (In) を含む窒化ガリウム系半導体層の成長は、雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成された窒素雰囲気中で成長する。エピタキシャル基板の表面粗さは、算術平均粗さで 1 nm 以下である。実施例 1 と同様に、エピタキシャル積層上には、絶縁膜、アノード電極等を作製して基板生産物を作製する。この基板生産物を 600 μm 間隔で分離して、レーザバーを作製する。レーザバーの共振器端面に、実施例 1 と同様に、誘電体多層膜からなる反射膜を成膜する。波長 520 nm でしきい値電流 4 kA/cm² で発振し、動作電圧は 6.5 ボルトである。

[0104] p 型及び n 型窒化ガリウム系半導体層の成長は、雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成される。雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成された窒化ガリウム系半導体層の成長では酸素濃度が低く、O/Mg 比率は 0.1 以下である。

- [0105] 駆動電圧の低減の他にも以下のような技術的寄与が得られる。例えば、キャリアガスの切替回数が減り、成長中に生成されるパーティクルといったゴミが減る。また、界面の不純物が低減される。窒素キャリアガスを用いるので、エピタキシャル表面が平坦化され、表面モフォロジーが改善される。これによりチップ歩留及び素子信頼性が向上される。さらには、p型半導体層の成長温度を低めることができ、p型半導体層の成長中における井戸層の劣化が低減される。
- [0106] 実施例1～5の結果から理解されるように、インジウム(In)を含むか含まないかに関わらずp型窒化ガリウム系半導体層のうち、雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成された窒素雰囲気中で成長されたp型窒化ガリウム系半導体層の成長は、O/Mg比率は0.1以下である。
- [0107] 発明者らは、高純度な原料の選定、エピタキシャル成長前の基板洗浄、治具の洗浄等の酸素濃度低減のための様々な方策を試みたけれども、いずれも十分な効果がない。
- [0108] 発明者らの検討によれば、極性面であるc面と半極性面を比較すると、半極性面は、c面に比べておよそ1桁程度高い酸素取り込みを示す。このため、c面上への成長では酸素不純物の取り込みは、エピタキシャル成長膜の品質に大きく影響しない。しかしながら、半極性面への成長では、特にp型半導体層の電気特性を悪化させる原因となる。
- [0109] ところが、上記のような改善のための実験を進める中で、Inを含む窒化ガリウム系半導体層は窒素雰囲気中で成長され、この窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度は、その他の水素雰囲気中で成長するInを含まない層に比べて酸素濃度が低いことを発見している。そこで、Inを含まない窒化ガリウム系半導体層を窒素雰囲気中で成長するとき、この窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度を低減できる。これにより、半導体素子の内部抵抗を下げるができる。実験によれば、窒素雰囲気中で成長する窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度を低減でき、低抵抗な半導体素子を作製できる。
- [0110] 発明者らの検討によれば、酸素の供給源としては、成長炉に供給される原

料等のガス中の不純物と、それ以外の治具等が供給源であると考えられる。原料中の不純物が酸素の供給源となっているとき、「原料中の酸素濃度」と「結晶中への酸素取り込み係数」が因子として考えられる。発明者らの実験によると、原料ガスの純度を落とした成膜では、水素雰囲気、窒素雰囲気のいずれでもエピタキシャル半導体結晶中の酸素濃度が増加する。この結果から、「結晶中への酸素取り込み係数」は雰囲気ガスによらないものと考えられる。

[0111] 一方、酸素源が原料以外にあるとき、因子は、炉内の治具、デポ、洗浄剤残渣等の「酸素源」、「酸素源からの酸素脱離係数」、「結晶中への酸素取り込み係数」が考えられる。上記の通り、「結晶中への酸素取り込み係数」は雰囲気ガスによらない。よって残りの「結晶中への酸素取り込み係数」が雰囲気ガスによって変わる。水素は、還元性のガスであり、デポ等の望まれない堆積物から酸素を脱離させる。この酸素がエピタキシャル結晶中に取り込まれるものと考えられる。これ故に、雰囲気ガス（キャリアガス及びサブフローガス）として窒素に用いることが良い。

[0112] 上記の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に権利を請求する。

産業上の利用可能性

[0113] 本実施の形態によれば、低減された酸素濃度の p 型窒化ガリウム系半導体層を有する III 族窒化物半導体素子が提供される。また、本実施の形態によれば、酸素不純物の取り込み量を低減できる、III 族窒化物半導体素子を作製する方法が提供される。さらに、本実施の形態によれば、III 族窒化物半導体素子のためのエピタキシャル基板が提供される。

符号の説明

[0114] E P…エピタキシャル基板、 1 0…成長炉、 1 1…III 族窒化物半導体素子、

13…基板、15… n 型III族窒化物半導体領域、17…発光層、19… p 型III族窒化物半導体領域、Cx…基準軸、21…第1の p 型窒化ガリウム系半導体層、23…第2の p 型窒化ガリウム系半導体層、25… p 型コンタクト層、26… p 型III族窒化物半導体積層、J1、J2…接合、27…活性層、29… n 側光ガイド層、31… p 側光ガイド層、33…半導体エピタキシャル層、35…半導体エピタキシャル層、37…第1の電極、39…絶縁膜、JC…接触、41…第2の電極、51…基板、53…III族窒化物半導体領域、55a…SiドープGa_{0.5}N層、55b…SiドープIn_{0.5}AlGa_{0.5}N層、55c…SiドープGa_{0.5}N層、59a…InGa_{0.5}N光ガイド層、59b…活性層、59c…InGa_{0.5}N光ガイド層、61a…アンドープInGa_{0.5}N障壁層、61b…アンドープInGa_{0.5}N井戸層、65a… p 型Ga_{0.5}N電子ブロック層、65b…MgドープInGa_{0.5}N光ガイド層、65c…MgドープGa_{0.5}N光ガイド層、65d…MgドープIn_{0.5}AlGa_{0.5}Nクラッド層、65e…高濃度MgドープGa_{0.5}Nコンタクト層、EP1…エピタキシャル基板。

請求の範囲

- [請求項1] III族窒化物半導体素子であって、
- 第1の窒化ガリウム系半導体からなる主面を含み導電性を有する基板と、
- 第1のp型窒化ガリウム系半導体層を含み前記主面の上に設けられたIII族窒化物半導体領域と、
- を備え、
- 前記基板の前記主面は、該第1の窒化ガリウム系半導体のc軸に沿って延びる基準軸に直交する面から50度以上130度未満の範囲の角度で傾斜し、
- 前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度 N_{ox} は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、
- 前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層のp型ドーパント濃度 N_{pd} と前記酸素濃度 N_{ox} との比(N_{ox}/N_{pd})が1/10以下である、III族窒化物半導体素子。
- [請求項2] 前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層は、III族構成元素としてインジウムを含まない、請求項1に記載されたIII族窒化物半導体素子。
- [請求項3] 前記主面の上に設けられたn型窒化ガリウム系半導体層と、
- 発光層のための窒化ガリウム系半導体層と、
- を更に備え、
- 前記発光層は、前記p型窒化ガリウム系半導体層と前記n型窒化ガリウム系半導体層との間に設けられ、
- 当該III族窒化物半導体素子は発光素子である、請求項1又は請求項2に記載されたIII族窒化物半導体素子。
- [請求項4] 前記発光層の発光波長は440nm以上、600nm以下である、請求項3に記載されたIII族窒化物半導体素子。
- [請求項5] 前記発光層の発光波長は490nm以上、600nm以下である、

請求項3又は請求項4に記載されたIII族窒化物半導体素子。

[請求項6]

前記III族窒化物半導体領域に接触を成す電極を更に備え、

前記III族窒化物半導体領域は、前記電極に接触を成すコンタクト層と、p型III族窒化物半導体領域とを含み、

前記p型III族窒化物半導体領域は前記コンタクト層と前記発光層との間に設けられ、

前記p型III族窒化物半導体領域は前記コンタクト層と第1の接合を成すと共に前記発光層と第2の接合を成し、

前記p型III族窒化物半導体領域の酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、

前記p型III族窒化物半導体領域のp型ドーパント濃度 N_{pd} と前記酸素濃度 N_{ox} との比(N_{ox}/N_{pd})が $1/10$ 以下である、請求項3～請求項5のいずれか一項に記載されたIII族窒化物半導体素子。

[請求項7]

前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層は、 GaN 、 $InGaN$ 、 $AlGaN$ 又は $InAlGaN$ からなる、請求項1～請求項6のいずれか一項に記載されたIII族窒化物半導体素子。

[請求項8]

前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層は、 GaN 又は $AlGaN$ からなる、請求項1～請求項7のいずれか一項に記載されたIII族窒化物半導体素子。

[請求項9]

前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層の炭素濃度は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下である、請求項1～請求項8のいずれか一項に記載されたIII族窒化物半導体素子。

[請求項10]

前記III族窒化物半導体領域は、前記主面の上に設けられた第2のp型窒化ガリウム系半導体層を更に含み、

前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、

前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層は、III族構成元素として

インジウムを含み、

前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層のp型ドーパント濃度 N_{pd} と前記酸素濃度 N_{oxg} との比(N_{oxg}/N_{pd})が $1/10$ 以下である、請求項1～請求項9のいずれか一項に記載されたIII族窒化物半導体素子。

[請求項11]

III族窒化物半導体素子を作製する方法であって、

第1の窒化ガリウム系半導体からなる主面を含み導電性を有する基板を準備する工程と、

第1のp型窒化ガリウム系半導体層を含むIII族窒化物半導体領域を前記主面の上に成長する工程と、
を備え、

前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層の成長では、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層のIII族構成元素及びV族構成元素のための原料ガスと第1の雰囲気ガスとが成長炉に供給され、

前記第1の雰囲気ガスとして窒素が用いられ、

前記基板の前記主面は、該第1の窒化ガリウム系半導体のc軸に沿って延びる基準軸に直交する面から 50° 以上 130° 未満の範囲の角度で傾斜し、

前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度 N_{oxg} は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、

前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層のp型ドーパント濃度 N_{pd} と前記酸素濃度 N_{oxg} との比(N_{oxg}/N_{pd})が $1/10$ 以下である、III族窒化物半導体素子を作製する方法。

[請求項12]

前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層は、III族構成元素としてインジウムを含まない、請求項11に記載されたIII族窒化物半導体素子を作製する方法。

[請求項13]

n型窒化ガリウム系半導体層を前記主面の上に成長する工程と、
活性層のための窒化ガリウム系半導体層を前記主面の上に成長する

工程と、

を更に備え、

前記活性層は、前記 p 型窒化ガリウム系半導体層と前記 n 型窒化ガリウム系半導体層との間に設けられ、

当該III族窒化物半導体素子は発光素子である、請求項 1 1 又は請求項 1 2 に記載されたIII族窒化物半導体素子を作製する方法。

[請求項14] 前記活性層の発光波長は 440 nm 以上、600 nm 以下である、請求項 1 3 に記載されたIII族窒化物半導体素子を作製する方法。

[請求項15] 前記活性層の発光波長は 490 nm 以上、600 nm 以下である、請求項 1 3 又は請求項 1 4 に記載されたIII族窒化物半導体素子を作製する方法。

[請求項16] 前記III族窒化物半導体領域に接触を成す電極を形成する工程を更に備え、

前記III族窒化物半導体領域は、前記電極に接触を成すコンタクト層と、p 型III族窒化物半導体積層とを含み、

前記 p 型III族窒化物半導体積層は前記コンタクト層と前記活性層との間に設けられ、

前記 p 型III族窒化物半導体積層は前記コンタクト層と第 1 の接合を成すと共に前記活性層と第 2 の接合を成し、

前記 p 型III族窒化物半導体積層における一又は複数の p 型窒化ガリウム系半導体層の各成長では、当該 p 型窒化ガリウム系半導体層のIII族構成元素及びV族構成元素のための原料ガスと第 2 の雰囲気ガスとが成長炉に供給され、

前記第 2 の雰囲気ガスとして窒素が用いられ、

前記 p 型III族窒化物半導体積層の酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、

前記 p 型III族窒化物半導体積層の p 型ドーパント濃度 N_{pd} と前記酸素濃度 N_{oxg} との比 (N_{oxg}/N_{pd}) が $1/10$ 以下であ

る、請求項 13～請求項 15 のいずれか一項に記載された III 族窒化物半導体素子を作製する方法。

[請求項 17] 前記第 1 の p 型窒化ガリウム系半導体層は、GaN、InGa_N、AlGa_N又は InAlGa_Nからなる、請求項 11～請求項 16 のいずれか一項に記載された III 族窒化物半導体素子を作製する方法。

[請求項 18] 前記第 1 の p 型窒化ガリウム系半導体層は、GaN又はAlGa_Nからなる、請求項 11～請求項 17 のいずれか一項に記載された III 族窒化物半導体素子を作製する方法。

[請求項 19] 前記第 1 の p 型窒化ガリウム系半導体層の炭素濃度は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下である、請求項 11～請求項 18 のいずれか一項に記載された III 族窒化物半導体素子を作製する方法。

[請求項 20] 前記 III 族窒化物半導体領域は、第 2 の p 型窒化ガリウム系半導体層を更に含み、

前記第 2 の p 型窒化ガリウム系半導体層は、III 族構成元素としてインジウムを含み、

前記第 2 の p 型窒化ガリウム系半導体層の成長では、前記第 2 の p 型窒化ガリウム系半導体層の III 族構成元素及び V 族構成元素のための原料ガスと第 2 の雰囲気ガスとが成長炉に供給され、

前記第 2 の雰囲気ガスとして窒素が用いられ、

前記第 2 の p 型窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、

前記第 2 の p 型窒化ガリウム系半導体層の p 型ドーパント濃度 N_{pd} と前記酸素濃度 N_{oxg} との比 (N_{oxg}/N_{pd}) が $1/10$ 以下である、請求項 11～請求項 19 のいずれか一項に記載された III 族窒化物半導体素子を作製する方法。

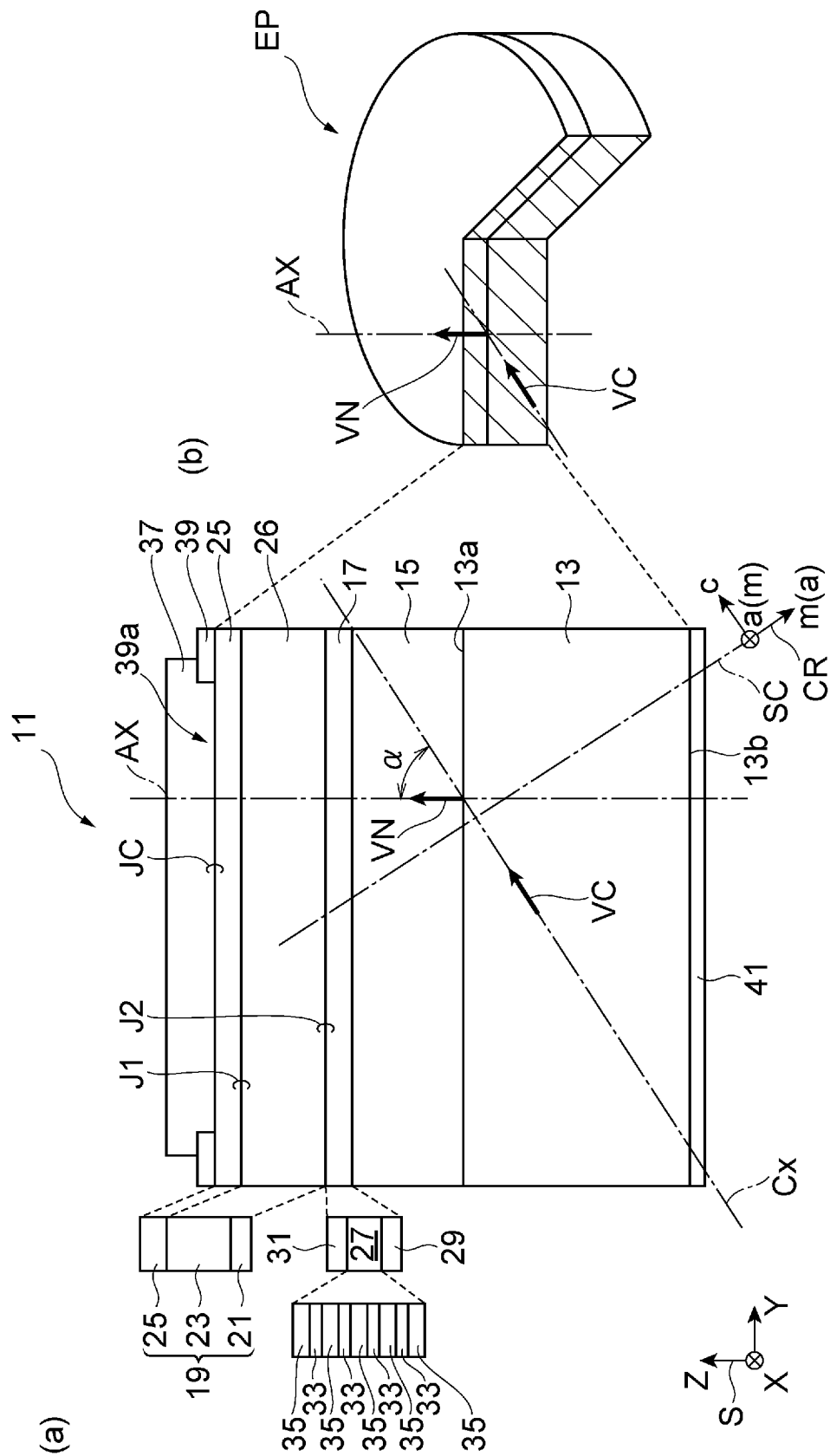
[請求項 21] 前記 III 族窒化物半導体領域の表面粗さは、算術平均粗さで 1 nm 以下である、請求項 11～請求項 20 のいずれか一項に記載された III 族窒化物半導体素子を作製する方法。

- [請求項22] III族窒化物半導体素子のためのエピタキシャル基板であって、
第1の窒化ガリウム系半導体からなる主面を含み導電性を有する基板と、
第1のp型窒化ガリウム系半導体層を含み前記主面の上に設けられたIII族窒化物半導体領域と、
を備え、
前記基板の前記主面は、該第1の窒化ガリウム系半導体のc軸に沿って延びる基準軸に直交する面から50度以上130度未満の範囲の角度で傾斜し、
前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度 N_{oxg} は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、
前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層のp型ドーパント濃度 N_{pd} と前記酸素濃度 N_{oxg} との比(N_{oxg}/N_{pd})が1/10以下である、エピタキシャル基板。
- [請求項23] 前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層は、III族構成元素としてインジウムを含まない、請求項22に記載されたエピタキシャル基板。
- [請求項24] 前記主面の上に設けられたn型窒化ガリウム系半導体層と、
発光層のための窒化ガリウム系半導体層と、
を更に備え、
前記発光層は、前記p型窒化ガリウム系半導体層と前記n型窒化ガリウム系半導体層との間に設けられ、
当該III族窒化物半導体素子は発光素子である、請求項22又は請求項23に記載されたエピタキシャル基板。
- [請求項25] 前記発光層の発光波長は440nm以上、600nm以下である、請求項24に記載されたエピタキシャル基板。
- [請求項26] 前記発光層の発光波長は490nm以上、600nm以下である、請求項24又は請求項25に記載されたエピタキシャル基板。

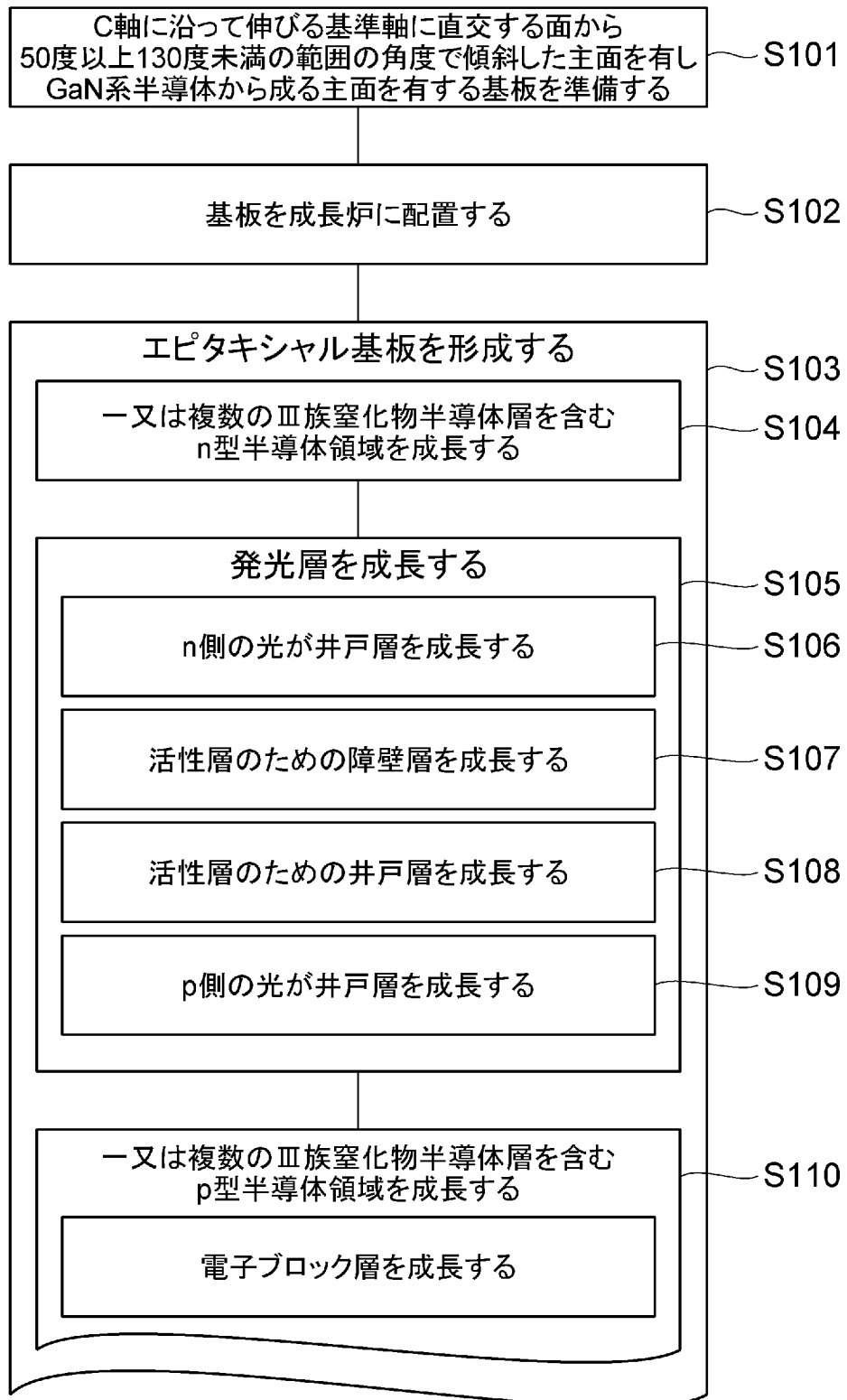
- [請求項27] 前記III族窒化物半導体領域の全体はp型導電性を有し、
前記III族窒化物半導体領域の酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、
前記III族窒化物半導体領域のp型ドーパント濃度 N_{pd} と前記酸素濃度 N_{oxg} との比(N_{oxg}/N_{pd})が $1/10$ 以下である、
請求項24～請求項26のいずれか一項に記載されたエピタキシャル基板。
- [請求項28] 前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層は、GaN、InGa_N、AlGa_N又はInAlGa_Nからなる、請求項23～請求項27のいずれか一項に記載されたエピタキシャル基板。
- [請求項29] 前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層は、GaN又はAlGa_Nからなる、請求項22～請求項28のいずれか一項に記載されたエピタキシャル基板。
- [請求項30] 前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層の炭素濃度は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下である、請求項22～請求項29のいずれか一項に記載されたエピタキシャル基板。
- [請求項31] 前記III族窒化物半導体領域は、前記主面の上に設けられた第2のp型窒化ガリウム系半導体層を更に含み、
前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、
前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層は、III族構成元素としてインジウムを含み、
前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層のp型ドーパント濃度 N_{pd} と前記酸素濃度 N_{oxg} との比(N_{oxg}/N_{pd})が $1/10$ 以下である、請求項22～請求項30のいずれか一項に記載されたエピタキシャル基板。
- [請求項32] 前記エピタキシャル基板の表面粗さは、算術平均粗さで1nm以下である、請求項22～請求項31のいずれか一項に記載されたエピタ

キシタル基板。

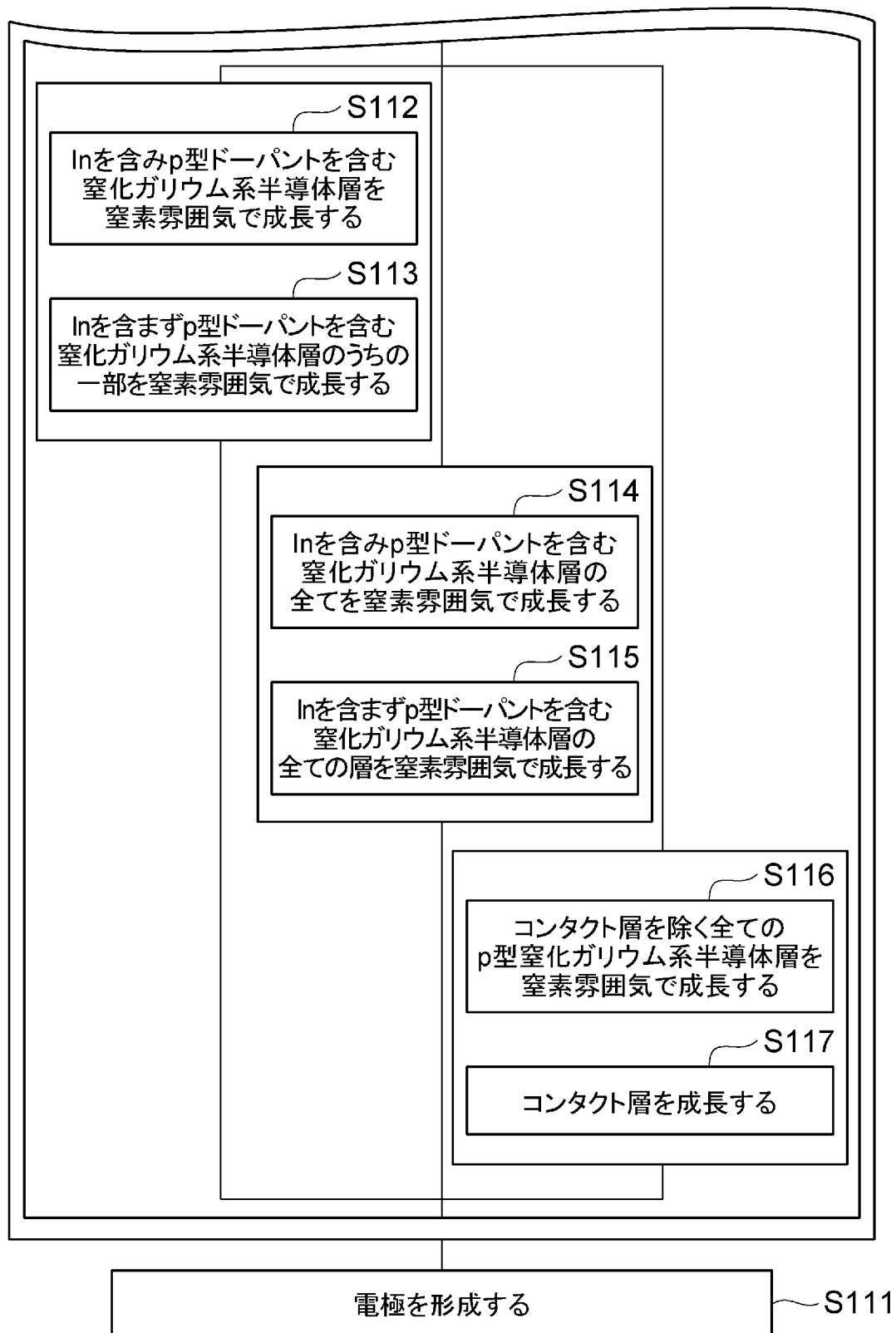
[図1]



[図2]

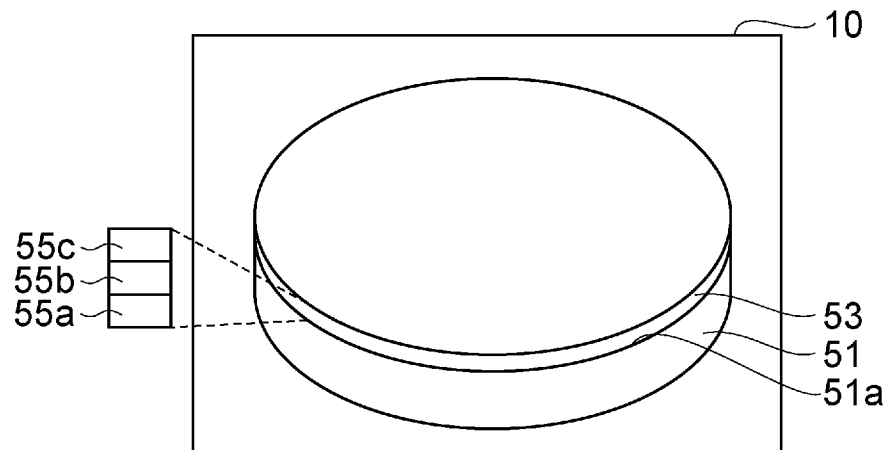


[図3]

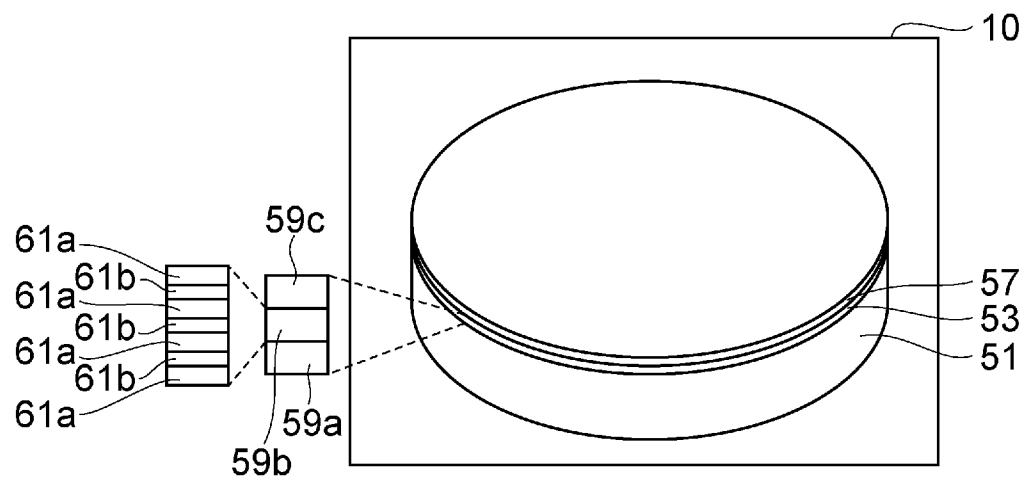


[図4]

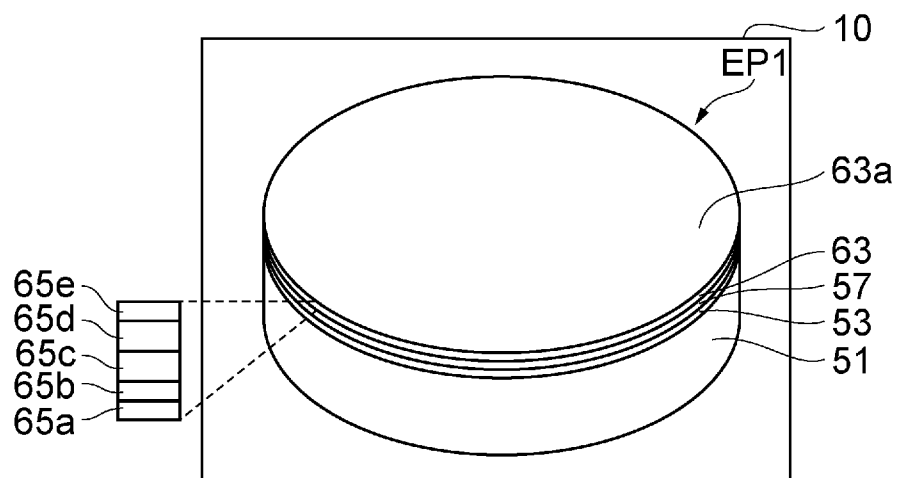
(a)



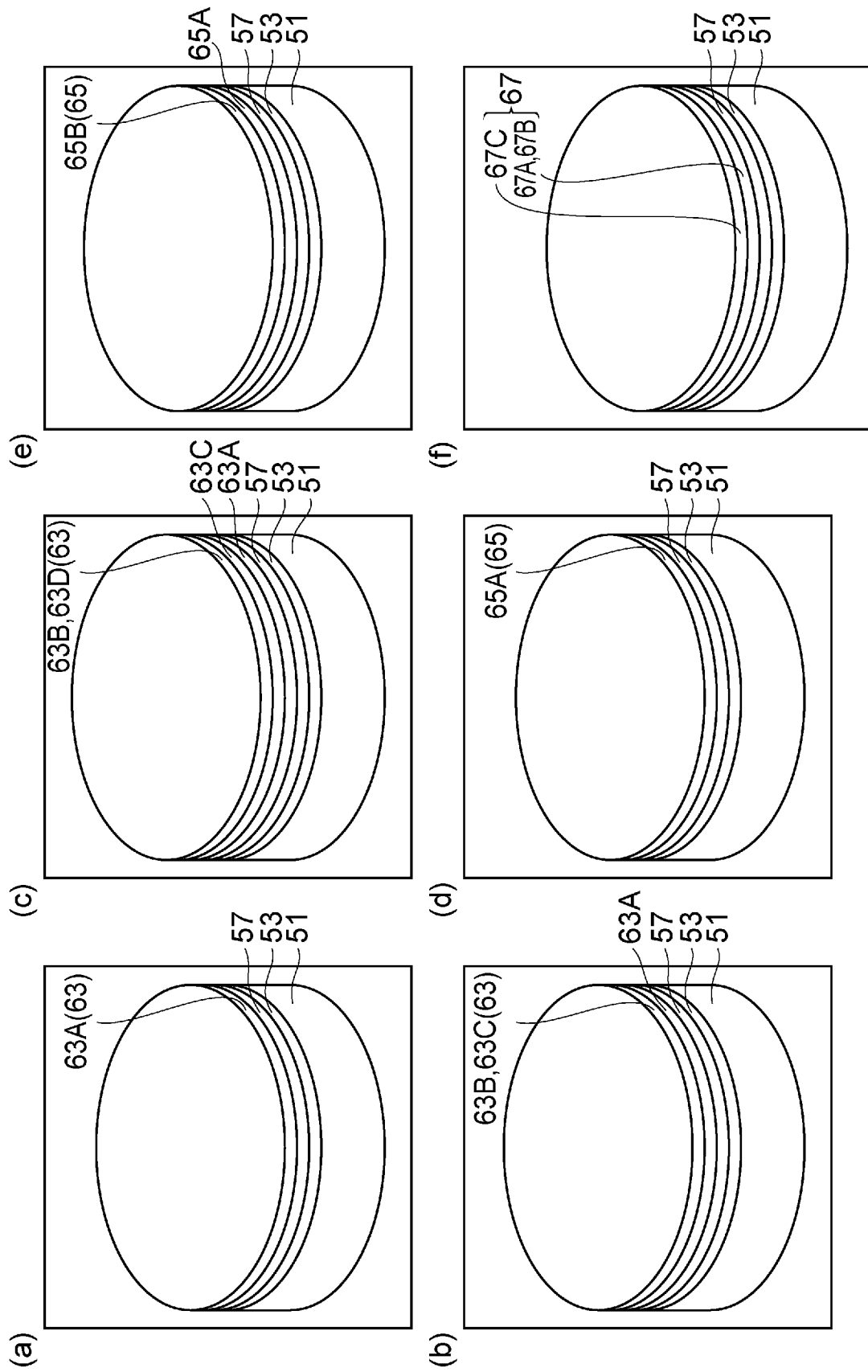
(b)



(c)



[図5]



[図6]

(a)

p+GaN0.050um
p-In _{0.03} Al _{0.14} GaN0.40um
p-GaN0.250um
p-In _{0.03} GaN0.050um
p-GaN20nm
ud-In _{0.03} GaN0.075um
ud-In _{0.30} GaN3nm
n-In _{0.03} GaN0.115um
n-GaN0.250um
n-In _{0.03} Al _{0.14} GaN1.2um
n-GaN1.1um
GaN substrate

(b)

Layer	Tc	H2/N2	Mg濃度	O濃度	O/Mg
p+GaN	900°C	H2	3e20	5e18	0.017
p-InAlGaN	870°C	N2	7e18	5e17	0.071
p-GaN	900°C	H2	3e18	2e18	0.667
p-InGaN	840°C	N2	3e18	2e17	0.067
p-GaN	900°C	H2	9e18	5e18	0.556
ud-InGaN	840°C	N2			
ud-InGaN	720°C	N2			
n-InGaN	840°C	N2			
n-GaN	1050°C	H2			
n-InAlGaN	870°C	N2			
n-GaN	950°C	H2			
熱処理	1050°C	H2			

[図7]

(b)

Layer	Tc	H2/N2	Mg濃度	O濃度	O/Mg
p+GaN	900°C	H2	3e20	5e18	0.017
p-InAlGaN	870°C	N2	7e18	5e17	0.071
p-GaN	840°C	N2	3e18	2e17	0.067
p-InGaN	840°C	N2	3e18	2e17	0.067
p-GaN	900°C	H2	9e18	5e18	0.556
ud-InGaN	840°C	N2			
ud-InGaN	720°C	N2			
n-InGaN	840°C	N2			
n-GaN	1050°C	H2			
n-InAlGaN	870°C	N2			
n-GaN	950°C	H2			
熱処理	1050°C	H2			

(a)

p+GaN0.050um
p-In0.03Al0.14GaN0.40um
p-GaN0.250um
p-In0.03GaN0.050um
p-GaN20nm
ud-In0.025GaN0.075um
ud-In0.30GaN3nm
n-In0.025GaN0.115um
n-GaN0.250um
n-In0.03Al0.14GaN1.2um
n-GaN1.1um
GaN substrate

[図8]

(b)

Layer	Tc	H2/N2	Mg濃度	O濃度	O/Mg
p+GaN	900°C	H2	3e20	5e18	0.017
p-InAlGaN	870°C	N2	7e18	5e17	0.071
p-GaN	840°C	N2	3e18	1e17	0.033
p-InGaN	840°C	N2	3e18	1e17	0.033
p-GaN	840°C	N2	9e18	1e17	0.011
ud-InGaN	840°C	N2			
ud-InGaN	720°C	N2			
n-InGaN	840°C	N2			
n-GaN	1050°C	H2			
n-InAlGaN	870°C	N2			
n-GaN	950°C	H2			
熱処理	1050°C	H2			

(a)

p+GaN0.050um
p-In0.03Al0.14GaN0.40um
p-GaN0.250um
p-In0.025GaNo.050um
p-GaN20nm
ud-In0.025GaNo.075um
ud-In0.30GaNo.3nm
n-In0.025GaNo.115um
n-GaN0.250um
n-In0.03Al0.14GaNo.1.2um
n-GaN1.1um
GaN substrate

[図9]

(b)

Layer	Tc	H2/N2	Mg濃度	O濃度	O/Mg
p-GaN	870°C	N2	3e20	3e17	0.010
p-InAlGaN	870°C	N2	7e18	5e17	0.071
p-GaN	840°C	N2	3e18	1e17	0.067
p-InGaN	840°C	N2	3e18	1e17	0.067
p-GaN	840°C	N2	9e18	1e17	0.022
ud-InGaN	840°C	N2			
ud-InGaN	720°C	N2			
n-InGaN	840°C	N2			
n-GaN	1050°C	H2			
n-InAlGaN	870°C	N2			
n-GaN	950°C	H2			
熱処理	1050°C	H2			

(a)

p-GaN0.050um
p-In0.03Al0.14GaN0.40um
p-GaN0.250um
p-In0.025GaN0.050um
p-GaN20nm
ud-In0.025GaN0.075um
ud-In0.30GaN3nm
n-In0.025GaN0.115um
n-GaN0.250um
n-In0.03Al0.14GaN1.2um
n-GaN1.1um
GaN substrate

[図10]

(b)

Layer	Tc	H2/N2
p+GaN	870°C	N2
p-InAlGaN	870°C	N2
p-GaN	840°C	N2
p-InGaN	840°C	N2
p-GaN	840°C	N2
ud-InGaN	840°C	N2
ud-InGaN	720°C	N2
n-InGaN	840°C	N2
n-GaN	840°C	N2
n-InAlGaN	870°C	N2
n-GaN	950°C	N2
熱処理	1050°C	H2

(a)

p+GaN0.050um
p-In0.03 Al0.14 GaN0.40um
p-GaN0.250um
p-In0.025 GaN0.050um
p-GaN20nm
ud-In0.025 GaN0.075um
ud-In0.30 GaN3nm
n-In0.025 GaN0.115um
n-GaN0.250um
n-In0.03 Al0.14 GaN1.2um
n-GaN1.1um
GaN substrate

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/074973

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S5/323(2006.01)i, H01L21/205(2006.01)i, H01L33/16(2010.01)i, H01L33/32(2010.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01S5/323, H01L21/205, H01L33/16, H01L33/32

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2011

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2010-192865 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 02 September 2010 (02.09.2010), paragraphs [0067], [0160]; fig. 2 & WO 2010/084697 A1	1-32
Y	JP 2004-363622 A (Showa Denko Kabushiki Kaisha), 24 December 2004 (24.12.2004), claims 4, 12; paragraph [0024]; fig. 3 (Family: none)	1-32
Y	JP 2010-212651 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 24 September 2010 (24.09.2010), paragraphs [0058], [0094]; fig. 1 (Family: none)	9, 19, 30



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T"

later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&"

document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

24 November, 2011 (24.11.11)

Date of mailing of the international search report

06 December, 2011 (06.12.11)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/074973

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2008/153130 A1 (Rohm Co., Ltd.), 18 December 2008 (18.12.2008), paragraphs [0135], [0136]; fig. 24 & US 2010/0133506 A1 & EP 2164115 A1 & CN 101689586 A & KR 10-2010-0023960 A	11-21
Y	WO 2010/090262 A1 (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 12 August 2010 (12.08.2010), paragraphs [0058] to [0061] & JP 2010-183026 A	21, 32
A	WO 2010/041657 A1 (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 15 April 2010 (15.04.2010), entire text; all drawings & JP 2010-114418 A & EP 2346097 A1	1-32
A	WO 2008/117750 A1 (Tokuyama Corp.), 02 October 2008 (02.10.2008), entire text; all drawings & US 2011/0128981 A & EP 2131403 A1 & CA 2681711 A & CN 101636853 A & KR 10-2009-0117895 A	1-32
A	JP 2010-219490 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 30 September 2010 (30.09.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-32

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H01S5/323(2006.01)i, H01L21/205(2006.01)i, H01L33/16(2010.01)i, H01L33/32(2010.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H01S5/323, H01L21/205, H01L33/16, H01L33/32

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2010-192865 A (住友電気工業株式会社) 2010. 09. 02, 段落 0067, 0160, 図 2 & WO 2010/084697 A1	1-32
Y	JP 2004-363622 A (昭和電工株式会社) 2004. 12. 24, 請求項 4, 12, 段落 0024, 図 3 (ファミリーなし)	1-32
Y	JP 2010-212651 A (住友電気工業株式会社) 2010. 09. 24, 段落 0058, 0094, 図 1 (ファミリーなし)	9, 19, 30

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

2 4 . 1 1 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

0 6 . 1 2 . 2 0 1 1

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官 (権限のある職員)

高 橋 健 司

2 K

3 7 1 5

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 5

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	WO 2008/153130 A1 (ローム株式会社) 2008. 12. 18, 段落 0135, 0136, 図 24 & US 2010/0133506 A1 & EP 2164115 A1 & CN 101689586 A & KR 10-2010-0023960 A	11-21
Y	WO 2010/090262 A1 (住友電気工業株式会社) 2010. 08. 12, 段落 0058-0061 & JP 2010-183026 A	21, 32
A	WO 2010/041657 A1 (住友電気工業株式会社) 2010. 04. 15, 全文, 全図 & JP 2010-114418 A & EP 2346097 A1	1-32
A	WO 2008/117750 A1 (株式会社トクヤマ) 2008. 10. 02, 全文, 全図 & US 2011/0128981 A & EP 2131403 A1 & CA 2681711 A & CN 101636853 A & KR 10-2009-0117895 A	1-32
A	JP 2010-219490 A (住友電気工業株式会社) 2010. 09. 30, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-32