

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7319559号

(P7319559)

(45)発行日 令和5年8月2日(2023.8.2)

(24)登録日 令和5年7月25日(2023.7.25)

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 L 33/32 (2010.01)

H 0 1 L 33/32

H 0 1 L 33/06 (2010.01)

H 0 1 L 33/06

請求項の数 9 (全15頁)

(21)出願番号	特願2021-141352(P2021-141352)	(73)特許権者	000226057
(22)出願日	令和3年8月31日(2021.8.31)		日亜化学工業株式会社
(65)公開番号	特開2022-100211(P2022-100211 A)		徳島県阿南市上中町岡4 9 1 番地1 0 0
(43)公開日	令和4年7月5日(2022.7.5)	(74)代理人	100145403
審査請求日	令和4年1月11日(2022.1.11)		弁理士 山尾 憲人
(31)優先権主張番号	特願2020-214049(P2020-214049)	(74)代理人	100138863
(32)優先日	令和2年12月23日(2020.12.23)		弁理士 言上 恵一
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)	(74)代理人	100187584
			弁理士 村石 桂一
		(72)発明者	安倍 弘喜
			徳島県阿南市上中町岡4 9 1 番地1 0 0
			日亜化学工業株式会社内
		(72)発明者	山下 智也
			徳島県阿南市上中町岡4 9 1 番地1 0 0
			日亜化学工業株式会社内
最終頁に続く			

(54)【発明の名称】 窒化物半導体発光素子

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

n側窒化物半導体層と、p側窒化物半導体層と、n側窒化物半導体層とp側窒化物半導体層との間に設けられ、井戸層と障壁層とからなる複数の積層部を含む活性層と、を含み、複数の前記井戸層は、前記n側窒化物半導体層側から順に、第1井戸層と、第2井戸層と、複数の前記井戸層のうち最も前記p側窒化物半導体層の近くに位置する第3井戸層と、を含み、

前記第2井戸層の膜厚は、前記第1井戸層の膜厚よりも厚く、

前記第3井戸層の膜厚は、前記第2井戸層の膜厚よりも厚く、

複数の前記障壁層のうち前記第3井戸層と前記p側窒化物半導体層との間に位置する第1障壁層には、p型不純物がドーピングされており、

前記複数の障壁層は、最も前記n側窒化物半導体層の近くに位置する第2障壁層と、前記第1障壁層と前記第2障壁層との間に位置する第3障壁層と、をさらに含み、

前記第3障壁層のn型不純物濃度は、前記第2障壁層のn型不純物濃度より低く、

前記第1井戸層、前記第2井戸層および前記第3井戸層のそれぞれの上にアンドープの半導体層からなる中間層が設けられている、窒化物半導体発光素子。

【請求項2】

前記第1障壁層と、前記第3井戸層との間には、アンドープの半導体層からなる中間層が設けられている、請求項1に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項3】

10

20

前記活性層は、複数の前記第 1 井戸層と、複数の前記第 2 井戸層を含む、請求項 1 または 2 に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項 4】

前記第 2 井戸層の数は、前記第 1 井戸層の数よりも多い、請求項 3 に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項 5】

前記第 3 井戸層の数は、1 つである、請求項 3 または 4 に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項 6】

前記第 3 井戸層の膜厚は、前記第 1 井戸層の膜厚の 2 倍以上である、請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体発光素子。

10

【請求項 7】

前記 p 側窒化物半導体層は、最も前記活性層の近くに位置し、p 型不純物を含む p 型障壁層を備えており、

前記第 1 障壁層の p 型不純物濃度は、前記 p 型障壁層の p 型不純物濃度よりも低い、請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項 8】

前記第 1 井戸層、前記第 2 井戸層、及び前記第 3 井戸層は In を含み、

前記第 1 井戸層の In 組成比と、前記第 2 井戸層の In 組成比と、前記第 3 井戸層の In 組成比とが等しい、請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項 9】

前記第 2 井戸層から発光される光の発光ピーク波長は、前記第 3 井戸層から発光される光の発光ピーク波長と等しい、請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体発光素子。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示に係る発明は、窒化物半導体発光素子に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、井戸層と障壁層とが交互に積層された多重量子井戸構造の活性層を備えた窒化物発光素子が知られている。特に、特許文献 1 ~ 3 には、複数の井戸層の膜厚が互いに異なる層構造が開示されている。また、特許文献 4（特に、段落 [0078]）には、p 型窒化物半導体層の成長時の熱拡散により、多重量子井戸発光層の全ての障壁層に p 型不純物がドーピングされる可能性がある点について記載されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2017 - 037873 号公報

特開 2014 - 165498 号公報

特開 2008 - 103711 号公報

国際公開第 2014 / 061692 号

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上述の窒化物発光素子の発光効率は、十分とは言い難く、発光効率の更なる向上が求められている。そこで、本開示は、さらなる発光効率の向上を図った窒化物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】

【0005】

以上の目的を達成するために、本開示に係る窒化物半導体発光素子は、

50

n 側室化物半導体層と、p 側室化物半導体層と、n 側室化物半導体層と p 側室化物半導体層との間に設けられ、井戸層と障壁層とからなる複数の積層部を含む活性層と、を含み、複数の前記井戸層は、前記 n 側室化物半導体層側から順に、第 1 井戸層と、第 2 井戸層と、複数の前記井戸層のうち最も前記 p 側室化物半導体層の近くに位置する第 3 井戸層と、を含み、

前記第 2 井戸層の膜厚は、前記第 1 井戸層の膜厚よりも厚く、

前記第 3 井戸層の膜厚は、前記第 2 井戸層の膜厚よりも厚く、

複数の前記障壁層のうち前記第 3 井戸層と前記 p 側室化物半導体層との間に位置する第 1 障壁層には、p 型不純物がドーピングされている。

【発明の効果】

10

【0006】

以上のように構成された本開示に係る室化物半導体発光素子によれば、発光効率の向上を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図 1】本開示に係る室化物半導体発光素子の構成を示す断面図である。

【図 2】本開示に係る第 1 実施形態の室化物半導体発光素子の活性層の構成を示す模式図である。

【図 3】本開示に係る第 2 実施形態の室化物半導体発光素子の活性層の構成を示す模式図である。

20

【発明を実施するための形態】

【0008】

一般に、井戸層と障壁層とが交互に積層された多重量子井戸構造の活性層を含む半導体発光素子は、複数の井戸層全体を効率よく発光させることにより発光効率を高くできると考えられている。しかしながら、電子は n 側室化物半導体層から供給され、ホールは p 側室化物半導体層から供給されることから、複数の井戸層全てに偏りなく電子またはホールを供給することは必ずしも容易ではない。特に、室化物半導体層を含む室化物半導体発光素子においては、p 側室化物半導体層から活性層に含まれる全ての井戸層にホールを効率よく供給することは容易ではなく、p 側室化物半導体層側に位置する井戸層にホールの供給が偏りやすい傾向がある。これにより、特に、室化物半導体発光素子においては、n 側室化物半導体層側に位置する井戸層にホールが供給されにくく、n 側室化物半導体層側に位置する井戸層の発光効率を高くすることが難しいという課題がある。

30

【0009】

本開示に係る発明は、上記知見に基づき鋭意検討した結果なされたものであり、活性層に含まれる全ての井戸層を発光させようとするのではなく、活性層全体として発光効率を高めようとする発明である。

【0010】

具体的には、複数の井戸層のうち、n 側室化物半導体層側に位置する第 1 井戸層は、ホールが供給されにくく発光にほとんど寄与しないことから、第 1 井戸層での発光は抑えて p 側室化物半導体層側の井戸層により多くの電子を供給させられるようにすることが好ましい。このことから、第 1 井戸層の膜厚を p 側室化物半導体層側に位置する井戸層の膜厚より薄くすることで、第 1 井戸層よりも p 側室化物半導体層側に位置する井戸層に電子が供給されやすくしている。このように、第 1 井戸層は、第 1 井戸層よりも p 側室化物半導体層側の井戸層を効率よく発光させることに寄与し、結果として、順方向電圧の低い室化物半導体発光素子の提供を可能としている。

40

【0011】

また、最も p 側室化物半導体層側に位置する第 3 井戸層は、p 側室化物半導体層からホールが供給されやすく、第 1 井戸層を介して供給された電子と p 側室化物半導体層から供給されるホールとが再結合され、複数の井戸層のうち主に発光に寄与する井戸層である。そのため、第 3 井戸層においてより効率よく発光再結合が行われるように、第 3 井戸層の

50

膜厚を第 1 井戸層を含む他の井戸層の膜厚より厚くしている。

【 0 0 1 2 】

第 2 井戸層は、第 1 井戸層よりも厚く、第 3 井戸層よりも薄い膜厚で構成されており、発光に寄与するとともに結晶性の悪化を低減するための層である。第 2 井戸層を設けることなく、第 2 井戸層よりも薄い第 1 井戸層の膜厚から第 2 井戸層よりも厚い第 3 井戸層に膜厚に変化させて井戸層を成長させると井戸層の結晶性が悪化する傾向がある。この発明者の知見に基づき、第 1 井戸層と第 3 井戸層の間に、第 1 井戸層よりも厚く、第 3 井戸層よりも薄い膜厚の第 2 井戸層を設けることで第 3 井戸層の結晶性の悪化を低減することができる。

【 0 0 1 3 】

また、複数の障壁層のうち第 3 井戸層と p 側窒化物半導体層との間に位置する第 1 障壁層は、第 3 井戸層または第 2 井戸層に効率よくホールを注入するために p 型不純物がドーピングされている。

【 0 0 1 4 】

以上のように構成された窒化物半導体発光素子は、上述したように、活性層に含まれる第 1 井戸層、第 2 井戸層、及び第 3 井戸層の膜厚を異ならせ、かつ複数の障壁層のうち第 3 井戸層と p 側窒化物半導体層との間に位置する第 1 障壁層に p 型不純物をドーピングすることで、発光効率を向上させることができる。

【 0 0 1 5 】

以下、より具体的な形態について詳細に説明する。なお、後述する本実施形態の窒化物半導体発光素子において、窒化物半導体としては、III - V 族窒化物半導体 ($\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 < x, 0 < y, x + y < 1$)) が挙げられる。なお、III 族元素の一部に B を用いてよく、V 族元素の N の一部を P、As、Sb で置換した混晶であってもよい。これらの窒化物半導体層は、例えば、有機金属気相成長法 (MOCVD)、ハイドライド気相成長法 (HVPE)、分子線エピタキシャル成長法 (MBE) 等により形成することができる。

【 0 0 1 6 】

また、本実施形態の窒化物半導体発光素子として、活性層に In を比較的多く含む井戸層を備えた発光ピーク波長が 500 nm 以上の窒化物半導体発光素子を例示して説明する。例えば、 $\text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ で構成され、In 組成比 a が 20 ~ 28 である井戸層を含み、緑色に発光する窒化物半導体発光素子である。なお、発光ピーク波長は、上記波長に限定されるものではない。また、本明細書において、数字を用いて A ~ B と記載するときは、数が A である場合と数が B である場合とを含むものとする。また、本明細書において、アンドープの半導体層とは、導電性を制御するための不純物を意図的にドーピングするための原料ガス (例えば Si や Mg を含むガス) を用いることなく形成された層であり、プロセス上不可避免的に混入される不純物を含む場合もある。アンドープの半導体層の n 型不純物濃度は、例えば、 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下である。

【 0 0 1 7 】

< < 第 1 実施形態 > >

以下、図 1 および図 2 を参照しながら本開示に係る第 1 実施形態の窒化物半導体発光素子について説明する。本実施形態に係る窒化物半導体発光素子 100 は、基板 1 と、基板 1 上に設けられた n 側窒化物半導体層 10 と、p 側窒化物半導体層 20 と、n 側窒化物半導体層 10 と p 側窒化物半導体層 20 との間に位置する活性層 5 と、を含む。最初に本開示の窒化物半導体発光素子における活性層 5 について説明し、その後、基板 1、n 側窒化物半導体層 10 および p 側窒化物半導体層 20 の順に詳述する。

【 0 0 1 8 】

(活性層 5)

活性層 5 は、井戸層と障壁層とを含む複数の積層部 5bw を含んでいる。図 2 の形態では、n 側窒化物半導体層 10 側から順に、障壁層と、井戸層とが積層された積層部 5bw を 3 つ備えた積層構造を例示している。

10

20

30

40

50

【0019】

井戸層は、一例として、Inを含む窒化物半導体を用いてよく、In組成比を適宜設定することにより、青色や緑色の発光が可能である。例えば、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 < x, 0 < y, x + y < 1$)を用いた場合、In組成比xを所望の値とすることにより、窒化物半導体発光素子の発光ピーク波長が430nm~570nmの範囲、好ましくは500nm~570nmの範囲とすることができる。

【0020】

図2に示すように、活性層5における井戸層は、n側窒化物半導体層10側から順に、第1井戸層5w1と、第2井戸層5w2と、複数の井戸層のうち最もp側窒化物半導体層20の近くに位置する第3井戸層5w3と、を含んでいる。なお、第1井戸層5w1、第2井戸層5w2および第3井戸層5w3に用いるInGaNの分解を低減するため、各井戸層の上に第1中間層5cを積層してもよい。第1中間層5cには、例えば、アンドープのGaN層を用いることができる。

10

【0021】

第1井戸層5w1の膜厚は、上述したように、第1井戸層5w1よりもp側窒化物半導体層20側に位置する井戸層より薄くしている。このような構成とすることで、p側窒化物半導体層20側の井戸層により多くの電子を供給することができ、順方向電圧の低い窒化物半導体発光素子の提供を可能としている。第1井戸層5w1の膜厚は、例えば、0.5nm~4.0nmの範囲、好ましくは、1.0nm~2.5nmの範囲、より好ましくは、1.2nm~1.9nmの範囲とすることができる。第1井戸層5w1の膜厚は、他の井戸層、具体的には、第2井戸層5w2及び第3井戸層5w3との関係を考慮して設定される。

20

【0022】

第2井戸層5w2は、第1井戸層5w1よりも厚く、第3井戸層5w3よりも薄い膜厚で構成されており、発光に寄与するとともに結晶性の悪化を低減するための層である。第2井戸層5w2の膜厚は、例えば、1.5nm~5.0nmの範囲、好ましくは、2.0nm~3.5nmの範囲、より好ましくは、2.5nm~3.2nmの範囲とすることができる。第2井戸層5w2の膜厚は、他の井戸層、具体的には、第1井戸層5w1及び第3井戸層5w3との関係を考慮して設定される。

【0023】

第3井戸層5w3は、p側窒化物半導体層20からホールが供給されやすく、複数の井戸層のうち主に発光に寄与する井戸層である。そのため、第3井戸層5w3において効率よく発光再結合が行われるように、第3井戸層5w3の膜厚を第1井戸層5w1を含む他の井戸層より厚くしている。第3井戸層5w3の膜厚は、例えば、2.0nm~5.5nmの範囲、好ましくは、2.5nm~4.0nmの範囲、より好ましくは、2.8nm~3.5nmの範囲とすることができる。第3井戸層5w3の膜厚は、他の井戸層、具体的には、第1井戸層5w1及び第2井戸層5w2との関係を考慮して設定される。

30

【0024】

各井戸層の膜厚の一例として、第1井戸層5w1の膜厚を1.5nm、第2井戸層5w2の膜厚を2.8nm、第3井戸層5w3の膜厚を3.2nmとしてよい。このような層構造とすることにより、発光にほとんど寄与しない第1井戸層5w1における電子の閉じ込め効果を低減し、第2井戸層5w2および第3井戸層5w3に電子およびホールを供給させやすくすることができる。したがって、窒化物半導体発光素子の発光効率を向上させることができる。さらに、第1井戸層5w1と第3井戸層5w3との間に第2井戸層5w2を設けることで、第1井戸層5w1の膜厚と第3井戸層5w3の膜厚の差を小さくし、第3井戸層5w3の結晶性の悪化を抑えることができる。

40

【0025】

活性層5における障壁層は、井戸層にキャリアを閉じ込めるような材料によって形成される。例えば、障壁層は、井戸層よりもバンドギャップエネルギーが大きいGaN、InGaNまたはAlGaN等により形成することができる。

50

【 0 0 2 6 】

障壁層は、最も p 側窒化物半導体層 2 0 側に位置する第 1 障壁層 5 b 1 と、最も n 側窒化物半導体層 1 0 の近くに位置する第 2 障壁層 5 b 2 と、第 1 障壁層 5 b 1 と第 2 障壁層 5 b 2 との間に位置する第 3 障壁層 5 b 3 と、を含んでいる。

【 0 0 2 7 】

第 1 障壁層 5 b 1 は、p 側窒化物半導体層 2 0 と第 3 井戸層 5 w 3 との間に位置している。第 1 障壁層 5 b 1 は、第 3 井戸層 5 w 3 または第 2 井戸層 5 w 2 に効率よくホールを注入するために p 型不純物がドーピングされている。p 型不純物は、Mg 等であってよい。第 1 障壁層 5 b 1 の膜厚は、例えば、3 nm ~ 30 nm の範囲、好ましくは、8 nm ~ 18 nm の範囲、より好ましくは、12 nm ~ 14 nm の範囲に設定されてよい。第 1 障壁層 5 b 1 の膜厚を 3 nm 以上とすることで、キャリアの注入効率の悪化を低減することができる。第 1 障壁層 5 b 1 の膜厚を 30 nm 以下とすることで、第 1 障壁層 5 b 1 の結晶性を向上させることができる。

10

【 0 0 2 8 】

第 2 障壁層 5 b 2 および第 3 障壁層 5 b 3 は、順方向電圧を下げるために、n 型不純物がドーピングされてもよい。例えば、第 1 障壁層 5 b 1 には p 型不純物がドーピングされ、第 2 障壁層 5 b 2 および第 3 障壁層 5 b 3 には n 型不純物がドーピングされていてもよい。n 型不純物をドーピングする場合、第 3 障壁層 5 b 3 の n 型不純物濃度は、第 2 障壁層 5 b 2 の n 型不純物濃度より低くすることが好ましい。なお、n 型不純物は、Si 等であってよい。第 2 障壁層 5 b 2 の膜厚は、例えば、2 nm ~ 15 nm の範囲、好ましくは、5 nm ~ 12 nm の範囲、より好ましくは、6 nm ~ 9 nm の範囲に設定されてよい。第 3 障壁層 5 b 3 の膜厚は、例えば、5 nm ~ 30 nm の範囲、好ましくは、6 nm ~ 25 nm の範囲、より好ましくは、8 nm ~ 18 nm の範囲に設定されてよい。第 2 障壁層 5 b 2 の膜厚を 2 nm 以上とすることで、キャリアが不足することを低減できる。第 2 障壁層 5 b 2 の膜厚を 15 nm 以下とすることで、n 型不純物が増加することによる結晶性の悪化を低減することができる。第 3 障壁層 5 b 3 の膜厚を 5 nm 以上とすることで、第 3 障壁層 5 b 3 の結晶性を向上させることができる。第 3 障壁層 5 b 3 の膜厚を 30 nm 以下とすることで、第 3 障壁層 5 b 3 の膜厚を厚くすることによる活性層 5 内におけるキャリアの分布の悪化を低減することができる。

20

【 0 0 2 9 】

第 3 障壁層 5 b 3 は、n 型不純物濃度の異なる 2 つの半導体層を含んでいてもよい。例えば、n 側窒化物半導体層 1 0 側に位置する第 1 n 型不純物濃度の半導体層と、p 側窒化物半導体層 2 0 側に位置する第 1 n 型不純物濃度よりも低い第 2 n 型不純物濃度の半導体層と、を含んでいてもよい。

30

【 0 0 3 0 】

また、第 2 障壁層 5 b 2 および第 3 障壁層 5 b 3 について、第 2 井戸層 5 w 2 および第 3 井戸層 5 w 3 に効率よくキャリアを供給するために、第 2 障壁層 5 b 2 の n 型不純物濃度を第 3 障壁層 5 b 3 の n 型不純物濃度よりも高くしてよい。これにより、第 3 障壁層 5 b 3 により多くの電子を供給することができる。第 2 障壁層 5 b 2 の n 型不純物濃度は、例えば、 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 3 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の範囲、好ましくは、 $2 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の範囲、より好ましくは、 $3 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 8 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ の範囲に設定されてよい。第 3 障壁層 5 b 3 の n 型不純物濃度は、例えば、 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の範囲、好ましくは、 $2 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ の範囲、より好ましくは、 $3 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ の範囲に設定されてよい。

40

【 0 0 3 1 】

以上のように構成された窒化物半導体発光素子は、井戸層にそれぞれ異なる機能を持たせかつ最も p 側窒化物半導体層 2 0 側に位置する第 1 障壁層 5 b 1 に p 型不純物をドーピングすることで、発光効率を向上させることができる。

【 0 0 3 2 】

50

次に、本開示の実施形態における活性層の構成について、以下により詳細に説明する。

【0033】

井戸層のより好ましい態様として、第1井戸層5w1、第2井戸層5w2、及び第3井戸層5w3はInを含み、第1井戸層5w1のIn組成比と、第2井戸層5w2のIn組成比と、第3井戸層5w3のIn組成比を等しくしてよい。このようにIn組成比を等しくすることによって井戸層へのキャリアの供給効率を向上させることができる。例えば、In組成比を各井戸層とも20%~28%と比較的高くすることにより、井戸層から緑色の光を発光させることができる。ここで、In組成比が等しいとは、1つの井戸層のIn組成比と他の井戸層のIn組成比とが±1%の範囲で異なる場合を含む。

【0034】

また、井戸層のより好ましい態様として、第2井戸層5w2から発光される光の発光ピーク波長と、第3井戸層5w3から発光される光の発光ピーク波長とを等しくしてもよい。各井戸層の発光ピーク波長を等しくすることにより、同じ波長ピーク波長の光をより多く発光させることができる。例えば、窒化物半導体発光素子100の発光ピーク波長は1つとしてよい。ここで、発光ピーク波長が等しいとは、1つの井戸層から発光される光の発光ピーク波長と他の井戸層から発光される光の発光ピーク波長とが±3%の範囲で異なる場合を含む。

【0035】

障壁層のより好ましい態様として、第1障壁層5b1と、第3井戸層5w3との間には、アンドープの半導体層からなる第2中間層5iを設けてよい。このように、p型不純物がドーピングされた第1障壁層5b1と第3井戸層5w3との間に第2中間層5iを介在させることにより、第1障壁層5b1に含まれるp型不純物が第2井戸層5w2及び第3井戸層5w3に拡散することによる信頼性の悪化を低減することができる。信頼性の悪化を低減することで、例えば、時間経過により窒化物半導体発光素子100の出力が低下することを低減することができる。

【0036】

障壁層のより好ましい態様として、第3井戸層5w3の膜厚は、第1井戸層5w1の膜厚の2倍以上としてよい。このように膜厚を設定することにより、第3井戸層5w3の体積が増加するため、第3井戸層5w3における電子とホールとの発光再結合確率が向上し、発光効率を向上させることができる。

【0037】

本実施形態のより好ましい態様として、第1障壁層5b1のp型不純物濃度は、p型障壁層6のp型不純物濃度よりも低くしてよい。本実施形態では、第1障壁層5b1のp型不純物濃度は、 $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ であるのに対し、p型障壁層6のp型不純物濃度は、第1障壁層5b1のp型不純物濃度の2倍~3倍程度に設定している。このようにp型不純物濃度を設定することにより、p型不純物濃度を高くすることによる結晶性の悪化を低減しつつ、第1障壁層5b1から第2井戸層5w2および第3井戸層5w3にホールを供給することができ、発光効率を向上させることができる。

【0038】

次に、本開示の窒化物半導体発光素子における活性層5以外の構成について説明する。

【0039】

(基板1)

基板1(図1参照)は、例えば、C面、R面、及びA面のいずれかを主面とするサファイアやスピネル(MgAl_2O_4)のような絶縁性基板を用いることができる。中でも、窒化物半導体発光素子100に窒化物半導体を用いる場合、C面を主面とするサファイア基板を用いることが好ましい。また、基板1として、SiC(6H、4H、3Cを含む)、ZnS、ZnO、GaAs、Siなどを用いても良い。基板1は、最終的に備えなくてもよい。

【0040】

(n側窒化物半導体層10)

10

20

30

40

50

図 1 に示すように、 n 側窒化物半導体層 10 は、基板 1 側から順に、下地層 2 と、 n 側コンタクト層 3 と、 n 側超格子層 4 と、を含んでいる。 n 側窒化物半導体層 10 は、 n 型不純物を含む少なくとも 1 つの n 型半導体層を含んでいる。 n 型不純物には、例えば、 Si や Ge などを用いることができる。

【0041】

下地層 2 は、基板 1 と n 側コンタクト層 3 との間に設けられている。下地層 2 を設けることで、下地層 2 の上面に結晶性の高い n 側コンタクト層 3 を形成することができる。下地層 2 は、例えば、 $AlGaN$ や GaN であってもよい。なお、下地層 2 と基板 1 の間にバッファ層を形成してもよい。バッファ層は、基板 1 と下地層 2 との間の格子不整合を低減させるための層であり、例えば、アンドープの $AlGaN$ や GaN を用いることができる。

10

【0042】

n 側コンタクト層 3 は、下地層 2 の上面に設けられ、少なくとも一部に n 型不純物を含んでいる。図 1 に示すように、 n 側コンタクト層 3 の上面に n 電極 8 が形成されている。 n 側コンタクト層 3 は、 n 電極 8 から活性層 5 に向かって電子を供給するために、比較的高い濃度の n 型不純物がドーピングされていることが好ましい。 n 側コンタクト層 3 の n 型不純物濃度は、例えば、 $6 \times 10^{19} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ とすることができる。 n 側コンタクト層 3 は、 GaN 、 $AlGaN$ 、 AlN 、または $InGaN$ により構成されることが好ましい。 n 側コンタクト層 3 は積層構造としてもよく、例えば、アンドープの GaN と、 n 型不純物がドーピングされた GaN とを交互に積層させてよい。 n 側コンタクト層 3 の膜厚は、例えば、 $5 \mu\text{m} \sim 20 \mu\text{m}$ であってよい。

20

【0043】

n 側超格子層 4 は、 n 側コンタクト層 3 の上面に設けられている。 n 側超格子層 4 を設けることで、 n 側コンタクト層 3 と活性層 5 との間の格子緩和を低減し、活性層 5 の結晶性を良好にすることができる。 n 側超格子層 4 は、格子定数の異なる半導体層が交互に積層された構造を有している。 n 側超格子層 4 は、例えば、1 つのアンドープの $InGaN$ 層と 1 つのアンドープの GaN 層とを含む単一ペアを n ペア含む。 n 側超格子層 4 のペア数 n は、例えば、10 個 $\sim$ 40 個の範囲、好ましくは、15 個 $\sim$ 35 個の範囲、さらに好ましくは、25 個 $\sim$ 35 個の範囲に設定されてよい。

【0044】

30

(p 側窒化物半導体層 20)

図 1 に示すように、 p 側窒化物半導体層 20 は、活性層 5 側から順に、 p 型障壁層 6 と、 p 側コンタクト層 7 を含んでいる。 p 側窒化物半導体層 20 は、 p 型不純物を含む少なくとも 1 つの p 型半導体層を含んでいる。 p 型不純物には、例えば、 Mg などを用いることができる。

【0045】

p 型障壁層 6 は、 p 側窒化物半導体層 20 のうち最も活性層 5 の近くに位置している。 p 型障壁層 6 は、電子を閉じ込めるために設けられる層であり、例えば、 Mg 等の p 型不純物を含む GaN 、 $AlGaN$ 等により構成されてよい。 p 型障壁層 6 のバンドギャップエネルギーは、活性層 5 における第 1 障壁層 5b1 のバンドギャップエネルギーよりも大きい。 p 型障壁層 6 の膜厚の一例として、例えば、 $10 \text{ nm} \sim 50 \text{ nm}$ とすることができる。 p 型障壁層 6 の p 型不純物濃度は、例えば、 $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3 \sim 6 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ とすることができる。

40

【0046】

p 側コンタクト層 7 は、上面に p 電極 9 が形成される層である。 p 側コンタクト層 7 は、例えば、 Mg 等の p 型不純物を含む GaN 、 $AlGaN$ 等により構成されてよい。 p 側コンタクト層 7 の膜厚の一例として、例えば、 $10 \text{ nm} \sim 150 \text{ nm}$ の厚さとされてよい。

【0047】

以上説明したとおり、本実施形態の窒化物半導体発光素子 100 によれば、活性層に含まれる第 1 井戸層 5w1、第 2 井戸層 5w2、及び第 3 井戸層 5w3 の膜厚を異ならせて

50

いる。そして、第1障壁層5b1にp型不純物をドーブすることで、活性層5に含まれる複数の井戸層のうち、最もp側室化物半導体層20の近くに位置する第3井戸層5w3へのホールの供給効率を向上し、発光効率の向上を図ることができる。

【0048】

<<第2実施形態>>

次に、本開示の第2実施形態について図3を参照しながら説明する。なお、第1実施形態と同一の構成については説明を省略する。前述の第1実施形態では、第1井戸層5w1、第2井戸層5w2および第3井戸層5w3をそれぞれ1つとした実施形態を説明したが、第2実施形態では、第1井戸層5w1および第2井戸層5w2を複数、第3井戸層5w3を1つとした形態を例示して説明する。

10

【0049】

第2実施形態の活性層5は、例えば、図3に示すとおり、第1井戸層5w1が2つ、第2井戸層5w2が3つ、第3井戸層5w3が1つ、として構成されてよい。第1実施形態の説明でも言及したとおり、第1井戸層5w1は、ホールが供給されにくく、ほとんど発光に寄与しない層であり、第2井戸層5w2および第3井戸層5w3は、発光に寄与する層である。なお、第2実施形態においても第1実施形態で説明したとおり、第1井戸層5w1の膜厚を第2井戸層5w2よりも薄くし、第2井戸層5w2の膜厚は、第1井戸層5w1の膜厚よりも厚くし、第3井戸層5w3の膜厚は、第2井戸層5w2の膜厚よりも厚くしている。膜厚の一例として、第1井戸層5w1の膜厚を1.5nm、第2井戸層5w2の膜厚を2.8nm、第3井戸層5w3の膜厚を3.2nmとしてよい。

20

【0050】

本実施形態では、活性層5は、複数の第1井戸層5w1と、複数の第2井戸層5w2を含んでいる。複数の第1井戸層5w1を設けることで、より高い結晶性の第2井戸層5w2を形成することができる。また、発光に寄与する層である第2井戸層5w2を複数設けることで発光効率をさらに向上させることができる。

【0051】

さらに、井戸層の好適な態様として、第2井戸層5w2の数は、第1井戸層5w1の数よりも多くしてよい。一例として、図3では、第2井戸層5w2の数が3つ、第1井戸層5w1の数が2つである態様を示している。なお、第2井戸層5w2および第1井戸層5w1の数は、この数に限定されるものではなく、例えば、第2井戸層5w2の数を7つ、第1井戸層5w1の数を5つとしてもよい。第2井戸層5w2の数を、第1井戸層5w1の数よりも多くすることにより、第1井戸層5w1へのホールの供給を抑え、第2井戸層5w2および第3井戸層5w3により多くのホールを供給させることができるため発光効率を向上させることができる。

30

【0052】

さらに、井戸層の好適な態様として、第3井戸層5w3の数は、1つとしてよい。第3井戸層5w3は、他の井戸層と比較して膜厚が厚く、また、p型障壁層6と近接しているため、より多くのホールが供給される。したがって、室化物半導体発光素子100の発光効率を向上させることができる。また、第3井戸層5w3を複数設ける場合に比べて、結晶性の悪化を低減することができる。

40

【0053】

本開示に係る室化物半導体発光素子の製造方法は、n側室化物半導体層形成工程と、活性層形成工程と、p側室化物半導体層形成工程と、電極形成工程とを備えている。n側室化物半導体層形成工程は、下地層形成工程と、n側コンタクト層形成工程と、n側超格子層形成工程とを備えている。p側室化物半導体層形成工程は、p型障壁層形成工程と、p側コンタクト層形成工程とを備えている。以下、本開示に係る室化物半導体発光素子の製造方法の工程の順番に沿って説明する。

【0054】

(下地層形成工程)

まず、例えば、サファイアからなる基板1のC面上に、有機金属気相成長法(MOCV

50

D)により下地層2を形成する。下地層2を形成する前に基板1の上にバッファ層を形成し、バッファ層を介して下地層2を形成してもよい。ここで、バッファ層は、例えば、成長温度を600以下とし、原料ガスにTMA(トリメチルアルミニウム)、TMG(トリメチルガリウム)、アンモニア等を用いて、基板1上にAlGaInを成長させることにより形成する。また、下地層2は、例えば、原料ガスにTMG、アンモニアを用い、バッファ層の上にGaIn層を成長させることにより形成する。

【0055】

(n側コンタクト層形成工程)

n側コンタクト層形成工程において、n側コンタクト層3を、n型不純物がドーパされたGaIn層を積層させることにより形成する。n型不純物がドーパされたGaIn層を成長させる場合は、原料ガスとして、TMG、アンモニアを用い、n型不純物ガスとしてモノシランを用いる。n側コンタクト層3の成長温度は、例えば、1150としてよい。

10

【0056】

(n側超格子層形成工程)

n側超格子層形成工程において、アンドープのGaIn層とアンドープのInGaIn層とを交互に積層させることによりn側超格子層4を形成する。n側超格子層4の成長温度は、n側コンタクト層3の成長温度よりも低くすることが好ましく、例えば、成長温度を910程度にすることができる。アンドープのGaIn層を成長させる場合は、原料ガスとして、TEG(トリエチルガリウム)、アンモニア等を用いる。また、アンドープのInGaIn層を成長させる場合は、原料ガスとして、TEG、TMI(トリメチルインジウム)、アンモニア等を用いる。なお、アンドープのGaIn層を成長させるときに、キャリアガスとしてH₂を含むガスを用いてもよい。このようなガスをキャリアガスとして用いることでGaIn層の表面のVピットを低減することができる。ここで、Vピットとは、半導体層に形成される転位に起因して半導体層の表面に生じる凹状のピットである。

20

【0057】

(活性層形成工程)

活性層形成工程は、障壁層形成工程と、井戸層形成工程とを含んでいる。障壁層形成工程において、原料ガスにTEG、アンモニアを用い、例えば、成長温度を950にしてGaInを成長させることにより障壁層を形成する。また、井戸層形成工程において、原料ガスとして、TEG、TMI、アンモニア等を用い、例えば、成長温度を800にしてInGaInを成長させることにより井戸層を形成する。障壁層形成工程と井戸層形成工程とを交互に複数回行うことで複数の障壁層と複数の井戸層を含む活性層を形成する。なお、井戸層に用いるInGaInの分解を低減するため、井戸層の上面に第1中間層5cを積層させた後、第1中間層5cの上面に障壁層を形成してもよい。第1中間層5cは、原料ガスにTEG、アンモニアを用いてアンドープのGaIn層を成長させてよい。

30

【0058】

本実施形態では、図2または図3に示すとおり、第2障壁層5b2および第1井戸層5w1からなる積層部5bw、第3障壁層5b3および第1井戸層5w1からなる積層部5bw、第3障壁層5b3および第2井戸層5w2からなる積層部5bw、第3障壁層5b3および第2井戸層5w2からなる積層部5bw、第3障壁層5b3および第3井戸層5w3からなる積層部5bw、を成長させる。すなわち、第1井戸層5w1を2つ、第2井戸層5w2を3つ、第3井戸層5w3を1つ成長させる。そして、第1井戸層5w1の膜厚、第2井戸層5w2の膜厚、第3井戸層5w3の膜厚の順番で厚くなるように形成する。

40

【0059】

より好ましい形態として、第3障壁層5b3を成長させるときは、n型不純物ガスとしてモノシランを用いて、n型不純物がドーパされたGaIn層を成長してよい。

【0060】

さらに、第3井戸層5w3の上面に、p型不純物が井戸層側に拡散して信頼性が悪化することを低減するため、第2中間層5iとしてアンドープのGaIn層を成長してよい。そ

50

して、第2中間層5 iの上面に、第2井戸層5 w 2および第3井戸層5 w 3へのホールの供給効率を上げるため、第1障壁層5 b 1として、p型不純物がドーピングされたGa N層を成長してよい。p型不純物ガスとして、Cp₂Mg（ビスシクロペンタジエニルマグネシウム）を用いてよい。Mgの不純物濃度は、p型障壁層6のp型不純物濃度の1/2～1/3程度であることが好ましい。なお、Mgの不純物濃度の制御は、不純物ガスの流量等を制御することにより行われて良い。

【0061】

（p型障壁層形成工程）

p型障壁層形成工程では、例えば、原料ガスとしてTEG、TMA、アンモニアを用い、p型不純物ガスとしてCp₂Mg（ビスシクロペンタジエニルマグネシウム）を用いて、p型障壁層6をp型不純物を含むAl Ga N層により形成する。

10

【0062】

（p側コンタクト層形成工程）

p側コンタクト層形成工程では、例えば、原料ガスとしてTMG、TMA、アンモニアを用いて、アンドープのGa Nからなる層を成長させる。その後、このアンドープのGa Nからなる層上に原料ガスとしてTMG、TMA、アンモニアを用い、p型不純物ガスとしてCp₂Mg（ビスシクロペンタジエニルマグネシウム）を用いて、p型不純物を含むGa N層を成長させることにより、p側コンタクト層7を形成する。p側コンタクト層7の不純物濃度は、p型障壁層6よりも高くすることが好ましい。

【0063】

上記工程により各半導体層を成長させた後、窒素雰囲気中、ウェハを反応容器内において、例えば、700程度の温度でアニーリングを行う。

20

【0064】

（電極形成工程）

アニーリング後、p側窒化物半導体層20の一部、活性層5、n側窒化物半導体層10の一部を除去して、n側コンタクト層3の表面の一部を露出させる。

【0065】

その後、p側コンタクト層7の表面の一部にp電極9を形成し、露出されたn側コンタクト層3の表面の一部にn電極8を形成する。以上のような工程を経て、窒化物半導体発光素子100は作製される。

30

【0066】

以上説明したとおり、本実施形態の窒化物半導体発光素子の製造方法によれば、活性層に含まれる第1井戸層5 w 1、第2井戸層5 w 2、及び第3井戸層5 w 3の膜厚を異ならせ、かつ第1障壁層5 b 1にp型不純物をドーピングすることで、発光効率の向上を図ることができる窒化物半導体発光素子を製造することができる。

【実施例】

【0067】

本開示の好適な一実施例を示す窒化物半導体発光素子について説明する。基板1として、サファイア基板を用いた。

【0068】

基板1の上面にアンドープのAl Ga N層からなるバッファ層を形成した。そのバッファ層上に、Ga Nを含む下地層2を形成した。

40

【0069】

次に、下地層2の上面にn側コンタクト層3を形成した。n側コンタクト層3は、n型不純物としてSiがドーピングされたGa N層である。n側コンタクト層3の膜厚は、約8 μmとした。

【0070】

次に、n側コンタクト層3の上面にn側超格子層4を形成した。n側超格子層4は、以下の複数の半導体層を含むように形成した。まず、膜厚が約80 nmであり、SiがドーピングされたGa N層を形成した。次に、膜厚が約3 nmのアンドープのGa N層と、膜厚が

50

約 1.5 nm のアンドープの InGa_N 層とのペアを 27 ペア形成した。続いて、膜厚が約 3 nm のアンドープの Ga_N 層と、膜厚が約 1.5 nm であり、Si がドーピングされた InGa_N 層とのペアを 3 ペア形成した。最後に、膜厚が約 10 nm であり、Si がドーピングされた AlGa_N 層と、膜厚が約 1 nm であり、Si がドーピングされた InGa_N 層とのペアを 6 ペア形成した。

【0071】

次に、n 側超格子層 4 の上面に活性層 5 を形成した。活性層 5 は、以下の複数の井戸層と複数の障壁層とを含むように形成した。

【0072】

まず、第 2 障壁層 5b₂ として、膜厚が約 6 nm であり、Si がドーピングされた InGa_N 層と、膜厚が約 2.3 nm のアンドープの Ga_N 層と、膜厚が約 0.6 nm のアンドープの Ga_N 層を形成した。そして、第 1 井戸層 5w₁ として、膜厚が約 1.6 nm のアンドープの InGa_N 層を形成し、第 1 中間層 5c として膜厚が約 1.6 nm のアンドープの Ga_N 層を形成した。

【0073】

次に、第 3 障壁層 5b₃ として、膜厚が約 16.3 nm であり、Si がドーピングされた Ga_N 層を形成し、第 1 井戸層 5w₁ として、膜厚が約 1.6 nm のアンドープの InGa_N 層を形成し、第 1 中間層 5c として、膜厚が約 1.6 nm のアンドープの Ga_N 層を形成した。これらの第 3 障壁層 5b₃、第 1 井戸層 5w₁、及び第 1 中間層 5c を形成する工程を 4 回繰り返して行った。

【0074】

次に、第 3 障壁層 5b₃ として、膜厚が約 16.3 nm であり、Si がドーピングされた Ga_N 層を形成し、第 2 井戸層 5w₂ として、膜厚が約 3.0 nm のアンドープの InGa_N 層を形成し、第 1 中間層 5c として、膜厚が約 1.6 nm のアンドープの Ga_N 層を形成した。これらの第 3 障壁層 5b₃、第 2 井戸層 5w₂、及び第 1 中間層 5c を形成する工程を 3 回繰り返して行った。

【0075】

次に、第 3 障壁層 5b₃ として、膜厚が約 10 nm であり、Si がドーピングされた Ga_N 層を形成し、第 2 井戸層 5w₂ として、膜厚が約 3.0 nm のアンドープの InGa_N 層を形成し、第 1 中間層 5c として、膜厚が約 1.6 nm のアンドープの Ga_N 層を形成した。4 回繰り返して行った。

【0076】

次に、第 3 障壁層 5b₃ として、膜厚が約 10 nm であり、Si がドーピングされた Ga_N 層を形成し、第 3 井戸層 5w₃ として、膜厚が約 3.4 nm のアンドープの InGa_N 層を形成し、第 1 中間層 5c として、膜厚が約 1.6 nm のアンドープの Ga_N 層を形成し、第 2 中間層 5i として、膜厚が約 5.3 nm のアンドープの Ga_N 層を形成した。

【0077】

次に、第 1 障壁層 5b₁ として、膜厚が約 13.1 nm であり、Mg がドーピングされた Ga_N 層を形成した。このとき、第 1 障壁層 5b₁ の p 型不純物濃度は、約 $1.3 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ になるように形成した。

【0078】

以上の半導体層を形成することで複数の井戸層と複数の障壁層を含む活性層 5 を形成した。本実施例の活性層 5 は、5 つの第 1 井戸層 5w₁ と、7 つの第 2 井戸層 5w₂ と、1 つの第 3 井戸層 5w₃ とを有する。また、第 1 井戸層 5w₁、第 2 井戸層 5w₂、及び第 3 井戸層 5w₃ として形成した InGa_N 層の In 組成比は、それぞれ 25% とした。

【0079】

活性層 5 の上面に、膜厚が約 11 nm の p 型障壁層 6 を形成した。p 型障壁層 6 は、p 型不純物として Mg を含む AlGa_N 層である。この p 型障壁層 6 において、Al の比率は約 12.5% とした。p 型障壁層 6 の p 型不純物濃度は、約 $4 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ になるように形成した。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 0 】

p 型障壁層 6 の上面に、p 側コンタクト層 7 を形成した。p 側コンタクト層 7 は、膜厚が約 8 0 n m のアンドープの G a N 層を形成し、その後、膜厚が約 2 0 n m であり、M g がドーピングされた G a N 層を形成することで形成した。

【 0 0 8 1 】

上記のとおり各半導体層を成長させた後、窒素雰囲気中、ウェハを反応炉内において、約 7 0 0 で熱処理を行った。

【 0 0 8 2 】

熱処理後、p 側窒化物半導体層 2 0 の一部、活性層 5、n 側窒化物半導体層 1 0 の一部を除去して、n 側コンタクト層 3 の表面の一部を露出させた。

10

【 0 0 8 3 】

その後、p 側コンタクト層 7 の表面の一部に p 電極 9 を形成し、露出された n 側コンタクト層 3 の表面の一部に n 電極 8 を形成した。

【 0 0 8 4 】

以上説明した本実施例において、1 0 0 m A の電流を流したときの窒化物半導体発光素子の発光効率、4 3 . 9 % であった。

【 0 0 8 5 】

なお、今回開示した実施態様は、すべての点で例示であって、限定的な解釈の根拠となるものではない。したがって、本発明の技術的範囲は、上記した実施態様のみによって解釈されるものではなく、特許請求の範囲の記載に基づいて画定される。また、本発明の技術的範囲には、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれる。

20

【符号の説明】

【 0 0 8 6 】

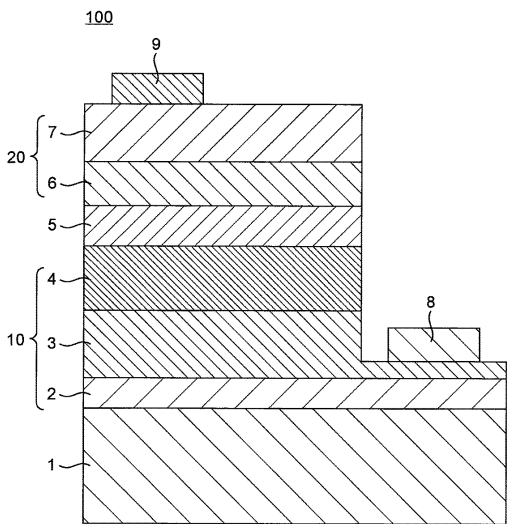
- 1 基板
- 2 下地層
- 3 n 側コンタクト層
- 4 n 側超格子層
- 5 活性層
- 5 c 第 1 中間層
- 5 i 第 2 中間層
- 5 b 1 第 1 障壁層
- 5 b 2 第 2 障壁層
- 5 b 3 第 3 障壁層
- 5 b w 積層部
- 5 w 1 第 1 井戸層
- 5 w 2 第 2 井戸層
- 5 w 3 第 3 井戸層
- 6 p 型障壁層
- 7 p 側コンタクト層
- 8 n 電極
- 9 p 電極
- 1 0 n 側窒化物半導体層
- 2 0 p 側窒化物半導体層
- 1 0 0 窒化物半導体発光素子

30

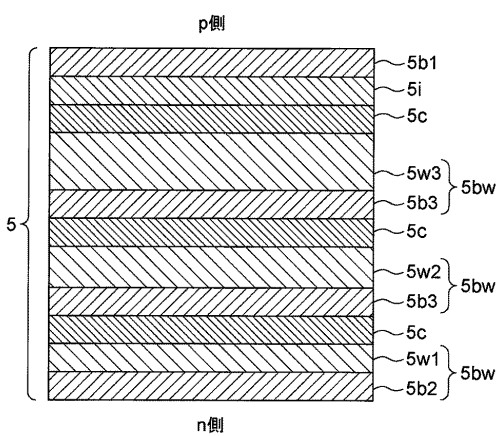
40

【図面】

【図 1】

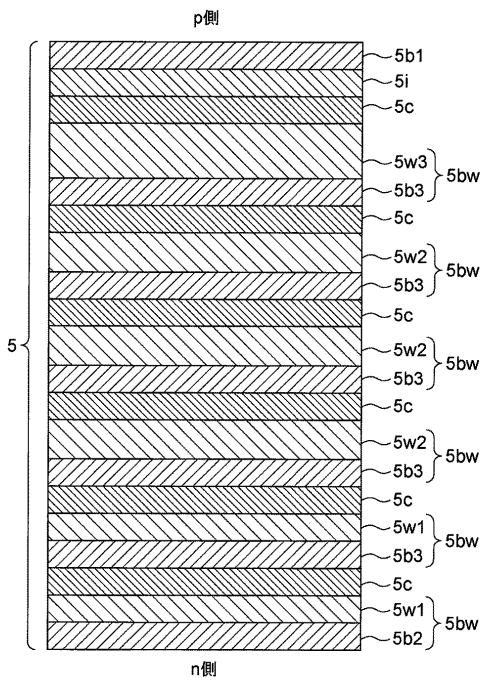


【図 2】



10

【図 3】



20

30

40

50

フロントページの続き

(72)発明者 打田 賢司

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

審査官 村井 友和

(56)参考文献 米国特許出願公開第2011/0187294 (US, A1)

特開2002-223042 (JP, A)

特開2019-004160 (JP, A)

特表2003-520453 (JP, A)

国際公開第2009/139239 (WO, A1)

特開2008-103711 (JP, A)

特開2010-028072 (JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H01L 33/00 - 33/64

H01S 5/00 - 5/50