

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4543700号  
(P4543700)

(45) 発行日 平成22年9月15日 (2010. 9. 15)

(24) 登録日 平成22年7月9日 (2010. 7. 9)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 33/42 (2010. 01)

H O 1 L 33/00 2 2 2

H O 1 L 21/28 (2006. 01)

H O 1 L 21/28 3 O 1 B

H O 1 S 5/042 (2006. 01)

H O 1 L 21/28 3 O 1 R

H O 1 S 5/042 6 1 2

請求項の数 8 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2004-55421 (P2004-55421)  
 (22) 出願日 平成16年2月27日 (2004. 2. 27)  
 (65) 公開番号 特開2005-244128 (P2005-244128A)  
 (43) 公開日 平成17年9月8日 (2005. 9. 8)  
 審査請求日 平成19年2月21日 (2007. 2. 21)

前置審査

(73) 特許権者 000226057  
 日亜化学工業株式会社  
 徳島県阿南市上中町岡491番地100  
 (74) 代理人 100074354  
 弁理士 豊栖 康弘  
 (74) 代理人 100104949  
 弁理士 豊栖 康司  
 (72) 発明者 山田 孝夫  
 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 土屋 知久

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体発光素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1の元素Aとしてガリウムを含む半導体層が表面に位置する半導体積層構造を備える半導体発光素子であって、

前記半導体層の表面に、酸化インジウムスズよりなる導電性酸化物膜と、第2の元素Bを含む酸化物膜とを有し、

前記導電性酸化物膜は、前記第2の元素Bを含む酸化物膜との界面近傍における膜中酸素濃度が、前記半導体層との界面近傍における膜中酸素濃度よりも高く、かつ前記半導体層との界面近傍における膜中スズ濃度が、前記第2の元素Bを含む酸化物膜との界面近傍における膜中スズ濃度よりも高いことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 2】

請求項1に記載の半導体発光素子であって、前記第2の元素Bは、電気陰性度を示すPauling値がガリウムよりも大きいことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 3】

請求項1又は2に記載の半導体発光素子であって、前記第2の元素Bは、電気陰性度を示すPauling値がインジウム及びスズよりも大きいことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 4】

請求項1から3のいずれかに記載の半導体発光素子であって、前記第2の元素Bを含む酸化物膜は、絶縁性酸化物膜の保護膜であることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 5】

10

20

請求項 1 から 4 のいずれかに記載の半導体発光素子であって、前記半導体層は、窒化物半導体層であることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 6】

請求項 1 から 5 のいずれかに記載の半導体発光素子であって、前記導電性酸化物膜は透光性電極であることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 7】

請求項 1 から 6 のいずれかに記載の半導体発光素子であって、前記第 2 の元素 B を含む酸化物膜は、前記第 2 の元素 B がケイ素であり、前記導電性酸化物膜の表面に設けられた保護膜であることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 8】

請求項 1 から 7 のいずれかに記載の半導体発光素子であって、前記導電性酸化物膜の膜中酸素濃度が、第 2 の元素 B を含む酸化物膜との界面から前記半導体層との界面に向かって徐々に低下することを特徴とする半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、発光ダイオードや半導体レーザなどの半導体発光素子に関し、例えば窒化物系半導体を積層した半導体層を用いて形成した窒化物半導体素子に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、半導体発光素子として、基板上に p 型半導体層及び n 型半導体層が積層され、p 型及び n 型の半導体層のそれぞれと電氣的に接続する電極が形成された構造が知られている。また、p 型の半導体層と電氣的に接続する電極として、p 型半導体層上全面に透光性材料による電極を形成し、その上に金属電極を形成する構造が知られている。

【0003】

このような構成の半導体発光素子では、光の取り出し効率を向上させるため、p 型半導体層上の全面電極として、金属薄膜や、ITO、ZnO、In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SnO<sub>2</sub>等の透明な導電性酸化物膜が用いられている（例えば特許文献 1 参照）。

【特許文献 1】特開 2001 - 196633 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、例えば導電性酸化物自体は n 型の半導体特性を示すことから、必ずしも半導体層とオーミック性が良好ではなく、半導体層の種類、導電型、成膜方法等の種々の要因から、ショットキー障壁が形成され、コンタクト抵抗を増大させることがあった。電極と半導体層との界面でのシート抵抗が大きくなると、損失が増大し出力が低下する上、発熱が生じて素子寿命も低下するという問題が生じる。

【0005】

本発明は、このような課題に鑑みてなされたものであり、その主な目的は、電極として透明な導電性酸化物膜を用い、十分な透明性を維持しながらオーミックコンタクトが得られ、かつ発光効率にも優れた半導体発光素子を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

以上の目的を達成するために本発明の半導体発光素子は、第 1 の元素 A としてガリウムを含む半導体層が表面に位置する半導体積層構造を備える。この半導体発光素子は、半導体層の表面に、酸化インジウムスズよりなる導電性酸化物膜と、第 2 の元素 B を含む酸化物膜とを有する。導電性酸化物膜は、前記第 2 の元素 B を含む酸化物膜との界面近傍における膜中酸素濃度が、前記半導体層との界面近傍における膜中酸素濃度よりも高く、かつ前記半導体層との界面近傍における膜中スズ濃度が、前記第 2 の元素 B を含む酸化物膜との界面近傍における膜中スズ濃度よりも高くしている。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 7 】

また、本発明の他の形態を以下に述べる。本発明の他の形態の半導体発光素子は、第2の元素Bを含む酸化物膜は、絶縁性酸化物膜であることが好ましい。さらに第2の元素Bは、電気陰性度を示すPauling値がインジウム及びスズよりも大きいことが好ましい。さらにまた第2の元素Bは、電気陰性度を示すPauling値が第1の金属よりも大きいことが好ましい。また第1の元素Aは、ガリウムであることが好ましい。さらに半導体層は、ガリウムを含む窒化物半導体層であることが好ましい。さらにまた導電性酸化物膜は元素Cに加えて、微量元素Dを含むことが好ましい。さらに微量元素Dは、スズ、亜鉛、ガリウム、アルミニウムから選択される少なくとも1種の元素であることが好ましい。さらに導電性酸化物膜は、半導体層との界面近傍における膜中微量元素Dの濃度が、導電性酸化物膜の他の部分の膜中微量元素Dの濃度よりも高い。さらにまた導電性酸化物膜はITOであることが好ましい。さらに第2の元素Bは、ケイ素又はスズのいずれかであることが好ましい。さらにまた導電性酸化物膜の膜中酸素濃度は、第2の元素Bを含む酸化物膜との界面から半導体層との界面に向かって徐々に低下することが好ましい。

10

## 【発明の効果】

## 【 0 0 0 8 】

本発明の半導体発光素子によれば、導電性酸化物膜の第2の元素Bを含む酸化物膜との界面近傍における膜中酸素濃度が、半導体層との界面近傍における膜中酸素濃度よりも高いので、第2の元素Bを含む酸化物膜との界面近傍において結晶性に優れ、発光層からの光を十分に外部に取り出すことができる。また、導電性酸化物膜の半導体層との界面近傍における膜中酸素濃度を、第2の元素Bを含む酸化物膜との界面近傍よりも低くすることで、欠損した酸素はキャリアと同じ動向を示すことから、導電性酸化物膜の半導体層側においてのみキャリアを多く配置することができ、その結果第1の元素Aを含む半導体層とのショットキー障壁を小さくすることができる。また導電性酸化物膜は、第1の元素Aを含む半導体層が表面にある半導体積層構造側との界面でシート抵抗を低くでき、半導体積層構造に最も効率よく電流注入が行える結果、発光効率の高い半導体発光素子を得ることができる。このように、膜中酸素濃度を均一とせず、酸化物膜との界面近傍の濃度を高くすることで光取り出し効率の改善とシート抵抗の低減を両立させ、高品質の半導体発光素子を実現できる。また導電性酸化物膜が元素Cに加えて、微量元素Dを含む場合、半導体層との界面近傍における微量元素Dの濃度を高くすることで、さらに半導体層側においてキャリアを多く配置することができ、ショットキー障壁をさらに小さく、また半導体積層構造側のシート抵抗をさらに低くすることができ、極めて優れた半導体発光素子を構成できる。

20

30

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【 0 0 0 9 】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。ただし以下に示す実施の形態は、本発明の技術思想を具体化するための半導体発光素子を例示するものであって、本発明は半導体発光素子を以下のものに特定しない。また、本明細書は特許請求の範囲に示される部材を、実施の形態の部材に特定するものでは決してない。特に実施の形態に記載されている構成部品の寸法、材質、形状、その相対的配置等は特に特定の記載がない限りは、本発明の範囲をそのみに限定する趣旨ではなく、単なる説明例にすぎない。なお、各図面が示す部材の大きさや位置関係等は、説明を明確にするため誇張していることがある。さらに以下の説明において、同一の名称、符号については同一もしくは同質の部材を示しており、詳細説明を適宜省略する。さらに、本発明を構成する各要素は、複数の要素を同一の部材で構成して一の部材で複数の要素を兼用する態様としてもよいし、逆に一の部材の機能を複数の部材で分担して実現することもできる。

40

## 【 0 0 1 0 】

図1に、本発明の一実施の形態に係る半導体発光素子の構成を示す。半導体発光素子は、典型的には発光ダイオード(LED)や半導体レーザー(LD)等であり、半導体層上に形成された導電性酸化物膜と酸化物膜とによって構成される。半導体層としては特に限定

50

されるものではなく、シリコン、ゲルマニウム等の元素半導体、Ⅲ-Ⅴ族、Ⅱ-Ⅴ族、ⅤⅡ-ⅤⅡ族等の化合物半導体等が挙げられる。特に、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 < x, 0 < y, x + y < 1$ ) 等の窒化ガリウム系化合物半導体が好適に用いられる。半導体層は、単層構造でもよいが、MIS接合、PIN接合又はPN接合を有したホモ構造、ヘテロ構造又はダブルヘテロ構造であってもよく、超格子構造や、量子効果が生ずる薄膜を積層した単一量子井戸構造又は多重量子井戸構造であってもよい。また、n型、p型のいずれかの不純物がドーピングされていてもよい。この半導体層は、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)等の公知の技術により形成することができる。半導体層の膜厚は特に限定されるものではなく、用途や目的に応じて種々の膜厚のものを適用することができる。

10

#### 【0011】

導電性酸化物膜としては、亜鉛(Zn)、インジウム(In)、スズ(Sn)及びマグネシウム(Mg)よりなる群から選択された少なくとも一種の元素Cを含む酸化物からなる膜であり、具体的には、ITO、ZnO、 $\text{In}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SnO}_2$ 、MgO等が挙げられる。なかでも、ITO(酸化インジウムスズ)膜が好ましい。これらITO膜等は、当該分野で通常用いられている透光性を有する膜であり、上述した半導体層に対して良好なオーミック接続を形成し、導電性酸化物膜に投入された電流を膜全体に拡散させ、さらに半導体層に均一に拡散させることができる膜である。また、後述する酸化物膜との密着性を良好にする。このため、導電性酸化物膜は、半導体層上に形成され、さらに後述する酸化物膜との間に形成されており、酸化物膜との界面近傍における膜中酸素濃度が、導電性酸化物膜の他の部分、例えば導電性酸化物膜の厚み方向の中央部分や半導体層との界面近傍の膜中酸素濃度よりも低い。換言すると、酸化物膜との界面側において、これに隣接する領域、つまり導電性酸化物膜の内部であって、半導体層側から酸化物膜側にかけて膜中酸素濃度から増加する傾向の膜中酸素濃度を有している。

20

#### 【0012】

導電性酸化物膜は、膜中酸素濃度が半導体層側に低い膜と酸化物膜側に高い膜との2層としても良く、また膜中酸素濃度が半導体層側から酸化物膜側にかけて段階的に高くなる多層膜としてもよいが、単一の膜で膜中酸素濃度が高い領域と低い領域とを有するような導電性酸化物膜とすることで、発光層からの光を好適に外部に取り出すことができ、好ましい。これをSIMSにより測定すると図2のような傾向になる。図2(a)は連続的に酸素濃度に濃度勾配がある場合であり、(b)、(c)は段階的に酸素濃度に濃度勾配がある場合を、(d)はこれらを総括した酸素濃度の傾向を示す図である。なお、導電性酸化物膜の膜厚は、特に限定されるものではなく、数オングストローム～数μm程度が挙げられる。具体的には、4000～7000 程度とすることが適当である。

30

#### 【0013】

膜中酸素濃度は、例えばAES(Auger Electron Spectroscopy: オージェ電子分光測定装置)により測定することができる。AESは、電子線を照射し、放出されるオージェ電子を検出して試料の元素分析を行う方法で、試料の化学組成や同位体組成、特に深さ方向の組成変化を知ることができる。また、SIMS(Secondary Ion-microprobe Mass Spectrometer(又はSpectrometry): 二次イオン質量分析計(又は分析法))により測定することもできる。SIMSは、試料に一次イオンを照射して、質量分離された二次イオンの数を数えることによって、同じく試料の化学組成や同位体組成、特に深さ方向の組成変化を知ることができる。

40

#### 【0014】

膜中酸素濃度が異なる導電性酸化物膜は、従来から公知の方法で形成することができる。例えばスパッタ法、反応性スパッタ法、真空蒸着法、イオンビームアシスト蒸着法、イオンプレーティング法、レーザアブレーション法、CVD法、スプレー法、スピンコート法、ディップ法又はこれらの方法と熱処理の組み合わせ等、種々の方法を利用することができる。

#### 【0015】

50

具体的には、スパッタ法により導電性酸化物膜、例えばITO膜を成膜する際に、スパッタガスとして酸素分圧の小さいガス又はゼロのガスから、大きいガスに切り替えるか、徐々に酸素分圧を増加させて用いる方法、導電性酸化物膜成膜用のターゲットの他に、例えばIn量が多いターゲット、又は酸素量が少ないターゲットを用いる方法、スパッタ装置の投入電力を徐々に増加させて成膜する方法等が挙げられる。また、真空蒸着により導電性酸化物膜を成膜する際に、半導体層の温度を急激又は徐々に上昇させる方法、成膜レートを急激に上昇させる方法、イオン銃を用いて酸素イオンを成膜時の後半にのみ照射する方法等が挙げられる。

【0016】

さらに、イオンプレーティング法により導電性酸化物膜を成膜する際に、成膜時後半に酸素ガスをプラズマ化させてこの酸素プラズマを導電性酸化物膜中に取り込ませて、導電性酸化物膜を成膜する方法、導電性酸化物の微粒子を溶媒に溶解又は分散、懸濁させてスプレー法、スピコート法、ディップ法により成膜する際に、導電性酸化物を含む溶液等の金属元素含有量又は酸素含有量を変化させた複数種類の溶液等を用いるか、乾燥又は焼成時の雰囲気、温度等を制御する方法、CVD法により導電性酸化物膜を形成する際に、酸素ガス又は原料酸素含有ガスの流量を制御する方法が挙げられる。

【0017】

加えて、導電性酸化物膜を形成した後、例えば酸化性ガス（具体的には酸素、窒素、ハロゲン）雰囲気下、200～650 程度、導電性酸化物膜の膜厚に応じて所定時間アニール処理する方法が挙げられる。アニール処理の方法としては、例えばランプアニール処理、加熱炉によるアニール処理などがある。また導電性酸化物膜を成膜した後に処理する方法として、電子線照射やレーザアブレーションを利用してもよい。さらに、これらの方法を任意に組み合わせて利用してもよい。

【0018】

第2の元素Bを含む酸化物膜としては、種々の酸化物膜を用いることができるが、第2の元素Bは、インジウムに対して、電気陰性度を示すPauling値（ポーリング値）が大きい元素を選択することが好ましい。また、導電性酸化物膜がITOに限らず、亜鉛、インジウム、スズ及びマグネシウムよりなる群から選択された少なくとも一種の元素Cを含む酸化物よりなる導電性酸化物膜において、これらの元素Cに対して、Pauling値（ポーリング値）が同様の関係となる第2の元素Bを含むことが好ましい。このような元素を含む酸化物膜とすることで、酸化物膜との界面近傍における膜中酸素濃度が、導電性酸化物膜の他の部分の膜中酸素濃度よりも高い導電性酸化物膜が容易に得られやすい。これは酸化物膜中の酸素が電気陰性度の小さい導電性酸化物膜の方に移動することによると考えられる。酸化物膜形成時もしくは酸化物膜形成後に、界面近傍の膜中酸素濃度が他の部分より高くなるように形成もしくは処理すればよい。

【0019】

また第2の元素Bは、第1の元素Aに対して、電気陰性度を示すPauling値（ポーリング値）が大きい元素を選択することがさらに好ましい。このような元素を含む酸化物膜とすることで、酸化物膜中の酸素が導電性酸化物膜に移動しやすくなり、さらに第1の元素Aを含む半導体層へも引き寄せられて、導電性酸化物膜の膜全体にわたって酸素濃度が傾斜した導電性酸化物膜が得られやすくなる。このように、導電性酸化物膜の膜全体にわたって酸素濃度が傾斜した導電性酸化物膜とすることで、導電性酸化物膜に投入された電流を膜全体に最も効率よく拡散させ、発光効率の高い半導体発光素子を得ることができる。またこれにより、導電性酸化物膜の膜厚を薄くすることも可能となり、透光性においても優れた導電性酸化物膜とすることができる。

【0020】

また第2の元素Bを含む酸化物膜が絶縁性酸化物膜とすることで、半導体発光素子の保護膜としても機能し、信頼性にも優れた半導体発光素子を得ることができる。好ましい第2の元素Bの具体的構成としては、ケイ素（Si）又はスズ（Sn）が挙げられる。

【0021】

一方第1の元素Aは、ガリウム(Ga)であることが好ましい。例えばGaAs系半導体層(ただしAlやIn等を含んでもよい)や、GaN系半導体層(ただしAlやIn等を含んでもよい)などが挙げられ、これらの半導体積層構造からなる半導体発光素子の好適な電極として導電性酸化物膜が機能することができる。

#### 【0022】

さらに第1の元素Aを含む半導体層は、ガリウム(Ga)を含む窒化物半導体層であることが好ましい。つまり、 $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$  ( $0 < x$ 、 $0 < y$ 、 $x + y < 1$ ) となる半導体層であることで、半導体層表面にほぼ均一に電流が注入できる全面電極として好適に機能すると共に、発光層からの光を効率よく外部に取り出すことができるからである。第1の元素Aを含む半導体層は、少なくともガリウムを含む窒化物半導体であればよく、SiやMgなどの導電性を決定する不純物をドーピングしたり、その他の元素を含んでいてもよい。

#### 【0023】

さらに導電性酸化物膜は元素Cに加えて、微量元素Dを含む場合、半導体層との界面近傍における微量元素Dが、導電性酸化物膜の他の部分の膜中微量元素Dの濃度よりも高いことが好ましい。この微量元素Dにより、導電性酸化物膜はさらにキャリアが多くなり導電性がよくなる。この微量元素Dは、膜厚方向において、特有の濃度分布を持つことで、結晶性および導電性に優れた導電性酸化物膜とすることができる。くわしくは、微量元素Dが多すぎると導電性はよくなる傾向にあるが、結晶性が悪くなり、透光性の電極として好ましくない。すなわち、微量元素Dは膜厚方向において、濃度の高い領域と低い領域とが共存することが好ましい。特に、第1の元素Aを含む半導体層との界面近傍における膜中微量元素Dの濃度が、導電性酸化物膜の他の部分の膜中微量元素Dの濃度よりも高いことがさらに好ましい。たとえば導電性酸化物膜がITOの場合、微量元素Dはスズとなる。ITOは、酸素欠損量が多いことで高いキャリア濃度が得られると共に、スズのドーピング量が多いことで高いキャリア濃度が得られる。ただしスズのドーピング量が多すぎるとキャリアは高くなるが結晶性が悪くなってしまうため、一般に透光性の電極としては好ましくない。しかし本発明の実施の形態では、半導体層との界面近傍においてスズのドーピング量が多いことで、導電性酸化物膜と半導体層との間において良好なオーミックコンタクトが得られるとともに、他の領域ではスズのドーピング量が少ないことで、良好な結晶性の膜となるので好ましい。この様子をSIMSにより測定すると、図3のような傾向になる。図3(a)は連続的にスズ濃度に濃度勾配がある場合、(b)は総括したスズ濃度の傾向を示す図である。またスズのドーピング量を、移動度の高い状態を維持した範囲で、つまり導電性が最も良い範囲のドーピング量のスズを半導体層との界面近傍に設けることで、導電性酸化物膜に投入された電流を膜全体に拡散させ、さらに半導体層に均一に拡散させることができる膜となり、好ましい。これら、微量元素Dを含む構成としては、例えば $In_2O_3$ にドーピングされたスズ、 $In_2O_3$ にドーピングされた亜鉛など、またZnOにドーピングされたガリウム、ZnOにドーピングされたアルミニウムなどがこのような特有の濃度分布の導電性酸化物膜が得られるので好ましい。本発明において、微量元素Dを含む導電性酸化物とは、具体的には元素Cに対して、およそ20パーセント以下の元素Dを含むことを意味する。

#### 【0024】

本発明の実施の形態に係る半導体発光素子としては、その他の構成として、好ましくは絶縁性酸化物膜の一部に開口部を有し、導電性酸化物膜に電氣的に接続されたパッド電極を有することが好ましい。このパッド電極は、種類及び形態は特に限定されるものではなく、通常、電極として用いられるものであればどのようなものでも使用することができる。例えば亜鉛(Zn)、ニッケル(Ni)、白金(Pt)、パラジウム(Pd)、ロジウム(Rh)、ルテニウム(Ru)、オスミウム(Os)、イリジウム(Ir)、チタン(Ti)、ジルコニウム(Zr)、ハフニウム(Hf)、バナジウム(V)、ニオブ(Nb)、タンタル(Ta)、コバルト(Co)、鉄(Fe)、マンガン(Mn)、モリブデン(Mo)、クロム(Cr)、タングステン(W)、ランタン(La)、銅(Cu)、銀(Ag)、イットリウム(Y)等の金属、合金の単層膜又は積層膜等が挙げられる。なかでも、

抵抗が低いものが好ましく、具体的には、W、Rh、Ag、Pt、Pd、Al等の単層膜又は積層膜が挙げられる。さらに、導電性酸化物膜、特にITO膜との密着性が良好なもの、具体的にはW、Rh、Ptの単層膜又は積層膜が好ましい。このような構成とすることで、半田により接着され又はワイヤボンディングされたパッド電極等として好適に機能し得る。

#### 【0025】

本発明の実施の形態において、上述した構造を備える半導体発光素子は、LEDやLD等、当該分野で既知の発光素子を全て包含する。これらは、当該分野で既知の方法により作製され、既知の構成を備える。例えば第1導電型半導体層、発光層、第2導電型半導体層がこの順に積層され、第1導電型及び第2導電型半導体層にそれぞれ電極が接続されて構成される半導体発光素子が挙げられる。なお、第1導電型とはn型又はp型、第2導電型とはp型又はn型を意味する。

10

#### 【0026】

この種の半導体発光素子は、基板上に複数の半導体層を成長させて形成されるが、基板としてサファイア等の絶縁性基板を用いることが好ましい。なお、絶縁性基板を最終的に取り除かない場合、通常、p電極及びn電極はいずれも半導体層上の同一面側に形成されることになり、フェイスアップ実装、すなわち半導体層側を主光取出し面とすることができる。またフリップチップ実装、すなわち絶縁性基板側を主光取出し面としてもよい。この場合、p電極及びn電極の上には、外部電極等と接続させるためのメタライズ層（バンブ：Ag、Au、Sn、In、Bi、Cu、Zn等）がそれぞれ形成され、このメタライズ層がサブマウント上に設けられた正負一對の外部電極と、それぞれ形成され、さらにサブマウントに対してワイヤなどが配線される。また、最終的に基板を除去して、フェイスアップ実装又はフリップチップ実装のいずれに用いてもよい。なお、基板はサファイアに限定されず、例えばスピネル、SiC、GaN、GaAs等、公知の基板を用いることができる。また、基板としてSiC、GaN、GaAs等の導電性基板を用いることにより、p電極及びn電極を対向して配置してもよい。

20

#### 【0027】

本発明の実施の形態に係る半導体発光素子においては、上述した電極を、第1導電型半導体層上か、第2導電型半導体層上かのいずれか一方に備えていればよい。例えばp型半導体層上に備えることが好ましい。また、第1導電型及び第2導電型半導体層の双方の上に備えていてもよい。双方とも同じ電極構造であれば、製造工程が簡略化され、結果的に安価で信頼性の高い半導体発光素子が得られる。ただし、第1導電型及び第2導電型半導体層上に形成される金属膜は、その種類、積層構造、膜厚等が異なってもよい。

30

#### 【0028】

このような半導体発光素子におけるパッド電極は、例えば半導体層側から、Rh、Pt、Auのそれぞれをスパッタリングにより順に積層させたRh/Pt/Au電極（各膜厚は、例えば100nm/200nm/500nmとする）；Pt、Auのそれぞれをスパッタリングにより順に積層させたPt/Au電極（膜厚は、例えば20nm/700nm）等が挙げられる。パッド電極の最上層をAuとすることによって、Auを主成分とする導電性ワイヤ等と良好な接続を確保することができる。また、RhとAuの間にPtを積層させることによって、Au又はRhの拡散を防止することができ、電極として信頼性の高い電氣的な接続を得ることができる。また、Rhは光反射性及びバリア性に優れ、光取り出し効率が向上するため好適に用いることができる。なかでも、Pt/Au（フェイスアップの場合）、Rh/Au（フェイスダウンの場合）の積層膜が好ましい。

40

#### 【0029】

基板上に形成される半導体層は、基板側から順に、第1導電型半導体層、活性層、第2導電型半導体層である。なお基板と第1導電型半導体層との間、これら半導体層の間にアンドープ、ドープの半導体層が積層されていてもよい。また、これら半導体層は窒化物半導体層であることが好ましい。具体的には、次の(1)～(5)に示すような半導体層の積層構造が挙げられる。

50

## 【0030】

(1) 膜厚が200 のGa<sub>0.9</sub>Nよりなるバッファ層、膜厚が4 μmのSiドープn型Ga<sub>0.9</sub>Nよりなるn側コンタクト層、膜厚が30 のアンドープIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる単一量子井戸構造の活性層、膜厚が0.2 μmのMgドープp型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nよりなるp型クラッド層、膜厚が0.5 μmのMgドープp型Ga<sub>0.9</sub>Nよりなるp側コンタクト層。

## 【0031】

(2) 膜厚が約100 のAlGa<sub>0.9</sub>Nからなるバッファ層、膜厚1 μmのアンドープGa<sub>0.9</sub>N層、膜厚5 μmのSiを $4.5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 含むGa<sub>0.9</sub>Nからなるn側コンタクト層、3000 のアンドープGa<sub>0.9</sub>Nからなる下層と、300 のSiを $4.5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 含むGa<sub>0.9</sub>Nからなる中間層と、50 のアンドープGa<sub>0.9</sub>Nからなる上層との3層からなるn側第1多層膜層(総膜厚3350)、アンドープGa<sub>0.9</sub>Nからなる窒化物半導体層を40 とアンドープIn<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nからなる窒化物半導体層を20 とが繰り返し交互に10層ずつ積層されてさらにアンドープGa<sub>0.9</sub>Nからなる窒化物半導体層を40 の膜厚で形成された超格子構造のn側第2多層膜層(総膜厚640)、膜厚が250 のアンドープGa<sub>0.9</sub>Nからなる障壁層と膜厚が30 のIn<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nからなる井戸層とが繰り返し交互に6層ずつ積層されてさらに膜厚が250 のアンドープGa<sub>0.9</sub>Nからなる障壁が形成された多重量子井戸構造の活性層(総膜厚1930)、Mgを $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 含むAl<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nからなる窒化物半導体層を40 とMgを $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 含むIn<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>Nからなる窒化物半導体層を25 とが繰り返し5層ずつ交互に積層されてさらにMgを $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 含むAl<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nからなる窒化物半導体層を40 の膜厚で形成された超格子構造のp側多層膜層(総膜厚365)、膜厚が1200 のMgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 含むGa<sub>0.9</sub>Nからなるp側コンタクト層。

## 【0032】

(3) 膜厚が約100 のAlGa<sub>0.9</sub>Nからなるバッファ層、膜厚1 μmのアンドープGa<sub>0.9</sub>N層、膜厚5 μmのSiを $4.5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 含むGa<sub>0.9</sub>Nからなるn側コンタクト層、3000 のアンドープGa<sub>0.9</sub>Nからなる下層と、300 のSiを $4.5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 含むGa<sub>0.9</sub>Nからなる中間層と、50 のアンドープGa<sub>0.9</sub>Nからなる上層との3層からなるn側第1多層膜層(総膜厚3350)、アンドープGa<sub>0.9</sub>Nからなる窒化物半導体層を40 とアンドープIn<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nからなる窒化物半導体層を20 とが繰り返し交互に10層ずつ積層されてさらにアンドープGa<sub>0.9</sub>Nからなる窒化物半導体層を40 の膜厚で形成された超格子構造のn側第2多層膜層(総膜厚640)、最初に膜厚が250 のアンドープGa<sub>0.9</sub>Nからなる障壁層と続いて膜厚が30 のIn<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nからなる井戸層と膜厚が100 のIn<sub>0.02</sub>Ga<sub>0.98</sub>Nからなる第1の障壁層と膜厚が150 のアンドープGa<sub>0.9</sub>Nからなる第2の障壁層が繰り返し交互に6層ずつ積層されて形成された多重量子井戸構造の活性層(総膜厚1930)(繰り返し交互に積層する層は3層~6層の範囲が好ましい)、Mgを $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 含むAl<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nからなる窒化物半導体層を40 とMgを $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 含むIn<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>Nからなる窒化物半導体層を25 とが繰り返し5層ずつ交互に積層されてさらにMgを $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 含むAl<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nからなる窒化物半導体層を40 の膜厚で形成された超格子構造のp側多層膜層(総膜厚365)、膜厚が1200 のMgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 含むGa<sub>0.9</sub>Nからなるp側コンタクト層。

## 【0033】

(4) バッファ層、アンドープGa<sub>0.9</sub>N層、Siを $6.0 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 含むGa<sub>0.9</sub>Nからなるn側コンタクト層、アンドープGa<sub>0.9</sub>N層(以上が総膜厚6 nmのn型窒化物半導体層)、Siを $2.0 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 含むGa<sub>0.9</sub>N障壁層とInGa<sub>0.9</sub>N井戸層とを繰り返し5層ずつ交互に積層された多重量子井戸の活性層、膜厚が1300 のMgを $5.0 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 含むGa<sub>0.9</sub>Nからなるp型窒化物半導体層、さらに透光性導電層とp型窒化物半導体層との間にInGa<sub>0.9</sub>N層を50 の膜厚で有してもよい。

## 【0034】

(5) バッファ層、アンドープGa<sub>0.9</sub>N層、Siを $1.3 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 含むGa<sub>0.9</sub>Nか



らなるn側コンタクト層、アンドープGa<sub>0.9</sub>N層（以上が総膜厚6nmのn型窒化物半導体層）、Siを $3.0 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 含むGa<sub>0.9</sub>N障壁層とInGa<sub>0.5</sub>N井戸層とを繰り返し7層ずつ交互に積層された多重量子井戸の活性層（総膜厚800Å）、膜厚が1300ÅのMgを $2.5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 含むGa<sub>0.9</sub>Nからなるp型窒化物半導体層、さらに透光性導電層とp型窒化物半導体層との間にInGa<sub>0.5</sub>N層を50Åの膜厚で有してもよい。

#### 【0035】

また、本発明の実施の形態に係る半導体発光素子においては、発光素子から光の一部を、それとは異なる波長の光に変換する光変換部材を有していてもよい。これにより、発光素子の光を変換した発光装置とすることができ、発光素子の発光と変換光との混色光などにより、白色系、電球色などの発光装置を得ることができる。このような光変換部材としては、Alを含み、かつY、Lu、Sc、La、Gd、Tb、Eu及びSmから選択された少なくとも一つの元素と、Ga及びInから選択された一つの元素とを含むアルミニウム・ガーネット系蛍光体、さらに希土類元素から選択された少なくとも一つの元素を含有するアルミニウム・ガーネット系蛍光体等が挙げられる。これにより、発光素子を高出力、高発熱での使用においても、温度特性に優れ、耐久性にも優れた発光装置を得ることができる。

#### 【0036】

また光変換部材は、 $(\text{Re}_{1-x}\text{R}_x)_3(\text{Al}_{1-y}\text{Ga}_y)_5\text{O}_{12}$  ( $0 < x < 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、但し、Reは、Y、Gd、La、Lu、Tb、Smからなる群より選択される少なくとも一種の元素であり、RはCe又はCeとPrである)で表される蛍光体であってもよい。これにより、上記と同様に高出力の発光素子において、温度特性、耐久性に優れた素子とすることができる。特に、活性層がInGa<sub>0.5</sub>Nである場合に、温度特性において、黒体放射に沿った変化となり、白色系発光において有利となる。

#### 【0037】

さらに光変換部材は、Nを含み、かつBe、Mg、Ca、Sr、Ba及びZnから選択された少なくとも一つの元素と、C、Si、Ge、Sn、Ti、Zr及びHfから選択された少なくとも一つの元素とを含み、希土類元素から選択された少なくとも一つの元素で付活された窒化物系蛍光体であってもよい。窒化物系蛍光体の具体例としては、一般式 $\text{L}_x\text{Si}_y\text{N}(2/3X + 4/3Y) : \text{Eu}$ 又は $\text{L}_x\text{Si}_y\text{O}_z\text{N}(2/3X + 4/3Y - 2/3Z) : \text{Eu}$  (Lは、Sr若しくはCa、又はSr及びCa、のいずれか)が挙げられる。これにより、上記蛍光体と同様に高出力の発光素子において、優れた温度特性、耐久性に優れた発光素子とすることができる。特に、窒化物系蛍光体が酸化窒化珪素化合物であると、優れた蛍光体とできる。また、上記アルミニウム・ガーネット系蛍光体と組み合わせることで、両者の温度特性が相互に作用して、混合色の温度変化が小さい発光装置とすることができる。

#### 【0038】

また、本発明の実施の形態に係る半導体発光素子においては、金属膜はパッド電極として用いるだけでなく、さらに延長導電部を設けることが好ましい。これにより、活性層全体を効率よく発光させることができ、特に半導体発光素子をフェイスアップ実装で設けるときに効果的である。延長導電部が設けられたパッド電極としては、例えば図4～図7に示すような構成が挙げられる。

#### 【0039】

n電極53は、図4及び図5に示すように半導体発光素子の少なくとも一つの辺に近接するように形成される。例えば一つの辺の中央部において、p型半導体層及び活性層の一部をエッチングにより除去してn型コンタクト層51が露出した切り欠き部51aを設け、その切り欠き部51aにn電極53を形成する。52はp型コンタクト層である。

#### 【0040】

p側パッド電極55は、透光性電極54上におけるn電極が近接する辺と対向する辺に隣接する位置に形成される。また、p側パッド電極55には2つの線上の延長導電部56(57)が接続され、その延長導電部56はp側パッド電極55の両側から、p側パッド

10

20

30

40

50

電極 55 が隣接する辺（図 4 において上辺）に沿って延長されている。これにより、p 側パッド電極 55 と n 電極 53 間に位置する活性層を効率よく発光させることができ、さらに p 側パッド電極 55 に接続された延長導電部 56 を透光性電極 54 上に電氣的に導通するように形成することにより、効果的に p 層全体に電流を拡散させ、発光層全体を効率よく発光させることができる。さらに、p 側パッド電極 55 及び延長導電部 56 の周辺部において輝度の高い発光が得られる。したがって本発明の実施の形態では、延長導電部 56 の周辺部における輝度の高い発光を効果的に利用する態様とすることがさらに好ましい。

#### 【0041】

具体的には、延長導電部 56 と、延長導電部 56 が沿って形成される発光層及び p 層の縁との間に上述の輝度の高い発光が得られる周辺部が確保されるように、その縁と延長導電部 56 との間に間隔を空けることが好ましい。尚、n 型コンタクト層 51 のシート抵抗  $R_n$  /  $\square$  と、透光性電極 54 のシート抵抗  $R_p$  /  $\square$  とが、 $R_p < R_n$  の関係を満たしている場合、延長導電部 56 と発光層の縁との間隔は、 $20\ \mu\text{m}$  以上  $50\ \mu\text{m}$  以下であることが好ましい。その間隔が  $20\ \mu\text{m}$  より小さいと輝度の高い発光が得られる周辺部領域が十分確保できない（輝度の高い発光が得られるべき領域が外側にはみ出す）からであり、その間隔が  $50\ \mu\text{m}$  を超えると、隣接辺に沿って発光輝度の低い部分が形成され、全体としての輝度の低下をもたらすからである。

#### 【0042】

また、延長導電部 56 はそれぞれ、図 4 に示すように、n 電極 53 から等距離になるように円弧状に形成されていることが好ましく、これにより図 5 のように直線状に設けた場合に比較して、より均一な発光分布が得られる。

#### 【0043】

さらに、図 6 及び図 7 に示すように、n 電極 63 が半導体発光素子の 1 つの隅部で 2 つの辺に近接するように設けられ、パッド電極は n 電極 63 が近接する隅部と対角をなす他の隅部に設けられることがさらに好ましい。

#### 【0044】

また、n 電極 63 と p 側パッド電極 65 とを対角配置した場合においても、図 6 及び図 7 に示すように、透光性電極 64 上に設けられた延長導電部 66 はそれぞれ、n 電極 63 から等距離になるように円弧状に形成されていることが好ましく、これによってより高輝度でかつより均一な発光が得られる。なお、この場合においても、延長導電部 66 と発光層の縁との間隔は、上述したように輝度の高い発光が得られる領域を十分確保するために、 $20\ \mu\text{m}$  以上  $50\ \mu\text{m}$  以下であることが好ましい。

#### 【0045】

以下に、本発明の実施例に係る半導体発光素子及びその電極を図面に基づいて詳細に説明する。

#### 【実施例 1】

#### 【0046】

実施例 1 として作成した半導体発光素子を図 1 に基づき詳細に説明する。半導体発光素子 10 は、サファイア基板 1 の上に、 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  よりなるバッファ層（図示せず）、ノンドープ  $\text{Ga}\text{N}$  層（図示せず）が積層され、その上に、n 型半導体層 2 として、 $\text{Si}$  ドープ  $\text{Ga}\text{N}$  よりなる n 型コンタクト層、 $\text{Ga}\text{N}$  層（ $40\ \text{\AA}$ ）と  $\text{InGa}\text{N}$  層（ $20\ \text{\AA}$ ）とを交互に 10 回積層させた超格子の n 型クラッド層が積層され、さらにその上に、最初に膜厚が  $250\ \text{\AA}$  のアンダーープ  $\text{Ga}\text{N}$  からなる障壁層と続いて膜厚が  $30\ \text{\AA}$  の  $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  からなる井戸層と膜厚が  $100\ \text{\AA}$  の  $\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$  からなる第 1 の障壁層と膜厚が  $150\ \text{\AA}$  のアンダーープ  $\text{Ga}\text{N}$  からなる第 2 の障壁層が繰り返し交互に 6 層ずつ積層されて形成された多重量子井戸構造の活性層 3（総膜厚  $1930\ \text{\AA}$ ）、p 型半導体層 4 として、 $\text{Mg}$  ドープ  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  層（ $40\ \text{\AA}$ ）と  $\text{Mg}$  ドープ  $\text{InGa}\text{N}$  層（ $20\ \text{\AA}$ ）とが交互に 10 回積層された超格子の p 型クラッド層、 $\text{Mg}$  ドープ  $\text{Ga}\text{N}$  よりなる p 型コンタクト層がこの順に積層されて構成される。

#### 【0047】

10

20

30

40

50

n型半導体層2の一部の領域においては、その上に積層された活性層3及びp型半導体層4が除去され、さらにn型半導体層2自体の厚さ方向の一部が除去されて露出しており、その露出したn型半導体層2上にn電極7が形成されている。

#### 【0048】

p型半導体層3上には、ほぼ全面に、ITOからなる透光性電極5が形成されており、この透光性電極5の上に一部パッド電極6が形成される開口部を有して、導電性の酸化物膜8が形成されている。なお、透光性電極5は、パッド電極6側において膜中酸素濃度が低い領域5aが、p型半導体層3側において膜中酸素濃度が高い領域5bが形成されている。このような半導体発光素子は、以下の製造方法により形成することができる。

<半導体層の形成>

#### 【0049】

2インチのサファイア基板1の上に、MOVPE反応装置を用い、 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ よりなるバッファ層を100、ノンドープGaN層を1.5 $\mu m$ 、n型半導体層2として、SiドープGaNよりなるn型コンタクト層を2.165 $\mu m$ 、GaN層(40)とInGaN層(20)とを交互に10回積層させた超格子のn型クラッド層5を640、最初に膜厚が250のノンドープGaNからなる障壁層と続いて膜厚が30の $In_{0.3}Ga_{0.7}N$ からなる井戸層と膜厚が100の $In_{0.02}Ga_{0.98}N$ からなる第1の障壁層と膜厚が150のノンドープGaNからなる第2の障壁層が繰り返し交互に6層ずつ積層されて形成された多重量子井戸構造の活性層3(総膜厚1930)、p型半導体層4として、Mgドープ $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ 層(40)とMgドープInGaN層(20)とを交互に10回積層させた超格子のp型クラッド層を0.2 $\mu m$ 、MgドープGaNよりなるp型コンタクト層を0.5 $\mu m$ の膜厚でこの順に成長させ、ウェハを作製した。

<エッチング>

#### 【0050】

得られたウェハを反応容器内で、窒素雰囲気中、600にてアニールし、p型クラッド層及びp型コンタクト層をさらに低抵抗化した。アニール後、ウェハを反応容器から取り出し、最上層のp型コンタクト層の表面に所定の形状のマスクを形成し、エッチング装置でマスクの上からエッチングし、n型コンタクト層の一部を露出させた。

<ITO膜の形成>

#### 【0051】

マスクを除去した後、スパッタ装置にウェハを設置し、 $In_2O_3$ と $SnO_2$ とを95:5の重量比で混合した焼結体からなる第1の酸化物ターゲットと、この $In_2O_3$ と $SnO_2$ との焼結体に90:10の重量比となるようにさらにInを添加した第2のターゲットとをITOターゲットとして設置した。スパッタ装置によって、酸素ガス雰囲気中、スパッタガスとしてアルゴンガスで、まず、第1の酸化物ターゲットを用いて、例えばRFパワー10W/cm<sup>3</sup>で5分間スパッタリングし、引き続き、第2のターゲットに変更して15分間スパッタリングすることにより、ウェハのp型コンタクト層8のほぼ全面に、ITOよりなる透光性電極5を4000の膜厚で形成した。得られた透光性電極5は良好な透光性を有し、サファイア基板1まで透けて観測できた。

<パッド電極の形成>

#### 【0052】

透光性電極5上に、レジストにより所定のパターンを有するマスクを形成し、その上にPt層及びAu層をこの順に積層し、リフトオフ法により、ボンディング用のパッド電極6を総膜厚1 $\mu m$ で形成した。その後、n型コンタクト層の上に、Rh/Pt/Auからなるn電極7を7000の膜厚で形成し、アニール装置にて400以上で熱処理を施し、電極を合金化した。さらに、 $ZrO_2$ よりなる絶縁性酸化物膜8をパッド電極6とn電極7の表面の一部が露出するようにして半導体積層構造及び導電性酸化物膜の表面及び側面に2000の膜厚で形成した。得られたウェハを所定の箇所で分割することにより、半導体発光素子10を得た。

10

20

30

40

50

## 【0053】

以上のようにして形成した半導体発光素子を、酸化物膜8表面側から、ITO膜5及び半導体層4にかけてSIMSにより分析し、パッド電極、透光性電極、p型半導体層のデプスプロファイルを測定した。その結果は図2に示す傾向になり、図2から、ITO膜は、パッド電極側の界面近傍において、p型半導体層4側の酸素濃度よりも酸素濃度の高い領域5aを有していることが確認された。

## 【0054】

このような構成により、ITO膜の表面において、酸素濃度の高い、つまりキャリアが少ない領域が形成され、酸化物膜との界面近傍において、結晶性に優れ、発光層からの光を十分に外部に取り出すことができる。さらにITO膜の半導体層側に酸素濃度の低い、つまりキャリアが多い領域が形成されるために、半導体層とのショットキー障壁を小さくすることができる。また、ITO膜は、半導体層が表面にある半導体積層構造側のシート抵抗を低くでき、半導体積層構造に最も効率よく電流注入が行えるので、発光効率の高い半導体発光素子を得ることができる。

10

## 【実施例2】

## 【0055】

次に実施例2の半導体発光素子は、実施例1における製造工程において、ITO膜を成膜する際に、第1の酸化物ターゲットを用い、成膜初期は、スパッタガスとして、アルゴンガスのみを用い、その後、スパッタガスをアルゴンガスと酸素ガスとの混合ガスに変更する以外は、実質的に実施例1と同様の方法により、同様の構成の半導体発光素子を得た。

20

## 【0056】

なお、成膜時のスパッタガスの圧力を0.01~0.5Pa程度とした場合に、初期の酸素ガスの分圧は、 $1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-2}$  Pa程度とした。また、アルゴンガスのみを用いた成膜時間は5分間程度、その後、アルゴンガスと酸素ガスとの混合ガスで15分間程度成膜した。

## 【0057】

得られた半導体発光素子においても、実施例1と同様に、ITO膜の表面において、酸素濃度の高い、つまりキャリアが少ない領域が形成され、酸化物膜との界面近傍において、結晶性に優れ、発光層からの光を十分に外部に取り出すことができる。さらにITO膜の半導体層側に酸素濃度の低い、つまりキャリアが多い領域が形成されるために、半導体層とのショットキー障壁を小さくすることができる。また、ITO膜は、半導体層が表面にある半導体積層構造側のシート抵抗を低くでき、半導体積層構造に最も効率よく電流注入が行えるので、発光効率の高い半導体発光素子を得ることができる。

30

## 【実施例3】

## 【0058】

実施例3の半導体発光素子は、実施例1における製造工程において、ITO膜を成膜する際に、第2の酸化物ターゲットを用い、成膜初期は、スパッタ装置のRFパワーを $2 \text{ W} / \text{ cm}^2$ とし、その後、 $10 \text{ W} / \text{ cm}^2$ に徐々に加速させる以外は、実質的に実施例1と同様の方法により、同様の構成の半導体発光素子を得た。

40

## 【実施例4】

## 【0059】

実施例4の半導体発光素子は、実施例1における製造工程においてITO膜を成膜した後、あるいは、実施例1における製造工程において第1の酸化物ターゲットを用いて4000のITO膜を形成した後、酸化性ガス雰囲気下（例えば酸素ガス雰囲気下）にて、例えば300でランプアニールによって処理することにより、実施例1と実質的に同様の構成の半導体発光素子を得た。酸化ガス雰囲気下でのアニール処理により、表面側のITO膜内の酸素が酸化ガスと反応することによって、ITO膜表面の酸素濃度を高くさせることができる。

## 【実施例5】

50

## 【 0 0 6 0 】

実施例 5 の半導体発光素子は、実施例 1 における製造工程において I T O 膜を成膜した後、あるいは、実施例 1 における製造工程において第 2 の酸化物ターゲットを用いて 4 0 0 0 の I T O 膜を形成した後、酸化物膜として、S i、S n 等の酸化されやすい金属の単層膜又は積層膜を、例えば 2  $\mu$  m 程度の膜厚で形成し、3 0 0 でアニールすることによって、実施例 1 と実質的に同様の構成の半導体発光素子を得た。このように、酸化物膜 8 を形成して熱処理することにより、酸化物膜中の酸素が I T O 膜に移行し、I T O 膜表面の酸素濃度を高くすることができる。

## 【実施例 6】

## 【 0 0 6 1 】

実施例 6 の半導体素子は、実施例 1 において I T O 膜の形成を以下のようにする他は同様にして作成した。

< I T O 膜の形成 >

## 【 0 0 6 2 】

マスクを除去した後、スパッタ装置にウェハを設置し、I n<sub>2</sub>O<sub>3</sub>と S n O<sub>2</sub>とを 9 0 : 1 0 の重量比で混合した焼結体からなる第 1 の酸化物ターゲットと、この I n<sub>2</sub>O<sub>3</sub>と S n O<sub>2</sub>との焼結体に 9 5 : 5 の重量比となるようにさらに I n を添加した第 2 のターゲットとを I T O ターゲットとして設置した。スパッタ装置によって、酸素ガス雰囲気中、スパッタガスとしてアルゴンガスで、まず、第 1 の酸化物ターゲットを用いて、例えば R F パワー 2 W / c m<sup>3</sup> で 5 分間スパッタリングし、引き続き、第 2 のターゲットに変更して、例えば R F パワー 1 0 W / c m<sup>3</sup> で 1 5 分間スパッタリングすることにより、ウェハの p 型コンタクト層 8 のほぼ全面に、I T O よりなる透光性電極 5 を 4 0 0 0 の膜厚で形成した。得られた I T O 膜は、酸化物膜側の酸素濃度を膜中より高くさせることができ、さらに半導体層側の S n のドーブ量を膜中より高くさせることができる。

## 【実施例 7】

## 【 0 0 6 3 】

実施例 7 の半導体発光素子は、実施例 6 における製造工程において I T O 膜を成膜した後、酸化物膜として、S i、S n 等の酸化されやすい金属の単層膜又は積層膜を、例えば 2  $\mu$  m 程度の膜厚で形成し、3 0 0 でアニールすることによって、実施例 1 と実質的に同様の構成の半導体発光素子を得た。このように、酸化物膜 8 を形成して熱処理することにより、酸化物膜中の酸素が I T O 膜に移行し、酸化物側の酸素濃度を高くし、また半導体層側の S n のドーブ量を膜中より高くすることができる。つまりショットキー障壁をさらに小さく、また半導体積層構造側のシート抵抗をさらに低くすることができる。

## 【実施例 8】

## 【 0 0 6 4 】

実施例 8 の半導体発光素子は、実施例 1 における製造工程において、I T O 膜を成膜する際に、スパッタ法に代えて、真空蒸着法を利用する以外は、実質的に実施例 1 と同様の方法により、同様の構成の半導体発光素子を得た。n 型コンタクト層の一部を露出させたウェハを、真空蒸着装置に入れ、ウェハ温度を 1 0 0 に維持しながら、S n O<sub>2</sub> が 1 0 % の I T O を電子銃で加熱、蒸発させて、I T O 膜を成膜した。成膜中、ウェハ温度を 3 0 0 まで、1 0 秒間で加熱手段を用いて急激に温度を上げて、膜厚が 4 0 0 0 の I T O 膜を形成した。このように、成膜中にウェハ温度を急激に昇温させ、最初に I T O の結晶化温度より低い温度で成膜し、続けて結晶化温度で成膜することにより、結果的に、表面側において、酸素濃度の高い I T O 膜を形成することができる。

## 【実施例 9】

## 【 0 0 6 5 】

実施例 9 の半導体発光素子は、実施例 8 における製造工程において、真空蒸着法により I T O 膜を形成する際に、ウェハ温度を 3 0 0 に維持しながら、イオン銃を利用して、成膜時後半にのみ、ウェハ表面 ( p 型半導体層 ) に酸素イオンを 1 0 1 2 個 / c m<sup>2</sup> 程度で照射する以外は、実質的に実施例 4 と同様の方法により、同様の構成の半導体発光素子

10

20

30

40

50

を得た。

【実施例 10】

【0066】

実施例 10 の半導体発光素子は、実施例 8 における製造工程において、真空蒸着法により ITO 膜を形成する際に、ウェハ温度を 300 に維持しながら、成膜初期の成膜レートを 5 / 秒とし、その後、50 / 秒に加速させる以外は、実質的に実施例 4 と同様の方法により、同様の構成の半導体発光素子を得た。このように、成膜レートを加速させることにより、ITO 膜を構成する蒸着粒子の温度が上昇し、酸素との反応性が向上し、表面側の ITO 膜の酸素濃度を高くさせることができる。

【実施例 11】

【0067】

実施例 11 の半導体発光素子は、実施例 1 における製造工程において、ITO 膜を成膜する際に、スパッタ法に代えて、イオンプレーティング法を利用する以外は、実質的に実施例 1 と同様の方法により、同様の構成の半導体発光素子を得た。つまり、n 型コンタクト層の一部を露出させたウェハを、プラズマガンを用意したイオンプレーティング装置に導入し、反応室に反応ガスである O<sub>2</sub> ガスを導入する。さらに、反応室よりもプラズマガン内部の圧力が高くなるように Ar ガスをプラズマガン内に導入する。プラズマガンに内蔵したカソードから放出される電子を磁場によりガイドして、ルツボに仕込まれた ITO ペレットに集中して照射する。この際、電子ビーム加熱することにより、ITO ペレットから蒸発した蒸発物と、酸素ガスとがプラズマ内で活性化され、ウェハ上に堆積し、ITO 膜を形成することができる。なお、成膜初期においては、プラズマガンの投入電力を 1 kW、その後、3 kW とすることにより、表面側の ITO 膜の酸素濃度を高くすることができる。

【産業上の利用可能性】

【0068】

本発明の半導体発光素子は、例えばフルカラー LED ディスプレイ、LED 信号機、道路情報表示板等の LED デバイス、あるいは太陽電池、光センサー等の受光素子としてイメージスキャナ等に適用したり、あるいはまた電子デバイス (FET 等のトランジスタやパワーデバイス) や、これらを用いた光ディスク用光源等大容量の情報を記憶する DVD 等のメディアや通信用の光源、印刷機器、照明用光源等に好適に利用できる。照明用途としては、バックライト光源、車両用ランプ等に利用可能である。

【図面の簡単な説明】

【0069】

【図 1】本発明の一実施の形態に係る半導体発光素子の構成を示す断面図である。

【図 2】図 1 における導電性酸化物膜 (ITO 膜) 中の酸素のデプスプロファイルを示すグラフである。

【図 3】図 1 における ITO 膜中のスズのデプスプロファイルを示すグラフである。

【図 4】本発明の一実施例に係る半導体発光素子の電極形状を説明するための平面図である。

【図 5】本発明の他の実施例に係る半導体発光素子の電極形状を説明するための平面図である。

【図 6】本発明のさらに別の実施例に係る半導体発光素子の電極形状を説明するための平面図である。

【図 7】本発明のさらに別の実施例に係る半導体発光素子の電極形状を説明するための平面図である。

【符号の説明】

【0070】

- 1 基板
- 2 n 型半導体層
- 3 活性層

10

20

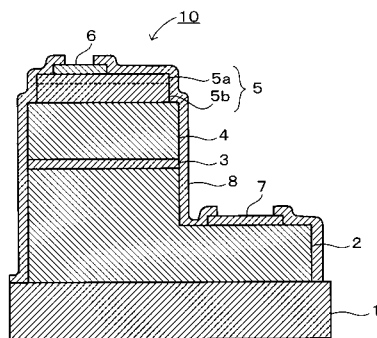
30

40

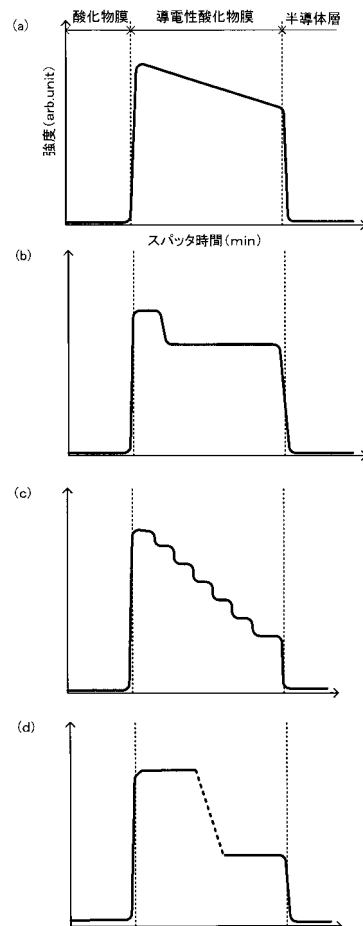
50

- 4 p 型半導体層
- 5 透光性電極
- 5 a 領域
- 5 b 領域
- 6 パッド電極
- 7 n 電極
- 8 絶縁性酸化膜
- 10 半導体発光素子

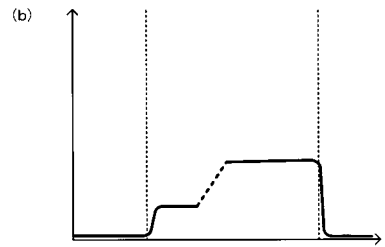
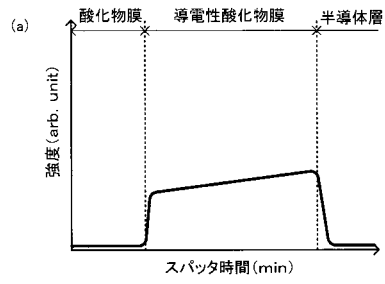
【図 1】



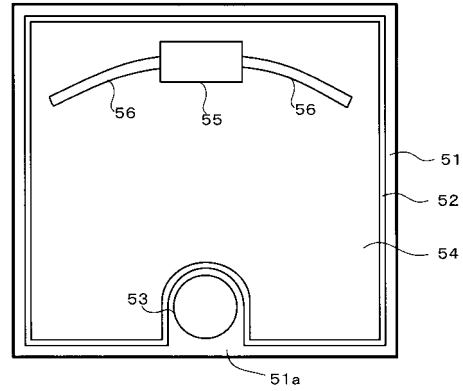
【図 2】



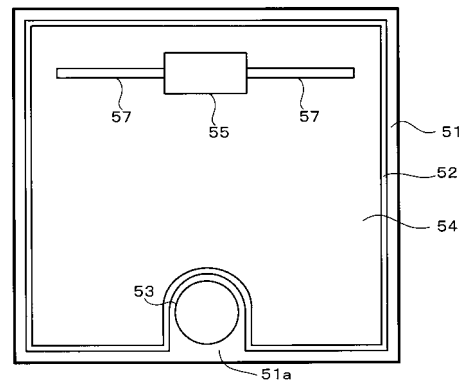
【図 3】



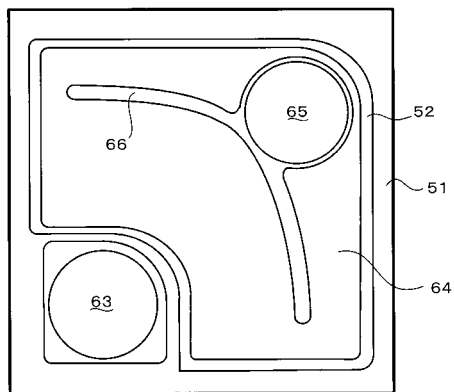
【図 4】



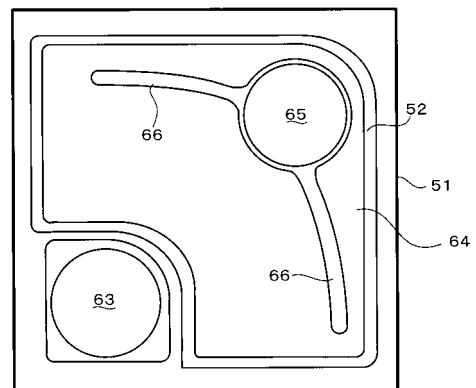
【図 5】



【図 6】



【図 7】





---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開平 1 0 - 1 7 3 2 2 2 ( J P , A )

特開平 1 0 - 3 4 1 0 3 9 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H 0 1 S 5 / 0 0 - 5 / 5 0

H 0 1 L 3 3 / 0 0

H 0 1 L 2 1 / 2 8 - 2 1 / 2 8 8

H 0 1 L 2 1 / 4 4 - 2 1 / 4 4 5

H 0 1 L 2 9 / 4 0 - 2 9 / 4 7