(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7642553号
(P7642553)

(45)発行日　令和7年3月10日(2025.3.10)

(24)登録日　令和7年2月28日(2025.2.28)

(51)国際特許分類		FI		
H01S	*5/20 (2006.01)*	H01S	5/20	
H01S	*5/323(2006.01)*	H01S	5/323	610
H10H	*20/816(2025.01)*	H10H	20/816	
H10H	*20/825(2025.01)*	H10H	20/825	
C23C	*16/455(2006.01)*	C23C	16/455	

請求項の数　16　（全19頁）　最終頁に続く

(21)出願番号　特願2021-554956(P2021-554956)
(86)(22)出願日　令和2年11月4日(2020.11.4)
(86)国際出願番号　PCT/JP2020/041250
(87)国際公開番号　WO2021/090849
(87)国際公開日　令和3年5月14日(2021.5.14)
審査請求日　令和5年10月30日(2023.10.30)
(31)優先権主張番号　特願2019-203485(P2019-203485)
(32)優先日　令和1年11月8日(2019.11.8)
(33)優先権主張国・地域又は機関
日本国(JP)

(73)特許権者　520133916
ヌヴォトンテクノロジージャパン株式会社
京都府長岡京市神足焼町１番地
(74)代理人　100109210
弁理士　新居 広守
(74)代理人　100137235
弁理士　寺谷 英作
(74)代理人　100131417
弁理士　道坂 伸一
(72)発明者　高橋 邦方
日本国京都府長岡京市神足焼町１番地
ヌヴォトンテクノロジージャパン株式会社内
(72)発明者　吉田 真治

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　半導体発光素子、及び半導体発光素子の製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

III族窒化物半導体からなる発光層と、

前記発光層の上方に配置され、Ａｌを含むIII族窒化物半導体からなる電子障壁層と、

前記電子障壁層の上方において、前記電子障壁層と接して配置されるクラッド層とを備え、

前記電子障壁層及び前記クラッド層は、ドーパントとしてＭｇを含み、

前記クラッド層は、前記電子障壁層側から順に、炭素を含む高炭素濃度領域と、前記高炭素濃度領域より炭素濃度が低い低炭素濃度領域とを含み、

前記クラッド層は、ＡｌＧａＮ層である

半導体発光素子。

【請求項２】

III族窒化物半導体からなる発光層と、

前記発光層の上方に配置され、Ａｌを含むIII族窒化物半導体からなる電子障壁層と、

前記電子障壁層の上方において、前記電子障壁層と接して配置されるクラッド層と、

前記クラッド層の上方に配置されるコンタクト層とを備え、

前記電子障壁層及び前記クラッド層は、ドーパントとしてＭｇを含み、

前記クラッド層は、前記電子障壁層側から順に、炭素を含む高炭素濃度領域と、前記高炭素濃度領域より炭素濃度が低い低炭素濃度領域とを含む

半導体発光素子。

【請求項３】
III族窒化物半導体からなる発光層と、
前記発光層の上方に配置され、Ａｌを含むIII族窒化物半導体からなる電子障壁層と、
前記電子障壁層の上方において、前記電子障壁層と接して配置されるクラッド層とを備え、
前記電子障壁層及び前記クラッド層は、ドーパントとしてＭｇを含み、
前記クラッド層は、前記電子障壁層側から順に、炭素を含む高炭素濃度領域と、前記高炭素濃度領域より炭素濃度が低い低炭素濃度領域とを含み、
前記クラッド層は、炭素のＭｇに対する濃度比が１％以下となる領域を含む
半導体発光素子。
【請求項４】
III族窒化物半導体からなる発光層と、
前記発光層の上方に配置され、Ａｌを含むIII族窒化物半導体からなる電子障壁層と、
前記電子障壁層の上方において、前記電子障壁層と接して配置されるクラッド層とを備え、
前記電子障壁層及び前記クラッド層は、ドーパントとしてＭｇを含み、
前記クラッド層は、前記電子障壁層側から順に、炭素を含む高炭素濃度領域と、前記高炭素濃度領域より炭素濃度が低い低炭素濃度領域とを含み、
前記電子障壁層は、炭素のＭｇに対する濃度比が１×１０^{-３}以下となる領域を含む
半導体発光素子。
【請求項５】
前記クラッド層の上方に配置されるコンタクト層をさらに備える
請求項１、３、４のいずれか１項に記載の半導体発光素子。
【請求項６】
前記クラッド層は、前記発光層よりバンドギャップエネルギーが高い
請求項１～５のいずれか１項に記載の半導体発光素子。
【請求項７】
前記高炭素濃度領域は、Ｍｇ濃度が前記電子障壁層から遠ざかるにしたがって減少する減少領域を含む
請求項１～６のいずれか１項に記載の半導体発光素子。
【請求項８】
前記減少領域は、前記クラッド層と前記電子障壁層との界面から５０ｎｍ以上離れた領域であって、積層方向における位置に対するＭｇ濃度の変化率が$０．５\times１０^{17}ｃｍ^{-3}$／ｎｍ以上の領域を含む
請求項７に記載の半導体発光素子。
【請求項９】
前記クラッド層は、炭素のＭｇに対する濃度比が小さい低濃度比領域と、前記低濃度比領域の上方に配置され、前記低濃度比領域より炭素のＭｇに対する濃度比が大きい高濃度比領域とを含む
請求項１～８のいずれか１項に記載の半導体発光素子。
【請求項１０】
前記クラッド層は、Ｍｇを含む低Ｍｇ濃度領域と、前記低Ｍｇ濃度領域の上方に配置され、前記低Ｍｇ濃度領域よりＭｇ濃度が高い高Ｍｇ濃度領域とを含む
請求項１～９のいずれか１項に記載の半導体発光素子。
【請求項１１】
前記電子障壁層におけるＭｇ濃度は、$１\times１０^{17}ｃｍ^{-3}$以上、かつ$１\times１０^{20}ｃｍ^{-3}$以下である
請求項１～１０のいずれか１項に記載の半導体発光素子。
【請求項１２】
前記クラッド層は、III族窒化物半導体基板の主面の上方に配置される

請求項１～１１のいずれか１項に記載の半導体発光素子。
【請求項１３】
半導体発光素子の製造方法であって、
III族窒化物半導体からなる発光層を形成する工程と、
前記発光層の上方に、Ａｌを含むIII族窒化物半導体からなる電子障壁層を形成する工程と、
前記電子障壁層の上方に、前記電子障壁層と接するクラッド層を形成する工程とを含み、
前記電子障壁層を形成する工程において、ドーパントとしてＭｇを供給し、
前記クラッド層を形成する工程において、成長レートを変化させ、
前記クラッド層は、ＡｌＧａＮ層である
半導体発光素子の製造方法。
【請求項１４】
半導体発光素子の製造方法であって、
III族窒化物半導体からなる発光層を形成する工程と、
前記発光層の上方に、Ａｌを含むIII族窒化物半導体からなる電子障壁層を形成する工程と、
前記電子障壁層の上方に、前記電子障壁層と接するクラッド層を形成する工程と、
前記クラッド層の上方に、コンタクト層を形成する工程とを含み、
前記電子障壁層を形成する工程において、ドーパントとしてＭｇを供給し、
前記クラッド層を形成する工程において、成長レートを変化させる
半導体発光素子の製造方法。
【請求項１５】
前記クラッド層を形成する工程において、Ｇａ供給量を変化させることで前記成長レートを変化させる
請求項１３又は１４に記載の半導体発光素子の製造方法。
【請求項１６】
前記クラッド層を形成する工程におけるＧａ供給量は、前記クラッド層を形成する工程の開始直後の方が、前記クラッド層を形成する工程の終了直前より、多い
請求項１３～１５のいずれか１項に記載の半導体発光素子の製造方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本開示は、半導体発光素子、及び半導体発光素子の製造方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
近年、半導体レーザ素子などの半導体発光素子は、ディスプレイやプロジェクタなどの画像表示装置用光源、照明用光源、レーザ加工用光源など、様々な用途の光源として注目されている。また、上記用途の光源として用いられる半導体レーザ素子には、高出力化が望まれている。
【０００３】
半導体レーザ素子の高出力動作時における半導体レーザ素子の自己発熱に起因して、活性層に注入された電子が熱的に励起されて、活性層からｐ型クラッド層へ漏れ出すことがある。このように電子が活性層から漏れ出すことによって生じる無効電流を抑制するために、活性層とｐ型クラッド層との間に、電子障壁層を設ける技術が知られている（例えば、特許文献１など参照）。
【０００４】
特許文献１に記載された半導体レーザ素子においては、活性層とｐ型クラッド層との間に、ｐ型クラッド層よりバンドギャップエネルギーが高い電子障壁層を設けることで、活性層からｐ型クラッド層への電子の漏れ出しを抑制しようとしている。
【先行技術文献】

【特許文献】
【０００５】
【文献】国際公開第２００７／０１３２５７号
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００６】
特許文献１に記載された半導体レーザ素子において、電子障壁層を設けることに起因する動作電圧の上昇を抑制するために、電子障壁層にＭｇなどの不純物をドープすることで、電子障壁層の導電率を高めている。一方、Ｍｇなどの不純物により光吸収損失が発生するため、ｐ型クラッド層においては、電子障壁層より低濃度の不純物がドープされている。
【０００７】
しかしながら、ｐ型クラッド層の特に電子障壁層側の領域において、不純物濃度が高くなることが発明者らによって見いだされた。このような現象は、半導体レーザ素子の電子障壁層及びｐ型クラッド層を結晶成長用のチャンバ内で形成する際に、電子障壁層形成時に使用されたＭｇの一部がチャンバ内壁などに残留し、その残留Ｍｇがｐ型クラッド層に取り込まれることに起因すると考えられる。このように、ｐ型クラッド層の電子障壁層側の領域の不純物濃度が高くなることで、光吸収損失が増大する。
【０００８】
本開示は、このような課題を解決するものであり、電子障壁層を備える半導体発光素子のｐ型のクラッド層における光吸収損失を抑制することを目的とする。
【課題を解決するための手段】
【０００９】
上記課題を解決するために、本開示に係る半導体発光素子の一態様は、III族窒化物半導体からなる発光層と、前記発光層の上方に配置され、Ａｌを含むIII族窒化物半導体からなる電子障壁層と、前記電子障壁層の上方において、前記電子障壁層と接して配置されるクラッド層とを備え、前記電子障壁層及び前記クラッド層は、ドーパントとしてＭｇを含み、前記クラッド層は、前記電子障壁層側から順に、炭素を含む高炭素濃度領域と、前記高炭素濃度領域より炭素濃度が低い低炭素濃度領域とを含む。
【００１０】
このような炭素濃度が高い高炭素濃度領域を、低炭素濃度領域よりも電子障壁層寄り（つまり、発光層寄り）に配置することで、Ｍｇの取り込み量を抑制した高炭素濃度領域を形成できる。したがって、半導体発光素子のクラッド層におけるＭｇ濃度を抑制できる。このように、Ｍｇ濃度が抑制された領域を低炭素濃度領域よりも電子障壁層寄り（つまり、発光層寄り）に配置することで、より光強度が大きい領域におけるＭｇ濃度を抑制できる。これにより、電子障壁層を設けることに伴うクラッド層における光吸収損失の増大を抑制できる。また、クラッド層が高炭素濃度領域より炭素濃度が低い低炭素濃度領域を含むことにより、クラッド層全体を高炭素濃度領域とする場合より、クラッド層の結晶品質の低下を抑制できる。
【００１１】
また、本開示に係る半導体発光素子の一態様において、前記高炭素濃度領域は、Ｍｇ濃度が前記電子障壁層から遠ざかるにしたがって減少する減少領域を含んでもよい。
【００１２】
このように、クラッド層におけるＭｇ濃度を減少させることで、電子障壁層を設けることに伴うクラッド層における光吸収損失の増大を抑制できる。
【００１３】
また、本開示に係る半導体発光素子の一態様において、前記減少領域は、前記クラッド層と前記電子障壁層との界面から５０ｎｍ以上離れた領域であって、積層方向における位置に対するＭｇ濃度の変化率が０．５×10^{17}ｃｍ$^{-3}$／ｎｍ以上の領域を含んでもよい。
【００１４】

このように、Ｍｇ濃度が急激に減少する領域をクラッド層が含むことで、電子障壁層を設けることに伴うクラッド層における光吸収損失の増大を抑制できる。

【００１５】

また、本開示に係る半導体発光素子の一態様において、前記クラッド層は、炭素のＭｇに対する濃度比が小さい低濃度比領域と、前記低濃度比領域の上方に配置され、前記低濃度比領域より炭素のＭｇに対する濃度比が大きい高濃度比領域とを含んでもよい。

【００１６】

このように、クラッド層が、高濃度比領域より電子障壁層寄りに、Ｍｇ濃度が低い低濃度比領域を含むことで、電子障壁層を設けることに伴うクラッド層における光吸収損失の増大を抑制できる。

【００１７】

また、本開示に係る半導体発光素子の一態様において、前記クラッド層は、炭素のＭｇに対する濃度比が１％以下となる領域を含んでもよい。

【００１８】

このように、クラッド層が、Ｍｇ濃度が低い領域を含むことで、電子障壁層を設けることに伴うクラッド層における光吸収損失の増大を抑制できる。

【００１９】

また、本開示に係る半導体発光素子の一態様において、前記クラッド層は、Ｍｇを含む低Ｍｇ濃度領域と、前記低Ｍｇ濃度領域の上方に配置され、前記低Ｍｇ濃度領域よりＭｇ濃度が高い高Ｍｇ濃度領域とを含んでもよい。

【００２０】

このように、クラッド層が、高Ｍｇ濃度領域より電子障壁層寄りに、低Ｍｇ濃度領域を含むことで、電子障壁層を設けることに伴うクラッド層における光吸収損失の増大を抑制できる。また、クラッド層が高Ｍｇ濃度領域を含むことでクラッド層の低抵抗化を実現できる。

【００２１】

また、本開示に係る半導体発光素子の一態様において、前記電子障壁層におけるＭｇ濃度は、$1\times10^{17}\ cm^{-3}$以上、かつ$1\times10^{20}\ cm^{-3}$以下であってもよい。

【００２２】

このように、電子障壁層にＭｇをドープすることで、電子障壁層を低抵抗化できる。

【００２３】

また、本開示に係る半導体発光素子の一態様において、前記クラッド層は、III族窒化物半導体基板の主面の上方に配置されてもよい。

【００２４】

また、本開示に係る半導体発光素子の一態様において、前記電子障壁層は、炭素のＭｇに対する濃度比が1×10^{-3}以下となる領域を含んでもよい。

【００２５】

このように、電子障壁層において、Ｍｇ濃度が高い領域を形成することで、電子障壁層を低抵抗化できる。

【００２６】

また、上記課題を解決するために、本開示に係る半導体発光素子の製造方法の一態様は、III族窒化物半導体からなる発光層を形成する工程と、前記発光層の上方に、Ａｌを含むIII族窒化物半導体からなる電子障壁層を形成する工程と、前記電子障壁層の上方に、前記電子障壁層と接するクラッド層を形成する工程とを含み、前記電子障壁層を形成する工程において、ドーパントとしてＭｇを供給し、前記クラッド層を形成する工程において、成長レートを変化させる。

【００２７】

このように、クラッド層を形成する工程で、成長レートを変化させることで、クラッド層は、高い成長レートで形成される領域を含む。高い成長レートで形成される領域においては、電子障壁層形成時に使用されたＭｇがクラッド層に取り込まれることを抑制できる

ため、クラッド層がＭｇ濃度が抑制された領域を含むことができる。これにより、電子障壁層を設けることに伴うクラッド層における光吸収損失の増大を抑制できる。

【００２８】

また、本開示に係る半導体発光素子の製造方法の一態様において、前記クラッド層を形成する工程において、Ｇａ供給量を変化させることで前記成長レートを変化させてもよい。

【００２９】

このように、Ｇａ供給量を変化させることで、Ｍｇのクラッド層への取り込み量を変化させることができる。Ｇａ供給量が大きい領域において、Ｍｇ濃度を抑制できるため、電子障壁層を設けることに伴うクラッド層における光吸収損失の増大を抑制できる。

【００３０】

また、本開示に係る半導体発光素子の製造方法の一態様において、前記クラッド層を形成する工程におけるＧａ供給量は、前記クラッド層を形成する工程の開始直後の方が、前記クラッド層を形成する工程の終了直前より、多くてもよい。

【００３１】

これにより、クラッド層における電子障壁層に隣接する領域のＭｇ濃度を抑制できる。したがって、クラッド層における最も光強度が高い領域においてＭｇ濃度を抑制できるため、電子障壁層を設けることに伴うクラッド層における光吸収損失の増大をより一層抑制できる。

【００３２】

また、本開示に係る半導体発光素子の製造方法の一態様において、前記電子障壁層及び前記クラッド層はドーパントとしてＭｇを含み、前記クラッド層は、前記電子障壁層側から順に、炭素を含む高炭素濃度領域と、前記高炭素濃度領域より炭素濃度が低い低炭素濃度領域とを含んでもよい。

【００３３】

このような炭素濃度が高い高炭素濃度領域は、例えば、成長レートが高い場合に形成される。このように高い成長レートで形成された高炭素濃度領域においては、Ｍｇの取り込み量が抑制される。したがって、半導体発光素子のクラッド層におけるＭｇ濃度を抑制できる。このように、Ｍｇ濃度が抑制された領域を低炭素濃度領域よりも電子障壁層寄り（つまり、発光層寄り）に配置することで、より光強度が大きい領域におけるＭｇ濃度を抑制できる。これにより、電子障壁層を設けることに伴うクラッド層における光吸収損失の増大を抑制できる。

【００３４】

また、本開示に係る半導体発光素子の製造方法の一態様において、前記高炭素濃度領域は、Ｍｇ濃度が前記電子障壁層から遠ざかるにしたがって減少する減少領域を含んでもよい。

【００３５】

このように、クラッド層におけるＭｇ濃度を減少させることで、電子障壁層を設けることに伴うクラッド層における光吸収損失の増大を抑制できる。

【００３６】

また、本開示に係る半導体発光素子の製造方法の一態様において、前記減少領域は、前記クラッド層と前記電子障壁層との界面から５０ｎｍ以上離れた領域であって、積層方向における位置に対するＭｇ濃度の変化率が０．５×10^{17} cm^{-3}／ｎｍ以上の領域を含んでもよい。

【００３７】

このように、Ｍｇ濃度が急激に減少する領域をクラッド層が含むことで、電子障壁層を設けることに伴うクラッド層における光吸収損失の増大を抑制できる。

【００３８】

また、本開示に係る半導体発光素子の製造方法の一態様において、前記クラッド層は、炭素のＭｇに対する濃度比が小さい低濃度比領域と、前記低濃度比領域の上方に配置され、前記低濃度比領域より炭素のＭｇに対する濃度比が大きい高濃度比領域とを含んでもよ

い。
【００３９】
　このように、クラッド層が、高濃度比領域より電子障壁層寄りに、Ｍｇ濃度が低い低濃度比領域を含むことで、電子障壁層を設けることに伴うクラッド層における光吸収損失の増大を抑制できる。
【００４０】
　また、本開示に係る半導体発光素子の製造方法の一態様において、前記クラッド層は、炭素のＭｇに対する濃度比が１％以下となる領域を含んでもよい。
【００４１】
　このように、クラッド層が、高Ｍｇ濃度領域より電子障壁層寄りに、低Ｍｇ濃度領域を含むことで、電子障壁層を設けることに伴うクラッド層における光吸収損失の増大を抑制できる。また、クラッド層が高Ｍｇ濃度領域を含むことでクラッド層の低抵抗化を実現できる。
【００４２】
　また、本開示に係る半導体発光素子の製造方法の一態様において、前記クラッド層は、Ｍｇを含む低Ｍｇ濃度領域と、前記低Ｍｇ濃度領域の上方に配置され、前記低Ｍｇ濃度領域よりＭｇ濃度が高い高Ｍｇ濃度領域とを含んでもよい。
【００４３】
　このように、クラッド層が、高Ｍｇ濃度領域より電子障壁層寄りに、低Ｍｇ濃度領域を含むことで、電子障壁層を設けることに伴うクラッド層における光吸収損失の増大を抑制できる。また、クラッド層が高Ｍｇ濃度領域を含むことでクラッド層の低抵抗化を実現できる。
【００４４】
　また、本開示に係る半導体発光素子の製造方法の一態様において、前記電子障壁層におけるＭｇ濃度は、$1\times10^{17}\ cm^{-3}$以上、かつ$1\times10^{20}\ cm^{-3}$以下であってもよい。
【００４５】
　このように、電子障壁層にＭｇをドープすることで、電子障壁層を低抵抗化できる。
【００４６】
　また、本開示に係る半導体発光素子の製造方法の一態様において、前記電子障壁層は、炭素のＭｇに対する濃度比が1×10^{-3}以下となる領域を含んでもよい。
【００４７】
　このように、電子障壁層において、Ｍｇ濃度が高い領域を形成することで、電子障壁層を低抵抗化できる。
【発明の効果】
【００４８】
　本開示によれば、電子障壁層を備える半導体発光素子のｐ型のクラッド層における光吸収損失を抑制できる。
【図面の簡単な説明】
【００４９】
【図１】図１は、実施の形態に係る半導体発光素子の全体構成を示す模式的な断面図である。
【図２】図２は、実施の形態に係る半導体発光素子が備える各層の構成を示す図である。
【図３】図３は、実施の形態に係る電子障壁層の一部（一定組成領域）及びｐ型クラッド層の積層方向の位置に対するＭｇ及び炭素の濃度、並びに、Ａｌ組成比の分布を示すグラフである。
【図４】図４は、実施の形態に係る電子障壁層及びｐ型クラッド層の積層方向の位置に対するＭｇ及び炭素の濃度の分布を示すグラフである。
【図５】図５は、実施の形態に係るｐ型クラッド層の積層方向の位置に対するＭｇ及び炭素の濃度の分布を示すグラフである。

【図６】図６は、実施の形態に係る電子障壁層及びｐ型クラッド層の製造方法を示すグラフである。
【発明を実施するための形態】
【００５０】
以下、本開示の実施の形態について、図面を参照しながら説明する。なお、以下に説明する実施の形態は、いずれも本開示の一具体例を示すものである。したがって、以下の実施の形態で示される、数値、形状、材料、構成要素、及び、構成要素の配置位置や接続形態などは、一例であって本開示を限定する主旨ではない。
【００５１】
また、各図は模式図であり、必ずしも厳密に図示されたものではない。したがって、各図において縮尺等は必ずしも一致していない。なお、各図において、実質的に同一の構成に対しては同一の符号を付しており、重複する説明は省略又は簡略化する。
【００５２】
また、本明細書において、「上方」及び「下方」という用語は、絶対的な空間認識における上方向（鉛直上方）及び下方向（鉛直下方）を指すものではなく、積層構成における積層順を基に相対的な位置関係により規定される用語として用いる。また、「上方」及び「下方」という用語は、２つの構成要素が互いに間隔をあけて配置されて２つの構成要素の間に別の構成要素が存在する場合のみならず、２つの構成要素が互いに接する状態で配置される場合にも適用される。
【００５３】
（実施の形態）
実施の形態に係る半導体発光素子について説明する。
【００５４】
［１．全体構成］
まず、本実施の形態に係る半導体発光素子の全体構成について図１及び図２を用いて説明する。図１は、本実施の形態に係る半導体発光素子１０の全体構成を示す模式的な断面図である。図２は、本実施の形態に係る半導体発光素子１０が備える各層の構成を示す図である。図２には、半導体発光素子１０の各層の材質、Ｉｎ組成比又はＡｌ組成比、膜厚、並びに、不純物（つまり、ドーパント）及びその濃度が示されている。
【００５５】
図１及び図２に示される半導体発光素子１０は、電流が供給されることで光を出射する半導体素子である。図１及び図２に示される例では、半導体発光素子１０は、レーザ光を出射する半導体レーザ素子である。図１には、半導体発光素子１０のレーザ共振方向に垂直な断面が示されている。半導体発光素子１０は、発光層１５と、電子障壁層１８と、ｐ型クラッド層１９とを備える。本実施の形態では、半導体発光素子１０は、基板１１と、ｎ型クラッド層１３と、ｎ側ガイド層１４と、ｐ側ガイド層１６と、中間層１７と、コンタクト層２０と、電流ブロック層２１と、ｐ側電極２２と、パッド電極２３と、ｎ側電極２４と、密着補助層２５とをさらに備える。
【００５６】
基板１１は、半導体発光素子１０の基体である。基板１１は、例えば、III族窒化物半導体基板である。基板１１の主面の上方に半導体発光素子１０の各半導体層が配置される。本実施の形態では、基板１１は、厚さ８５μｍの六方晶のｎ型ＧａＮ基板である。基板１１には、不純物として濃度$1\times10^{18}cm^{-3}$のＳｉがドープされている。
【００５７】
ｎ型クラッド層１３は、基板１１の上方に配置される第１導電型のクラッド層の一例である。本実施の形態では、第１導電型はｎ型であり、ｎ型クラッド層１３は、膜厚１５００ｎｍの$Al_{0.035}Ga_{0.965}N$層である。ｎ型クラッド層１３には、不純物として濃度$1\times10^{18}cm^{-3}$のＳｉがドープされている。
【００５８】
ｎ側ガイド層１４は、ｎ型クラッド層１３の上方であって、発光層１５の下方に配置さ

れ、ｎ型クラッド層１３より屈折率が高い層であり、光を発光層１５付近に閉じ込める機能を有する。本実施の形態では、ｎ側ガイド層１４は、ｎ型クラッド層１３側から順に積層された、膜厚１００ｎｍで、不純物として濃度$1\times10^{18}cm^{-3}$のＳｉがドープされているＧａＮ層と、膜厚１７５ｎｍで、アンドープの$In_{0.03}Ga_{0.97}N$層とを含む。

【００５９】

発光層１５は、半導体発光素子１０において光を発生する層であり、III族窒化物半導体からなる活性層である。本実施の形態では、発光層１５は、アンドープの量子井戸活性層である。発光層１５は、ＩｎＧａＮからなる量子井戸層とＩｎＧａＮからなる量子障壁層とが交互に積層された量子井戸構造の活性層である。より具体的には、発光層１５は、ｎ側ガイド層１４側から順に積層された、膜厚７ｎｍの$In_{0.04}Ga_{0.96}N$層からなる障壁層と、膜厚２．８ｎｍの$In_{0.18}Ga_{0.82}N$層からなる井戸層と、膜厚７ｎｍの$In_{0.04}Ga_{0.96}N$層からなる障壁層と、膜厚２．８ｎｍの$In_{0.18}Ga_{0.82}N$層からなる井戸層と、膜厚５ｎｍの$In_{0.04}Ga_{0.96}N$層からなる障壁層とを含む。

【００６０】

ｐ側ガイド層１６は、発光層１５の上方であって、ｐ型クラッド層１９の下方に配置され、ｐ型クラッド層１９より屈折率が高い層であり、光を発光層１５付近に閉じ込める機能を有する。本実施の形態では、ｐ側ガイド層１６は、膜厚９８ｎｍで、アンドープの$In_{0.03}Ga_{0.97}N$層とを含む。

【００６１】

中間層１７は、ｐ側ガイド層１６と、電子障壁層１８との間に配置される層である。本実施の形態では、中間層１７は、ｐ側ガイド層１６側から順に積層された、膜厚２１ｎｍで、アンドープのＩｎＧａＮ層と、膜厚３ｎｍで、不純物として濃度$2\times10^{19}cm^{-3}$のＭｇがドープされているＧａＮ層とを含む。なお、中間層１７に含まれるアンドープのＩｎＧａＮ層のＩｎ組成比は、ｐ側ガイド層１６側端部から電子障壁層１８側端部に向かって、３％から０％まで漸減する。

【００６２】

電子障壁層１８は、発光層１５の上方に配置され、Ａｌを含むIII族窒化物半導体からなる層である。ｐ型クラッド層１９への電子の漏れ出しを抑制するための障壁層である。本実施の形態では、電子障壁層１８は、中間層１７側から順に積層された、膜厚５ｎｍで、不純物として濃度$2\times10^{19}cm^{-3}$のＭｇがドープされてＡｌ組成ｘが２％から３６％まで傾斜を持って変化している$Al_xGa_{1-x}N$層（傾斜組成領域）と、膜厚２ｎｍで、不純物として濃度$2\times10^{19}cm^{-3}$のＭｇがドープされている$Al_{0.36}Ga_{0.64}N$層（一定組成領域）とを含む。電子障壁層１８におけるＭｇ濃度は、例えば、$1\times10^{17}cm^{-3}$以上、かつ$1\times10^{20}cm^{-3}$以下であってもよい。このように、電子障壁層１８にＭｇをドープすることで、電子障壁層１８を低抵抗化できる。

【００６３】

ｐ型クラッド層１９は、電子障壁層１８の上方において、電子障壁層１８と接して配置される第２導電型のクラッド層の一例である。ｐ型クラッド層１９は、発光層１５より、屈折率が小さく、かつ、バンドギャップエネルギーが高い層である。ｐ型クラッド層１９の屈折率が発光層１５層の屈折率より低いことにより、光を発光層１５に閉じ込めることができる。また、ｐ型クラッド層１９のバンドギャップエネルギーが発光層１５のバンドギャップエネルギーより高いことにより、ｐ型クラッド層１９における光の吸収を抑制できる。第２導電型は、第１導電型と異なる導電型である。本実施の形態では、第２導電型はｐ型であり、ｐ型クラッド層１９は、膜厚６６０ｎｍで、不純物として濃度$2\times10^{18}cm^{-3}$以上、$1\times10^{19}cm^{-3}$以下程度のＭｇがドープされている$Al_{0.035}Ga_{0.965}N$層である。ｐ型クラッド層１９の詳細構成については、後述する。

【００６４】

コンタクト層２０は、ｐ側電極２２とオーミック接触する層である。本実施の形態では

、コンタクト層２０は、ｐ型クラッド層１９側から順に積層された、膜厚５０ｎｍで不純物として濃度２×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$のＭｇがドープされたＧａＮ層と、膜厚１０ｎｍで不純物として濃度２×１０^{20}ｃｍ$^{-3}$のＭｇがドープされたＧａＮ層とを含む。

【００６５】

図１に示されるように、ｐ型クラッド層１９はｎ側電極２４からｐ側電極２２に向かう方向に突出した凸部を有する。また、コンタクト層２０はｐ型クラッド層１９の凸部上に設けられている。ｐ型クラッド層１９の凸部及びコンタクト層２０によりリッジ部１９ｒが形成される。

【００６６】

電流ブロック層２１は、コンタクト層２０及びｐ型クラッド層１９のうち、リッジ部１９ｒ以外に流れる電流を遮断する絶縁層である。電流ブロック層２１は、コンタクト層２０から露出するｐ型クラッド層１９を覆う。リッジ部１９ｒの上面のコンタクト層２０は電流ブロック層２１には覆われず、電流ブロック層２１から露出している。本実施の形態では、電流ブロック層２１は、膜厚３００ｎｍのSiO_2膜である。

【００６７】

ｐ側電極２２は、コンタクト層２０とオーミック接触する電極である。ｐ側電極２２は、コンタクト層２０の上面、すなわちリッジ部１９ｒの上面に配置される。本実施の形態では、ｐ側電極２２はコンタクト層２０側から順に積層された、膜厚４０ｎｍのＰｄ膜と、膜厚３５ｎｍのＰｔ膜とを含む。

【００６８】

パッド電極２３は、ｐ側電極２２の上方に配置されるパッド状の電極である。本実施の形態では、パッド電極２３は、ｐ側電極２２上及び電流ブロック層２１上に配置される。パッド電極２３は、膜厚２μｍのＡｕ膜である。

【００６９】

密着補助層２５は、パッド電極２３の電流ブロック層２１に対する密着性を高めるために設けられている。密着補助層２５は、パッド電極２３と電流ブロック層２１との間に各々に接して設けられている。密着補助層２５は、例えば、リッジの両側に設けられている。密着補助層２５は、金属材料を用いて形成されている。具体的には、密着補助層２５は、膜厚が１０ｎｍのＴｉ膜と、膜厚が５０ｎｍのＰｔ膜との積層構造を有する。Ｔｉ膜が下層側に位置し、電流ブロック層２１に接している。

【００７０】

ｎ側電極２４は、基板１１の下面（つまり、基板１１のｎ型クラッド層１３が配置される主面の裏側の主面）に配置される電極である。本実施の形態では、ｎ側電極２４は、基板１１側から順に積層された、膜厚１０ｎｍのＴｉ膜と、膜厚３５ｎｍのＰｔ膜と、膜厚３００ｎｍのＡｕ膜とを含む。

【００７１】

［２．電子障壁層及びｐ型クラッド層の詳細構成］

次に、本実施の形態に係る電子障壁層１８及びｐ型クラッド層１９の詳細構成について、図３を用いて説明する。図３は、本実施の形態に係る電子障壁層１８の一部（一定組成領域）及びｐ型クラッド層１９の積層方向の位置に対するＭｇ及び炭素の濃度、並びに、Ａｌ組成比の分布を示すグラフである。図３には、上段から順に、Ｍｇ濃度、炭素濃度、及びＡｌ組成比の分布が示されている。ここで、積層方向とは、各半導体層が積層される厚さ方向、つまり、基板１１の主面に垂直な方向を意味する。

【００７２】

図３の各グラフの横軸は厚みを表し、電子障壁層１８の発光層１５側の端から５ｎｍの位置、すなわち傾斜組成領域と一定組成領域との境界を基準（０ｎｍ）としている。言い換えると、図３の各グラフの横軸は、傾斜組成領域と一定組成領域との境界からの膜厚方向における距離を表す。コンタクト層２０に近づくにしたがって厚みが増大する。また、上段、中段及び下段のグラフの縦軸は、それぞれ、Ｍｇ濃度、炭素濃度、及びＡｌ組成比を示す。

【００７３】
図３の上段のグラフに示されるように、電子障壁層１８の一定組成領域及びｐ型クラッド層１９は、ドーパントとしてＭｇを含む。
【００７４】
本実施の形態では、電子障壁層１８の一定組成領域において、Ｍｇ濃度は２×１０^{１９}ｃｍ$^{－３}$程度であり、炭素濃度は、１×１０^{１６}ｃｍ$^{－３}$程度である。図３の上段のグラフには、電子障壁層１８の傾斜組成領域は記載されていないが、傾斜組成領域においても、Ｍｇ濃度は２×１０^{１９}ｃｍ$^{－３}$程度であり、炭素濃度は、１×１０^{１６}ｃｍ$^{－３}$程度である。電子障壁層１８の一定組成領域と傾斜組成領域において、Ａｌ組成は異なるものの、Ｍｇ濃度と炭素濃度は同じである。このように、電子障壁層１８は、炭素のＭｇに対する濃度比が$１\times１０^{－３}$以下となる領域を含む。このように、電子障壁層１８において、Ｍｇ濃度が高い領域を形成することで、電子障壁層１８を低抵抗化できる。
【００７５】
ｐ型クラッド層１９は、電子障壁層１８側から順に、炭素を含む高炭素濃度領域（厚み２ｎｍから８２ｎｍまでの領域）と、高炭素濃度領域より炭素濃度が低い低炭素濃度領域（厚み８２ｎｍ以上の領域）とを含む。本実施の形態では、高炭素濃度領域における炭素濃度は１×１０^{１７}ｃｍ$^{－３}$程度であり、低炭素濃度領域における炭素濃度は２×１０^{１６}ｃｍ$^{－３}$程度である。なお、電子障壁層１８における炭素濃度は１×１０^{１６}ｃｍ$^{－３}$程度である。ｐ型クラッド層１９における炭素濃度は、例えば、ｐ型クラッド層１９の成長レート（つまり、結晶成長速度）を変えることによって実現できる。
【００７６】
ここで、ｐ型クラッド層１９の成長レートとＭｇ濃度及び炭素濃度との関係について、図４を用いて説明する。図４は、本実施の形態に係る電子障壁層１８及びｐ型クラッド層１９の積層方向の位置に対するＭｇ及び炭素の濃度の分布を示すグラフである。図４のグラフの横軸は深さを表し、ｐ型クラッド層１９の電子障壁層１８からの距離が０．２μｍ程度の位置における深さを０ｎｍとして、電子障壁層１８側に進むにしたがって、深さが増大する。図４においては、ｐ型クラッド層１９の成長レートを１１．４ｎｍ／ｍｉｎとした場合（×１）、１１．４ｎｍ／ｍｉｎの２倍とした場合（×２）、及び１１．４ｎｍ／ｍｉｎの３倍とした場合（×３）の関係が、それぞれ実線、破線、及び一点鎖線で示されている。電子障壁層１８の成長レートは、いずれの場合も３．６ｎｍ／ｍｉｎである。図４に示される関係は、実際に製造した電子障壁層１８及びｐ型クラッド層１９の２次イオン質量分析法（ＳＩＭＳ）による解析結果に基づく。なお、図４に示される例では、ｐ型クラッド層１９形成時にＭｇを含む原料ガスを供給していない。
【００７７】
図４に示されるように、ｐ型クラッド層１９の成長レートを高めるほど、Ｍｇ濃度が低下する。
【００７８】
一方、ｐ型クラッド層１９の成長レートを高めるほど、炭素濃度が上昇する。ｐ型クラッド層１９に含まれる炭素は、ｐ型クラッド層１９を形成するために用いる原料ガスに由来すると考えられる。このように成長レートを高めることで炭素濃度が上昇することによってＭｇの取り込み量が抑制されることに起因してＭｇ濃度が低下すると考えられる。また、炭素濃度が上昇すると、ｐ型クラッド層１９の結晶品質が低下する。このため、本実施の形態では、ｐ型クラッド層１９のうち、残留Ｍｇの影響が大きい領域、つまり、電子障壁層１８に比較的近い領域を形成する際に、成長レートを高め、電子障壁層１８から比較的遠い領域において、成長レートを低くする。これにより、ｐ型クラッド層１９は、図３に示されるように、電子障壁層１８側から順に、炭素を含む高炭素濃度領域と、高炭素濃度領域より炭素濃度が低い低炭素濃度領域とを含む。
【００７９】
このように、Ｍｇ濃度が抑制された領域を低炭素濃度領域よりも電子障壁層１８寄り（つまり、発光層１５寄り）に配置することで、より光強度が大きい領域におけるＭｇ濃度

を抑制できる。これにより、ｐ型クラッド層におけるＭｇによる光吸収損失を抑制できる。つまり、半導体発光素子１０に電子障壁層１８を設けることに伴うｐ型クラッド層１９における光吸収損失の増大を抑制できる。

【００８０】

また、ｐ型クラッド層１９が高炭素濃度領域より炭素濃度が低い低炭素濃度領域を含むことにより、ｐ型クラッド層１９全体を高炭素濃度領域とする場合より、ｐ型クラッド層１９の結晶品質の低下を抑制できる。

【００８１】

また、上述したように、高炭素濃度領域においては、ｐ型クラッド層１９へのＭｇの取り込みを抑制できるため、高炭素濃度領域は、Ｍｇ濃度が電子障壁層１８から遠ざかるにしたがって減少する減少領域を含む。言い換えると、高炭素濃度領域において、深さに対してＭｇ濃度を急激に減少させることができる。本実施の形態では、図３に示される厚み２ｎｍから８２ｎｍまでの領域が減少領域に相当する。

【００８２】

このように、ｐ型クラッド層１９におけるＭｇ濃度を減少させることで、電子障壁層１８を設けることに伴うｐ型クラッド層１９における光吸収損失の増大を抑制できる。

【００８３】

減少領域は、ｐ型クラッド層１９と電子障壁層１８との界面から５０ｎｍ以上離れた領域であって、積層方向における位置に対するＭｇ濃度の変化率が０．５×10^{17}ｃｍ$^{-3}$／ｎｍ以上の領域を含む。このように、Ｍｇ濃度が急激に減少する領域をｐ型クラッド層１９が含むことで、電子障壁層１８を設けることに伴うｐ型クラッド層１９における光吸収損失の増大を抑制できる。

【００８４】

また、ｐ型クラッド層１９は、Ｍｇを含む低Ｍｇ濃度領域と、低Ｍｇ濃度領域の上方に配置され、低Ｍｇ濃度領域よりＭｇ濃度が高い高Ｍｇ濃度領域とを含む。このように、ｐ型クラッド層１９が、高Ｍｇ濃度領域より電子障壁層１８寄りに、低Ｍｇ濃度領域を含むことで、電子障壁層１８を設けることに伴うｐ型クラッド層１９における光吸収損失の増大を抑制できる。また、ｐ型クラッド層１９が高Ｍｇ濃度領域を含むことでクラッド層の低抵抗化を実現できる。なお、図３の上段のグラフでは、低炭素濃度領域の一部だけを低Ｍｇ濃度領域と示しているが、低Ｍｇ濃度領域は、高炭素濃度領域に含まれてもよい。

【００８５】

続いて、本実施の形態に係るｐ型クラッド層１９における炭素のＭｇに対する濃度比の分布について、図３及び図５を用いて説明する。図５は、本実施の形態に係るｐ型クラッド層１９の積層方向の位置に対するＭｇ及び炭素の濃度の分布を示すグラフである。図５のグラフの横軸は、図３と同様に厚みを示し、縦軸は、Ｍｇ及び炭素の濃度を示す。なお、グラフにおいて、Ｍｇ濃度及び炭素濃度を示す各曲線を同程度の位置に示すために、縦軸は、Ｍｇ濃度及び炭素濃度のそれぞれを個別に規格化した濃度を表している。

【００８６】

図５に示されるように、ｐ型クラッド層１９の高炭素濃度領域では、炭素濃度は概ね一様である。一方、Ｍｇ濃度は、上述したとおり、高炭素濃度領域において減少する。つまり、電子障壁層１８に近い領域において、電子障壁層１８形成後の残留Ｍｇの影響で、Ｍｇ濃度が高くなり、電子障壁層１８から離れた領域では、残留Ｍｇの影響が低減されるためＭｇ濃度が低くなる。このため、ｐ型クラッド層１９は、電子障壁層１８に近い領域に配置された炭素のＭｇに対する濃度比が小さい低濃度比領域Ｒ１と、低濃度比領域Ｒ１の上方（つまり、コンタクト層２０側）に配置され、低濃度比領域Ｒ１より炭素のＭｇに対する濃度比が大きい高濃度比領域Ｒ２とを含む。本実施の形態では、ｐ型クラッド層１９は、低濃度比領域Ｒ１において、図３に示されるように、炭素濃度が１×10^{17}ｃｍ$^{-3}$程度であり、Ｍｇ濃度が１×10^{19}ｃｍ$^{-3}$以上である領域、つまり、炭素のＭｇに対する濃度比が１％以下となる領域を含む。

【００８７】

このように、ｐ型クラッド層１９が、高濃度比領域Ｒ２より電子障壁層寄りに、Ｍｇ濃度が低い低濃度比領域Ｒ１を含むことで、電子障壁層１８を設けることに伴うｐ型クラッド層１９における光吸収損失の増大を抑制できる。

【００８８】

［３．製造方法］

次に、本実施の形態に係る半導体発光素子１０の製造方法について説明する。まず、本実施の形態に係る半導体発光素子１０全体の製造方法の概要を説明する。

【００８９】

半導体発光素子１０の各半導体層は、有機金属気相成長法（ＭＯＣＶＤ）などを用いて基板１１の主面上に順次形成することができる。なお、リッジ部１９ｒは、フォトリソグラフィ及びエッチングを用いて形成できる。

【００９０】

また、電流ブロック層２１は、プラズマＣＶＤ（Ｃｈｅｍｉｃａｌ　Ｖａｐｏｒ　Ｄｅｐｏｓｉｔｉｏｎ）法などを用いて形成することができる。

【００９１】

電流ブロック層２１のうち、リッジ部１９ｒのコンタクト層２０上に形成された部分（つまり、コンタクト層２０に接する部分）だけが、フォトリソグラフィ及びエッチングを用いて除去される。続いて、リッジ部１９ｒ上方だけに、真空蒸着法及びリフトオフ法を用いて、ｐ側電極２２が形成される。

【００９２】

電流ブロック層２１上に所定形状の密着補助層２５が形成される。具体的には、ｐ側電極２２と同様に、金属膜の成膜及びリフトオフ法を用いて、密着補助層２５が形成される。金属膜は、Ｔｉ膜及びＰｔ膜の積層膜を含み、蒸着法又はスパッタリング法によって成膜される。密着補助層２５は、電流ブロック層２１上のみに形成され、ｐ型コンタクト層２０及びｐ側電極２２には接触しない。

【００９３】

ｐ側電極２２及び密着補助層２５が形成された後に、真空蒸着法及びリフトオフ法を用いて、パッド電極２３が形成される。また、基板１１の下方の面に、真空蒸着法及びリフトオフ法を用いて、ｎ側電極２４が形成される。

【００９４】

続いて、本実施の形態に係る半導体発光素子１０の特徴的な構成要素である電子障壁層１８及びｐ型クラッド層１９の形成方法について図６を用いて説明する。図６は、本実施の形態に係る電子障壁層１８及びｐ型クラッド層１９の製造方法を示すグラフである。

【００９５】

図６のグラフ（ａ）は、電子障壁層１８の一定組成領域及びｐ型クラッド層１９の積層方向の位置（厚み）に対するＭｇ及び炭素の濃度、並びに、Ａｌ組成比の分布が示すグラフである。グラフ（ａ）の横軸は、図３の横軸と同様に積層方向の位置に対応する厚みを示す。また、グラフ（ａ）において、Ｍｇ濃度、炭素濃度、及びＡｌ組成比は、それぞれ、実線、破線、及び点線の曲線で示されている。Ｍｇ濃度、炭素濃度及びＡｌ濃度（つまり、Ａｌ組成比）を示す各曲線を同程度の位置に示すために、縦軸は、Ｍｇ濃度、炭素濃度及びＡｌ濃度のそれぞれを個別に規格化した濃度を表している。

【００９６】

図６のグラフ（ｂ）は、電子障壁層１８の一定組成領域及びｐ型クラッド層１９の各層の結晶成長に費やす時間（横軸）と、成長温度（縦軸）との関係を示す。なお、横軸の時間は、グラフ（ａ）の厚みと対応付けられている。

【００９７】

図６のグラフ（ｃ）、（ｄ）、及び（ｅ）は、電子障壁層１８の一定組成領域及びｐ型クラッド層１９の各層の結晶成長に費やす時間（横軸）と、電子障壁層１８の一定組成領域及びｐ型クラッド層１９を形成する各原料ガスの供給量（縦軸）との関係を示す。図６のグラフ（ｃ）、（ｄ）、及び（ｅ）は、それぞれ、ＴＭＧ（トリメチルガリウム）、Ｃ

ｐ２Ｍｇ（ビスシクロペンタジエニルマグネシウム）、及びＴＭＡ（トリメチルアルミニウム）の供給量を示す。

【００９８】

図６のグラフ（ｂ）に示されるように、電子障壁層１８の一定組成領域及びｐ型クラッド層１９の成長温度は、９７０℃で一定である。

【００９９】

まず、電子障壁層１８の一定組成領域の形成方法について説明する。本実施の形態では、Ａｌを含むIII族窒化物半導体からなる電子障壁層１８が、中間層１７上に形成される。電子障壁層１８の組成傾斜領域に引き続き、一定組成領域が形成される。図６に示されるように、電子障壁層１８の一定組成領域の形成時におけるＴＭＧ供給量、Ｃｐ２Ｍｇ供給量、及びＴＭＡ供給量は、それぞれ、１．９ｍＬ／ｍｉｎ、８ｍＬ／ｍｉｎ、及び８．３ｍＬ／ｍｉｎである。このように、電子障壁層１８の一定組成領域の形成時にＣｐ２Ｍｇを供給することで、ドーパントとしてＭｇが供給される。なお、電子障壁層１８の一定組成領域の形成時における各原料ガスの供給量は、一定である。電子障壁層１８の一定組成領域の結晶成長は、膜厚が２ｎｍとなるまで（つまり、膜厚２ｎｍに相当する結晶成長時間だけ）継続される。

【０１００】

電子障壁層１８の一定組成領域の形成終了後に、ｐ型クラッド層１９の結晶成長が開始される。最初に、ｐ型クラッド層１９の電子障壁層１８の一定組成領域と接する高炭素濃度領域が形成される。高炭素濃度領域の形成時におけるＴＭＧ供給量、Ｃｐ２Ｍｇ供給量、及びＴＭＡ供給量は、それぞれ、１８ｍＬ／ｍｉｎ、０ｍＬ／ｍｉｎ、及び１０ｍＬ／ｍｉｎである。このように、高炭素濃度領域の結晶成長において、Ｍｇを含む原料ガスを供給しなくてもよい。このように、ｐ型クラッド層１９の電子障壁層１８の一定組成領域に近い領域においては、Ｍｇを含む原料ガスを供給しなくても、残留Ｍｇによって、ｐ型クラッド層１９にＭｇがドープされる。高炭素濃度領域の結晶成長は、膜厚が８０ｎｍとなるまで継続される。

【０１０１】

続いて、ｐ型クラッド層１９の高炭素濃度領域上に、低炭素濃度領域が形成される。まず、低炭素濃度領域のうち、低Ｍｇ濃度領域が形成される。低Ｍｇ濃度領域の形成時におけるＴＭＧ供給量、Ｃｐ２Ｍｇ供給量、及びＴＭＡ供給量は、それぞれ、６ｍＬ／ｍｉｎ、１．２ｍＬ／ｍｉｎ、及び３．５ｍＬ／ｍｉｎである。低Ｍｇ濃度領域の結晶成長は、膜厚が１７０ｎｍとなるまで継続される。

【０１０２】

続いて、低炭素濃度領域のうち、高Ｍｇ濃度領域が形成される。高Ｍｇ濃度領域の形成時におけるＴＭＧ供給量、Ｃｐ２Ｍｇ供給量、及びＴＭＡ供給量は、それぞれ、６ｍＬ／ｍｉｎ、６ｍＬ／ｍｉｎ、及び３．５ｍＬ／ｍｉｎである。高Ｍｇ濃度領域の結晶成長は、膜厚が４１０ｎｍとなるまで継続される。

【０１０３】

以上のように、本実施の形態に係る電子障壁層１８及びｐ型クラッド層１９を形成できる。また、上述したように本実施の形態に係る半導体発光素子１０の製造方法において、電子障壁層１８の一定組成領域を形成する工程において、ドーパントとしてＭｇを供給し、ｐ型クラッド層１９を形成する工程において、成長レートを変化させている。このように、ｐ型クラッド層１９を形成する工程で、成長レートを変化させることで、ｐ型クラッド層１９は、高い成長レートで形成される領域を含む。高い成長レートで形成される領域では、電子障壁層１８の一定組成領域形成時に使用されたＭｇが取り込まれることを抑制できるため、ｐ型クラッド層１９がＭｇ濃度が抑制された領域を含むことができる。これにより、電子障壁層１８を設けることに伴うｐ型クラッド層１９における光吸収損失の増大を抑制できる。

【０１０４】

また、ｐ型クラッド層１９を形成する工程において、Ｇａ供給量を変化させることで成

長レートを変化させている。具体的には、高炭素濃度領域においては、Ｇａ供給量に対応するＴＭＧ供給量を１８ｍＬ／ｍｉｎとし、低炭素濃度領域においては、ＴＭＧ供給量を６ｍＬ／ｍｉｎとしている。

【０１０５】

このように、Ｇａ供給量を変化させることで、Ｍｇのｐ型クラッド層１９への取り込み量を変化させることができる。Ｇａ供給量が大きい領域において、Ｍｇ濃度を抑制できるため、電子障壁層１８を設けることに伴うｐ型クラッド層１９における光吸収損失の増大を抑制できる。

【０１０６】

また、ｐ型クラッド層１９を形成する工程におけるＧａ供給量は、ｐ型クラッド層１９を形成する工程の開始直後の方が、ｐ型クラッド層１９を形成する工程の終了直前より、多い。言い換えると、Ｇａ供給量は、高炭素濃度領域の方が、低炭素濃度領域よりが多い。

【０１０７】

これにより、ｐ型クラッド層１９における電子障壁層１８に隣接する領域のＭｇ濃度を抑制できる。したがって、ｐ型クラッド層１９における最も光強度が高い領域においてＭｇ濃度を抑制できるため、電子障壁層１８を設けることに伴うｐ型クラッド層１９における光吸収損失の増大をより一層抑制できる。

【０１０８】

なお、本実施の形態では、低炭素濃度領域において、段階的にＣｐ２Ｍｇ供給量（つまり、Ｍｇ供給量）を増大させたが、連続的に増大させてもよい。このように、低炭素濃度領域において、Ｍｇ供給量を増大させることで、発光層１５に近い側の領域におけるＭｇ濃度を抑制しつつ、ｐ型クラッド層１９全体のＭｇ濃度を高めることができる。したがって、ｐ型クラッド層１９における光吸収損失の増大を抑制しつつ、ｐ型クラッド層１９を低抵抗化できる。

【０１０９】

（変形例など）

以上、本開示に係る半導体発光素子などについて、各実施の形態に基づいて説明したが、本開示は、上記実施の形態に限定されるものではない。

【０１１０】

例えば、上記実施の形態では、ｐ型クラッド層１９は、低Ｍｇ濃度領域と、低Ｍｇ濃度領域上に配置される高Ｍｇ濃度領域とを含むが、低Ｍｇ濃度領域より電子障壁層１８寄りに、Ｍｇ濃度の高い領域が形成されていてもよい。

【０１１１】

また、上記実施の形態に係るｐ型クラッド層１９において、超格子構造を適用してもよい。このような超格子構造は、例えば、ｐ型クラッド層形成時において、ＴＭＡを間欠的に供給することで形成できる。

【０１１２】

また、上記実施の形態においては、半導体発光素子が半導体レーザ素子である例を示したが、半導体発光素子は、半導体レーザ素子に限定されない。例えば、半導体発光素子は、スーパールミネッセントダイオードであってもよい。

【０１１３】

加えて、基板１１と、ｎ型クラッド層１３との間に、バッファ層を形成してもよい。バッファ層は、基板１１と、ｎ型クラッド層１３との格子不整合に起因する歪を抑制するための層である。例えば、バッファ層は、膜厚１００ｎｍのＡｌ$_{0.01}$Ｇａ$_{0.99}$Ｎ層である。

【０１１４】

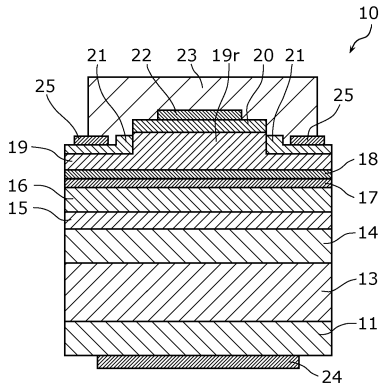
また、上記実施の形態に対して当業者が思いつく各種変形を施して得られる形態や、本開示の趣旨を逸脱しない範囲で上記実施の形態における構成要素及び機能を任意に組み合わせることで実現される形態も本開示に含まれる。

【産業上の利用可能性】

【０１１５】
本開示の半導体発光素子は、例えば、高出力かつ高効率な光源としてプロジェクタ、照明、レーザ加工機などに適用できる。
【符号の説明】
【０１１６】
１０　半導体発光素子
１１　基板
１３　ｎ型クラッド層
１４　ｎ側ガイド層
１５　発光層
１６　ｐ側ガイド層
１７　中間層
１８　電子障壁層
１９　ｐ型クラッド層
１９ｒ　リッジ部
２０　コンタクト層
２１　電流ブロック層
２２　ｐ側電極
２３　パッド電極
２４　ｎ側電極
２５　密着補助層
Ｒ１　低濃度比領域
Ｒ２　高濃度比領域

【図面】

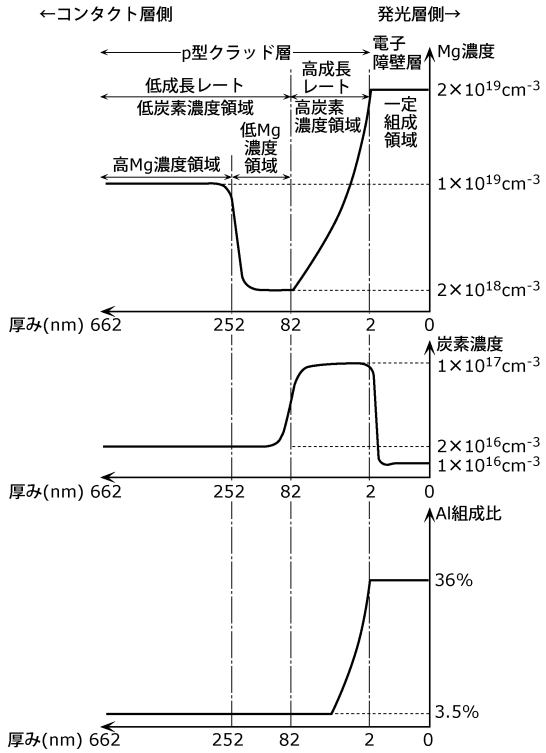
【図１】



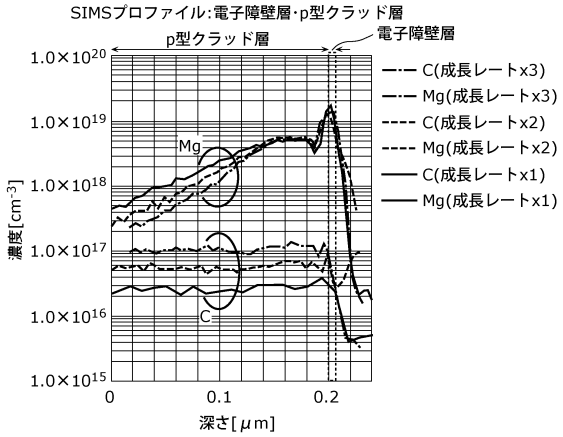
【図２】

層	材質	In組成比又はAl組成比[%]	膜厚[nm]	不純物及び濃度[cm^{-3}]
パッド電極	Au	-	2000	-
密着補助層	Pt	-	50	-
	Ti	-	10	-
p側電極	Pt	-	35	-
	Pd	-	40	-
電流ブロック層	SiO_2	-	300	-
コンタクト層	GaN	0	10	Mg:2×10^{20}
	GaN	0	50	Mg:2×10^{19}
p型クラッド層	AlGaN	3.5	660	Mg:1×10^{19} Mg:2×10^{18}
電子障壁層	AlGaN	36	2	Mg:2×10^{19}
		2→36	5	Mg:2×10^{19}
中間層	GaN	0	3	Mg:2×10^{19}
	InGaN	3→0	21	-
p側ガイド層	InGaN	3	98	-
発光層	InGaN	4	5	-
	InGaN	18	2.8	-
	InGaN	4	7	-
	InGaN	18	2.8	-
	InGaN	4	7	-
n側ガイド層	InGaN	3	175	-
	GaN	0	100	Si:1×10^{18}
n型クラッド層	AlGaN	3.5	1500	Si:1×10^{18}
基板	GaN	-	85000	Si:1×10^{18}
n側電極	Ti	-	10	-
	Pt	-	35	-
	Au	-	300	-

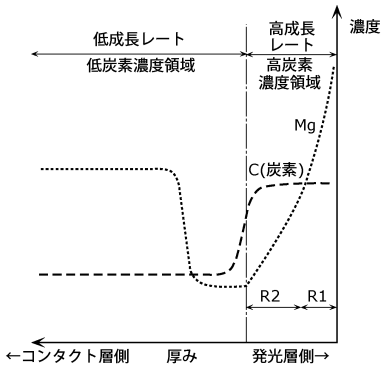
【図３】



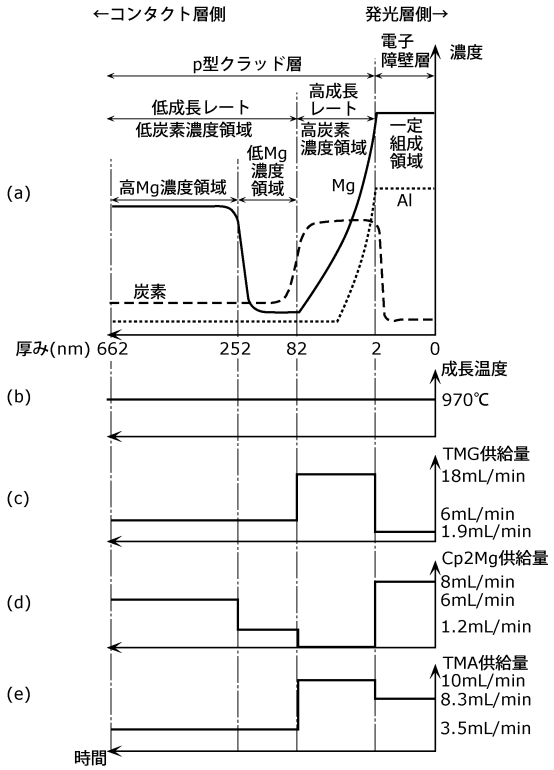
【図４】



【図５】


低成長レート
低炭素濃度領域
高成長
レート
高炭素
濃度領域
濃度
Mg
C(炭素)
R2
R1
←コンタクト層側
厚み
発光層側→

【図６】


←コンタクト層側
発光層側→
電子
障壁層
濃度
p型クラッド層
高成長
レート
低成長レート
低炭素濃度領域
高炭素
濃度領域
一定
組成
領域
低Mg
濃度
領域
(a)
高Mg濃度領域
Mg
Al
炭素
厚み(nm) 662
252
82
2
0
成長温度
(b)
970℃
TMG供給量
18mL/min
(c)
6mL/min
1.9mL/min
Cp2Mg供給量
8mL/min
(d)
6mL/min
1.2mL/min
TMA供給量
10mL/min
(e)
8.3mL/min
3.5mL/min
時間

フロントページの続き

(51)国際特許分類　　ＦＩ
Ｈ０１Ｌ　21/205(2006.01)　　Ｈ０１Ｌ　21/205

日本国京都府長岡京市神足焼町１番地 ヌヴォトンテクノロジージャパン株式会社内
(72)発明者　古川 秀利
日本国京都府長岡京市神足焼町１番地 ヌヴォトンテクノロジージャパン株式会社内
審査官　高椋 健司

(56)参考文献　特開２０１０－０５６１５８（ＪＰ，Ａ）
特開２０１１－０２３５４１（ＪＰ，Ａ）
特開２０１２－１８６４１３（ＪＰ，Ａ）
米国特許出願公開第２０１５／０２４３８４１（ＵＳ，Ａ１）

(58)調査した分野　(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ１０Ｈ　２０／００ －２０／８４１
Ｈ１０Ｈ　２０／８５ －２０／８５８
Ｈ０１Ｓ　５／００ － ５／５０
Ｈ０１Ｌ　２１／２０５
Ｈ０１Ｌ　２１／３１
Ｈ０１Ｌ　２１／３６５
Ｈ０１Ｌ　２１／４６９
Ｈ０１Ｌ　２１／８６
Ｃ２３Ｃ　１６／００ －１６／５６