

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3849552号  
(P3849552)

(45) 発行日 平成18年11月22日(2006.11.22)

(24) 登録日 平成18年9月8日(2006.9.8)

(51) Int. Cl.	F I	
HO 1 L 29/78 (2006.01)	HO 1 L 29/78	6 5 2 H
HO 1 L 21/265 (2006.01)	HO 1 L 21/265	6 0 3 B
HO 1 L 21/329 (2006.01)	HO 1 L 21/265	6 0 3 C
HO 1 L 29/06 (2006.01)	HO 1 L 29/91	B
	HO 1 L 29/06	3 0 1 D

請求項の数 6 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2002-64409 (P2002-64409)	(73) 特許権者	503361248
(22) 出願日	平成14年3月8日(2002.3.8)		富士電機デバイステクノロジー株式会社
(65) 公開番号	特開2003-264286 (P2003-264286A)		東京都品川区大崎一丁目11番2号
(43) 公開日	平成15年9月19日(2003.9.19)	(74) 代理人	100104190
審査請求日	平成16年7月13日(2004.7.13)		弁理士 酒井 昭徳
		(72) 発明者	岩本 進
			神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号
			富士電機株式会社内
		(72) 発明者	藤平 龍彦
			神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号
			富士電機株式会社内
		審査官	小野田 誠

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超接合半導体素子の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1の主面と第2の主面との間に、低抵抗層と、オン状態では電流が流れ、かつp型領域とn型領域とが交互に配置された構成の並列pn接合層とを備えた超接合半導体素子の製造方法において、

前記低抵抗層の表面に前記低抵抗層よりも抵抗の大きい高比抵抗層をエピタキシャル成長させる工程と、

前記エピタキシャル成長工程につづいて同一チャンバー内で、チャンバー内圧力がエピタキシャル成長時よりも低い状態で、前記高比抵抗層に所定の不純物をイオンビーム照射により選択的に注入する工程と、

前記高比抵抗層に注入された不純物を熱処理により拡散させて前記並列pn接合層を形成する工程と、

を含むことを特徴とする超接合半導体素子の製造方法。

【請求項2】

前記エピタキシャル成長と前記イオンビーム照射とを繰り返しおこなった後、前記熱処理をおこなうことを特徴とする請求項1に記載の超接合半導体素子の製造方法。

【請求項3】

前記イオンビーム照射時のチャンバー内圧力を $1 \times 10^{-2}$  Pa以下とすることを特徴とする請求項1または2に記載の超接合半導体素子の製造方法。

【請求項4】

10

20

前記イオンビーム照射時のイオン種をボロン、リン、またはボロンとリンの組み合わせとすることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか一つに記載の超接合半導体素子の製造方法。

【請求項 5】

前記イオンビーム照射時にビーム径を変化させることにより異なる幅の並列 p n 接合層を形成することを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか一つに記載の超接合半導体素子の製造方法。

【請求項 6】

前記イオンビームの平均自由行程を、イオンビーム銃と半導体素子間の距離の 10 倍以上とすることを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれか一つに記載の超接合半導体素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、高耐圧化と大電流容量化を両立させることのできる超接合半導体素子の製造方法に関し、特に並列 p n 接合層を備えた MOSFET (絶縁ゲート型電界効果トランジスタ)、IGBT (絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ)、バイポーラトランジスタまたはダイオード等の超接合半導体素子の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来の高耐圧半導体素子は、高い降伏電圧を得るために高比抵抗のドリフト領域を主電流経路に設けるため、高耐圧のものほどこの部分の電圧降下が大きくなってオン電圧が高くなるという問題があった。この問題に対する解決法として、ドリフト層を、不純物濃度を高めた n 型の領域と p 型の領域とを交互に積層した並列 p n 層で構成し、オフ状態のときは空乏化して耐圧を負担するようにした構造の半導体装置が、たとえば米国特許第 5 2 1 6 2 7 5 号明細書などに開示されている。

【0003】

ここで、並列 p n 接合層とは、上述したように第 1 導電型 (たとえば、n 型) のドリフト領域と第 2 導電型 (たとえば、p 型) の仕切り領域とを交互に繰り返して接合した構造のことである。また、超接合半導体素子とは、オン状態では電流を流し、一方、オフ状態では空乏化する並列 p n 接合層からなるドリフト領域を備えた半導体素子のことである。

【0004】

従来より、並列 p n 接合層を形成する方法として、エピタキシャル成長によってトレンチ構造を埋め込む方法が公知である。しかし、この方法では、トレンチのアスペクト比が高いため、トレンチ形成時に基板に除去不能なダメージが生じるという問題点がある。また、トレンチ内を高品質のエピタキシャル層で埋め込むのは極めて困難であるなどの問題点もある。

【0005】

そこで、本発明者らは、低抵抗の半導体基板上に高抵抗の半導体層をエピタキシャル成長させながら、そのエピタキシャル成長層に n 型不純物と p 型不純物のイオンビームを照射して選択的にイオン注入することによって、並列 p n 接合層を形成する方法について、先に出願している (特開 2 0 0 1 - 1 6 8 0 3 6 号)。この方法によれば、並列 p n 接合層を容易に形成することができるという効果が得られる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、その後の発明者らの検討により、上記特開 2 0 0 1 - 1 6 8 0 3 6 号公報による並列 p n 接合層の形成方法では、ソースガスの供給によりエピタキシャル成長中のチャンパー内圧力が 1 0 0 ~ 3 0 0 0 Pa と比較的高い、すなわち真空度が低いため、イオンビームが散乱されやすく、並列 p n 接合層の不純物濃度にばらつきが生じるおそれのあることが判明した。

10

20

30

40

50

## 【0007】

本発明は、上述した事情に鑑みてなされたものであって、不純物濃度のばらつきが小さい並列 p n 接合層を有する超接合半導体素子を簡易に量産性よく製造することができる超接合半導体素子の製造方法を提供することを目的とする。

## 【0008】

## 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、本発明は、第1の主面と第2の主面との間に、低抵抗層と、オン状態では電流が流れ、かつ p 型領域と n 型領域とが交互に配置された構成の並列 p n 接合層とを備えた超接合半導体素子の製造方法において、前記低抵抗層の表面に前記低抵抗層よりも抵抗の大きい高比抵抗層をエピタキシャル成長させる工程と、前記エピタキシャル成長工程につづいて同一チャンバー内で、チャンバー内圧力がエピタキシャル成長時よりも低い状態で、前記高比抵抗層に所定の不純物をイオンビーム照射により選択的に注入する工程と、前記高比抵抗層に注入された不純物を熱処理により拡散させて前記並列 p n 接合層を形成する工程と、を含むことを特徴とする。この発明によれば、エピタキシャル成長時のチャンバー内圧力よりも低い圧力でイオンビームが照射されるため、イオンビームの散乱が抑制され、不純物濃度のばらつきの小さい並列 p n 接合層が形成される。

10

## 【0009】

この発明において、前記エピタキシャル成長と前記イオンビーム照射とを繰り返しおこなった後、前記熱処理をおこなう構成としてもよい。このようにすれば、所望の厚さを有する並列 p n 接合層が形成される。

20

## 【0010】

また、この発明において、前記イオンビーム照射時のチャンバー内圧力を  $1 \times 10^{-2}$  Pa 以下としてもよい。この場合には、イオンビームが散乱されにくくなり、並列 p n 接合層の不純物濃度のばらつきが抑制される。

## 【0011】

また、この発明において、前記イオンビーム照射時のイオン種をボロン、リン、またはボロンとリンの組み合わせとしてもよい。この構成によれば、たとえばボロンの注入によって p 型領域が形成され、リンの注入によって n 型領域が形成される。

## 【0012】

また、この発明において、前記イオンビーム照射時にビーム径を変化させることにより異なる幅の並列 p n 接合層を形成する構成としてもよい。このようにすれば、異なるピッチを有する並列 p n 接合層が形成され、狭いピッチの並列 p n 接合層では熱処理時の相互拡散によって不純物濃度が低くなり、電界が緩和されやすくなるため、この領域での耐圧が向上する。

30

## 【0013】

また、この発明において、前記イオンビームの平均自由行程を、イオンビーム銃と半導体素子間の距離の 10 倍以上としてもよい。この場合には、イオンビームが散乱されにくくなり、並列 p n 接合層の不純物濃度のばらつきが抑制される。

## 【0014】

## 【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面を用いて説明する。

40

## 実施の形態 1 .

図1は実施の形態1において用いられる枚葉式のエピタキシャル成長炉の断面模式図である。このエピタキシャル成長炉では、ソースガス導入口1およびソースガス排気口2を備えたチャンバー3に、ボロン照射用イオンビーム銃4およびリン照射用イオンビーム銃5を複数備えている。また、サセプタ6を加熱するために、RFコイル7がサセプタ6の直下に敷設され、エピタキシャル基板8はサセプタ6の上に設置される。

## 【0015】

ここで、各イオンビーム銃4, 5とエピタキシャル基板8との間の距離 d はイオンビームの平均自由行程  $\lambda$  の  $1/10$  以下である。すなわち、各イオンビーム銃4, 5は、

50

0 dとなる位置に設置されている。その理由は、イオンビーム中のイオン種がエピタキシャル基板 8 に達するまでに残留ガス分子に衝突する回数は  $d / \lambda$  で表されるが、この衝突回数を  $1 / 10$  以下に低減するためである。つまり、衝突回数が小さいほどイオンビームが散乱されにくくなるため、エピタキシャル基板 8 に導入される不純物量がより正確になり、並列 p n 接合層の濃度のばらつきが抑制されるからである。換言すれば、イオンビームの衝突は、並列 p n 接合層の濃度ばらつきの原因となる。

【 0 0 1 6 】

図 1 4 に、各耐圧クラス ( 7 4 0 V、1 1 0 0 V、2 3 0 0 V、4 5 0 0 V ) における耐圧と並列 p n 接合層の濃度との関係を示す。図 1 4 において、縦軸は最大耐圧  $B V_{max}$  を 1 としたときの耐圧比であり、横軸は最大耐圧  $B V_{max}$  が得られるときの濃度を 1 としたときの濃度比である。図 1 4 より、最大耐圧が大きくなる、すなわち高耐圧化するのに伴って、濃度のばらつきに対する耐圧低下の程度が急激になっていることがわかる。

10

【 0 0 1 7 】

図 1 5 に、最大耐圧の 9 0 % および 9 5 % の耐圧を得るために許容される濃度ばらつきと最大耐圧との関係を示す。図 1 5 において、縦軸は許容濃度ばらつき [ % ] であり、横軸は最大耐圧 [ V ] である。図 1 5 より、最大耐圧が大きくなるのに伴って、許容濃度ばらつきが急激に小さくなっていることがわかる。

【 0 0 1 8 】

図 1 5 に示す通り、たとえば通常で 1 3 % の濃度ばらつきがあると仮定すると、7 4 0 V クラスでは最大耐圧の 9 0 % 以上の耐圧が得られる。それに対して、2 3 0 0 V クラスで耐圧を最大耐圧の 9 5 % 以上にするためには濃度のばらつきを 2 % 程度にする必要である。また、4 5 0 0 V クラスでは、最大耐圧の 9 5 % 以上の耐圧を得るには濃度のばらつきを 1 % 程度に抑える必要がある。

20

【 0 0 1 9 】

上述したようにイオンビームの衝突回数は濃度ばらつきの原因であり、衝突回数が  $1 / 10$  になれば濃度のばらつきも  $1 / 10$  になるため、通常の濃度ばらつき 1 3 % に対して、 $\lambda = 10 d$  にセッティングすることによって濃度ばらつきを 1 . 3 % に抑えることが可能となる。さらに、 $\lambda = 100 d$  とすれば 0 . 1 3 % の濃度ばらつきに抑えることが可能となる。したがって、本実施の形態では  $\lambda = 10 d$  である。

【 0 0 2 0 】

ところで、イオンビームの平均自由工程  $\lambda$  はチャンパー内圧力の影響を受ける。チャンパー内に存在する分子の密度を  $n [ c m^{-3} ]$ 、チャンパー内圧力を  $p [ T o r r ]$ 、絶対温度を  $T [ K ]$  とすると、気体運動論によればつぎの ( 1 ) 式が成り立つ。

30

【 0 0 2 1 】

$$p = 1 \times 10^{-19} n T \quad \dots (1)$$

【 0 0 2 2 】

また、リンの原子半径を  $r_1 [ c m ]$ 、ソースガス分子の分子半径を  $r_2 [ c m ]$  とすると、平均自由工程  $\lambda [ c m ]$  はつぎの ( 2 ) 式で表される。

【 0 0 2 3 】

$$\lambda = 1 / ( 2^{1/2} ( r_1 + r_2 )^2 n ) \quad \dots (2)$$

40

【 0 0 2 4 】

上記 ( 1 ) 式および ( 2 ) 式より  $n$  を消去すると、つぎの ( 3 ) 式が得られる。

【 0 0 2 5 】

$$\lambda = 1 / ( 2^{1/2} ( r_1 + r_2 )^2 ) \times 1 \times 10^{-19} T / p \quad \dots (3)$$

【 0 0 2 6 】

ここで説明を簡単にするため、 $r_1$  および  $r_2$  を  $1 \times 10^{-8} [ c m ]$  と仮定すると、つぎの ( 4 ) 式が得られる。圧力の単位が  $P a$  の場合は ( 5 ) 式となる。

【 0 0 2 7 】

$$\lambda = 2 . 2 5 \times 10^{-4} T / p \quad \dots (4)$$

$$\lambda = 3 . 0 0 \times 10^{-2} T / p \quad \dots (5)$$

50

## 【0028】

たとえば、イオンビーム照射時のチャンパー内圧力が  $10^{-2}$  Pa の場合には、平均自由行程は  $4000$  cm となる。比較として、前記特開  $2001-168036$  号公報による従来技術において、チャンパー内圧力を  $1$  m Torr とすると平均自由行程は  $300$  cm となる。イオンビーム銃とエピタキシャル基板との間の距離  $d$  を  $300$  cm とすれば、従来はエピタキシャル基板にイオンビームが到達する以前に必ず衝突が起こることになる。

## 【0029】

それに対して、本実施の形態においてチャンパー内圧力を  $10^{-2}$  Pa とすれば、衝突回数は  $300/4000$  回、すなわち  $0.075$  回である。したがって、本実施の形態においてチャンパー内圧力を  $10^{-2}$  Pa とすることによって、濃度のばらつきを  $1/0.075 = 13.3$  倍抑えることができる。換言すれば、前記特開  $2001-168036$  号公報による従来技術による  $13.3\%$  の濃度ばらつきを  $1\%$  に抑えることができる。

10

## 【0030】

また、望ましくはイオンビーム照射時のチャンパー内圧力は  $10^{-3}$  Pa であるとよく、さらに望ましくは  $10^{-4}$  Pa であるとよい。その場合には、濃度ばらつきをそれぞれ  $0.1\%$  および  $0.01\%$  に抑えることが可能となり、事実上ばらつきがないものとすることができる。また、 $10^{-4}$  Pa 以下の圧力であれば、イオン電荷の中性化も回避される。また、最大耐圧  $4500$  V 以上の高耐圧クラスにおいてもばらつきを低減が可能となる。

## 【0031】

つぎに、ボロンおよびリン照射用のイオンビーム銃を備えた枚葉式のエピタキシャル成長炉を用いた場合の超接合基板の製造方法について説明する。図2～図5は、図1の枚葉式のエピタキシャル成長炉による、超接合基板の製造工程を順に示す模式図である。

20

## 【0032】

まず、チャンパー3内において、ソースガス導入口1より  $\text{SiCl}_4$  などのソースガスを導入して、 $n$ 型の低抵抗半導体基板よりなる低抵抗層31の上に、低濃度 ( $1 \times 10^{13}$   $\text{cm}^{-3}$  程度) の  $n^-$  高比抵抗層32を約  $8 \mu\text{m}$  の厚さで成膜する(図2)。エピタキシャル成長中のチャンパー内圧力はおおむね  $100 \sim 3000$  Pa の範囲であり、特に限定しないが、たとえば本実施の形態では  $400$  Pa とする。たとえば MOSFET の場合、低抵抗層31は  $n^+$  ドレイン層となる。

30

## 【0033】

引きつづき、そのままの状態、すなわちチャンパー3内にエピタキシャル基板8を入れたまま、チャンパー3内のソースガスを排気口2より排気して、イオンビームが散乱しにくい圧力まで真空度を高めた後、選択的にボロンとリンのイオンビーム照射をおこない、 $n^-$  高比抵抗層32の表面にボロンビーム照射領域34とリンビーム照射領域35を交互に設ける(図3)。イオンビーム照射時のチャンパー内圧力は上述したように  $10^{-2}$  Pa 以下であるのが適当であるが、本実施の形態では、イオン電荷の中性化を実質的になくすため、特に限定しないが、たとえば  $10^{-6}$  Pa とする。

## 【0034】

また、このとき、リンの注入量とボロンの注入量は等しいことが望ましい。これは、最終的にリンビーム照射領域35が  $n$  ドリフト領域となり、ボロンビーム照射領域34が  $p$  仕切り領域となったときに、両者の空乏層の広がりと同じになるからである。また、リンビーム照射領域35およびボロンビーム照射領域34の幅は等しくすることが望ましい。本実施の形態ではリンビーム照射領域35およびボロンビーム照射領域34の幅はたとえば  $3 \mu\text{m}$  であり、リンおよびボロンの各注入量はたとえば  $3.6 \times 10^{13}$   $\text{cm}^{-2}$  である。

40

## 【0035】

イオンビーム照射後、そのままの状態再びチャンパー3内にソースガスを導入し、再度上述した要領でエピタキシャル成長をおこない、 $n^-$  高抵抗層32を形成する。その後、再び上述した要領でチャンパー3内を減圧し、リンおよびボロンのイオンビーム照射をおこなう。このようにエピタキシャル基板8をチャンパー3内に入れたまま、エピタキシャ

50

ル成長とイオンビーム照射を複数回繰り返す、並列 p n 接合層を所定の厚さにする。特に限定しないが、本実施の形態では、エピタキシャル成長とイオンビーム照射の工程をたとえば 6 回繰り返すおこなう。

#### 【0036】

その後、基板表面に上述した要領で高比抵抗層 32 をエピタキシャル法により約 4 μm 成長させる (図 4)。これにより、エピタキシャル成長によって形成された熱処理前の並列 p n 接合層の厚さは、たとえば 52 μm となる。この後、エピタキシャル基板 8 をチャンパー 3 内から取り出し、熱処理をおこない、注入された不純物を拡散させて並列 p n 接合層の p 仕切り領域 36 と n ドリフト領域 37 を形成する (図 5)。

#### 【0037】

本実施の形態では、1150 で 10 時間の熱処理により、n ドリフト領域 37 と p 仕切り領域 36 とが接続し、各 n ドリフト領域 37 および各 p 仕切り領域 36 の幅は 6 μm となり、並列 p n 接合層としては 12 μm となる。なお、ビーム照射幅や不純物のドーズ量や熱処理時間等を変えることによって、最終的な並列 p n 接合層の n ドリフト領域 37 と p 仕切り領域 36 の条件は変更可能である。

#### 【0038】

上述したように、実施の形態 1 によれば、同一チャンパー 3 内でエピタキシャル成長と、エピタキシャル成長時よりも低い圧力でのイオンビーム照射とを交互に繰り返すおこなうことによって、簡易に量産性よく並列 p n 接合層が製造される。したがって、ばらつきの小さい超接合半導体素子を簡易に量産性よく製造することができる。なお、多数のイオンビーム銃を並列に、かつ等間隔で配置するようにしても、n ドリフト領域 37 と p 仕切り領域 36 の幅を等しくすることができる。この場合には、イオン注入用のレジストマスクを形成する必要がない。つまり、フォトリソグラフィをおこなわずに並列 p n 接合層を形成することができる。

#### 【0039】

実施の形態 2 .

図 6 は実施の形態 2 において用いられる枚葉式のエピタキシャル成長炉の断面模式図である。このエピタキシャル成長炉では、ソースガス導入口 1 およびソースガス排気口 2 を備えたチャンパー 3 に、ボロン照射用イオンビーム銃 4 を複数備えている。リン照射用イオンビーム銃は設けられていない。また、サセプタ 6 を加熱するために、RF コイル 7 がサセプタ 6 の直下に敷設され、エピタキシャル基板 8 はサセプタ 6 の上に設置される。

#### 【0040】

なお、ボロン照射用イオンビーム銃 4 とエピタキシャル基板 8 との間の距離 d と、イオンビームの平均自由行程 との関係や、イオンビーム照射時のチャンパー内圧力などは実施の形態 1 と同じである。したがって、説明を省略する。

#### 【0041】

つぎに、ボロン照射用のイオンビーム銃のみを備えた枚葉式のエピタキシャル成長炉を用いた場合の超接合基板の製造方法について説明する。図 7 ~ 図 9 は、図 6 の枚葉式のエピタキシャル成長炉による、超接合基板の製造工程を順に示す模式図である。

#### 【0042】

まず、チャンパー 3 内において、n 型の低抵抗半導体基板よりなる低抵抗層 31 の上に、不純物濃度が  $3.6 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  程度の n 型半導体層 33 を約 8 μm の厚さで成膜する (図 7)。エピタキシャル成長中のチャンパー内圧力はおおむね 100 ~ 3000 Pa の範囲である。

#### 【0043】

引きつづき、チャンパー 3 内にエピタキシャル基板 8 を入れたまま、チャンパー 3 内を  $10^{-2} \text{ Pa}$  以下、たとえば  $10^{-6} \text{ Pa}$  まで排気して、ボロンのイオンビーム照射により n 型半導体層 33 の表面にボロンビーム照射領域 34 を選択的に設ける (図 8)。本実施の形態では、ボロンビーム照射領域 34 の幅はたとえば 3 μm であり、ボロンの注入量はたとえば  $1.2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$  である。

10

20

30

40

50

## 【0044】

実施の形態1と同様に、エピタキシャル基板8をチャンバー3内に入れたまま、エピタキシャル成長とイオンビーム照射を複数回繰り返す、並列pn接合層を所定の厚さにする。特に限定しないが、本実施の形態では、エピタキシャル成長とイオンビーム照射の工程をたとえば6回繰り返すおこなう。その後、基板表面に、不純物濃度が $3.6 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 程度の低濃度n型半導体層33をエピタキシャル法により約 $4 \mu\text{m}$ 成長させる(図9)。

## 【0045】

この後、エピタキシャル基板8をチャンバー3内から取り出し、熱処理をおこない、注入されたボロンを拡散させて並列pn接合層のp仕切り領域36およびnドリフト領域37を形成する(図5)。nドリフト領域37は、エピタキシャル成長したn型半導体層33である。本実施の形態では、 $1150^\circ\text{C}$ で10時間の熱処理により、 $6 \mu\text{m}$ 幅のnドリフト領域37と $6 \mu\text{m}$ 幅のp仕切り領域36とが接続し、並列pn接合層としては $12 \mu\text{m}$ となる。なお、ビーム照射幅や不純物のドーズ量や熱処理時間等を変えることによって、最終的な並列pn接合層のnドリフト領域37とp仕切り領域36の条件は変更可能である。

10

## 【0046】

上述したように、実施の形態2によれば、実施の形態1と同様に、簡易に量産性よく並列pn接合層が製造されるので、ばらつきの小さい超接合半導体素子を簡易に量産性よく製造することができる。なお、実施の形態2の方法は、p型低抵抗半導体基板上にp型半導体層を形成し、選択的にリンを注入する場合にも適用可能である。この場合には、複数のリン照射用イオンビーム銃を備えた枚葉式のエピタキシャル成長炉を用いることが有効である。

20

## 【0047】

実施の形態3.

図10は実施の形態3において用いられる枚葉式のエピタキシャル成長炉の断面模式図である。このエピタキシャル成長炉では、ソースガス導入口1およびソースガス排気口2を備えたチャンバー3に、ボロン照射用イオンビーム銃4とリン照射用イオンビーム銃5を各1台ずつ備えている。また、サセプタ6を加熱するために、RFコイル7がサセプタ6の直下に敷設され、エピタキシャル基板8はサセプタ6の上に設置される。

30

## 【0048】

なお、イオンビーム銃4, 5とエピタキシャル基板8との間の距離dと、イオンビームの平均自由行程との関係や、イオンビーム照射時のチャンバー内圧力などは実施の形態1と同じである。したがって、説明を省略する。

## 【0049】

図10に示す構成のエピタキシャル成長炉を用いた場合には、ボロン照射用イオンビーム銃4およびリン照射用イオンビーム銃5が各1台ずつしかない。そのため、実施の形態3では、これら1台ずつのイオンビーム銃4, 5を走査することにより、並列pn接合層を形成する。製造方法のその他の点については実施の形態1と同じである。実施の形態3によれば、ボロン照射用とリン照射用のイオンビーム銃4, 5が1台ずつであるため、エピタキシャル成長炉のコストを低く抑えることができる。

40

## 【0050】

実施の形態4.

実施の形態4で使用されるエピタキシャル成長炉は基本的に図10に示す構成と同じである。また、イオンビーム銃4, 5とエピタキシャル基板8との間の距離dと、イオンビームの平均自由行程との関係や、イオンビーム照射時のチャンバー内圧力などは実施の形態1と同じである。したがって、重複する説明を省略する。

## 【0051】

図11~図13は、実施の形態第4にかかる製造方法による超接合基板の製造工程を順に示す模式図である。まず、チャンバー3内において、n型の低抵抗半導体基板よりなる低

50

抵抗層 31 の上に、低濃度 ( $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$  程度) の  $n^+$  高比抵抗層 32 を約  $8 \mu\text{m}$  の厚さで成膜する (図 11)。エピタキシャル成長中のチャンバー内圧力はおおむね  $100 \sim 3000 \text{ Pa}$  の範囲である。

【0052】

引きつづき、チャンバー 3 内にエピタキシャル基板 8 を入れたまま、チャンバー 3 内を  $10^{-2} \text{ Pa}$  以下、たとえば  $10^{-6} \text{ Pa}$  まで排気して、ボロンおよびリンのイオンビーム照射をおこなう。このとき、ピッチが広い並列  $p-n$  接合層を形成する領域に対しては、ビーム径を太くして走査し、一方、ピッチが狭い並列  $p-n$  接合層を形成する領域に対してはビーム径を細くして走査する。

【0053】

このようにすることによって、図 11 に示すように、ピッチが広いボロンビーム照射領域 34 およびリンビーム照射領域 35 と、ピッチが狭いボロンビーム照射領域 38 およびリンビーム照射領域 39 が形成される。本実施の形態では、特に限定しないが、たとえばピッチが広い領域でのビーム銃の走査をビーム径  $3 \mu\text{m}$  でおこない、狭いピッチの領域ではビーム径を  $1.5 \mu\text{m}$  として走査する。

【0054】

実施の形態 1 と同様に、エピタキシャル基板 8 をチャンバー 3 内に入れたまま、エピタキシャル成長とイオンビーム照射を複数回、たとえば 6 回繰り返して、並列  $p-n$  接合層を所定の厚さにする。その後、基板表面に高比抵抗層 32 をエピタキシャル法により約  $4 \mu\text{m}$  成長させる (図 12)。そして、エピタキシャル基板 8 をチャンバー 3 内から取り出し、熱処理をおこない、注入された不純物を拡散させて幅が広い並列  $p-n$  接合層の  $p$  仕切り領域 36 および  $n$  ドリフト領域 37 と、幅が狭い並列  $p-n$  接合層の  $p$  仕切り領域 40 および  $n$  ドリフト領域 41 を形成する (図 13)。

【0055】

実施の形態 4 によれば、狭いピッチの並列  $p-n$  接合層では、最終的な熱処理による相互拡散によって濃度が低くなり、電界が緩和されやすくなるため、耐圧が向上する。したがって、狭いピッチの並列  $p-n$  接合層を耐圧構造部などに配置することが可能となる。なお、エピタキシャル成長炉を、ボロンおよびリンのそれぞれに対してビーム径が太いイオンビーム銃とビーム径が細かいイオンビーム銃とをそれぞれ 1 台以上ずつ備えた構成としても同様の効果が得られる。

【0056】

【発明の効果】

本発明によれば、エピタキシャル成長時のチャンバー内圧力よりも低い圧力でイオンビームが照射されるため、イオンビームの散乱が抑制され、不純物濃度のばらつきの小さい並列  $p-n$  接合層が形成される。したがって、ばらつきの小さい超接合半導体素子を簡易に量産性よく製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施の形態 1 におけるボロンおよびリン照射用の複数のビーム銃を備えた枚葉式のエピタキシャル成長炉の断面模式図である。

【図 2】図 1 の枚葉式のエピタキシャル成長炉により製造される超接合基板の製造段階における構成を示す断面模式図である。

【図 3】図 1 の枚葉式のエピタキシャル成長炉により製造される超接合基板の製造段階における構成を示す断面模式図である。

【図 4】図 1 の枚葉式のエピタキシャル成長炉により製造される超接合基板の製造段階における構成を示す断面模式図である。

【図 5】図 1 の枚葉式のエピタキシャル成長炉により製造される超接合基板の製造段階における構成を示す断面模式図である。

【図 6】本発明の実施の形態 2 における複数のボロン照射用のビーム銃を備えた枚葉式のエピタキシャル成長炉の断面模式図である。

【図 7】図 6 の枚葉式のエピタキシャル成長炉により製造される超接合基板の製造段階に

10

20

30

40

50

おける構成を示す断面模式図である。

【図 8】図 6 の枚葉式のエピタキシャル成長炉により製造される超接合基板の製造段階における構成を示す断面模式図である。

【図 9】図 6 の枚葉式のエピタキシャル成長炉により製造される超接合基板の製造段階における構成を示す断面模式図である。

【図 10】本発明の実施の形態 3 におけるボロン照射用のビーム銃とリン照射用のビーム銃とを各 1 台備えた枚葉式のエピタキシャル成長炉の断面模式図である。

【図 11】本発明の実施の形態 3 にかかる製造方法により製造される超接合基板の製造段階における構成を示す断面模式図である。

【図 12】本発明の実施の形態 3 にかかる製造方法により製造される超接合基板の製造段階における構成を示す断面模式図である。 10

【図 13】本発明の実施の形態 3 にかかる製造方法により製造される超接合基板の製造段階における構成を示す断面模式図である。

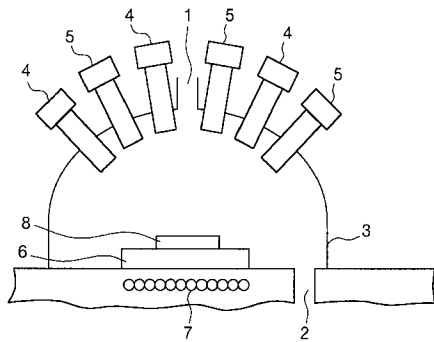
【図 14】耐圧クラス 740 V、1100 V、2300 V、4500 V における耐圧と並列 p n 接合層の濃度との関係を規格化して示す特性図である。

【図 15】最大耐圧の 90% および 95% における許容濃度ばらつきと最大耐圧との関係を示す特性図である。

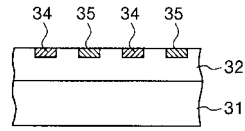
【符号の説明】

- |        |               |    |
|--------|---------------|----|
| 1      | ソースガス導入口      |    |
| 2      | ソースガス排気口      | 20 |
| 3      | チャンバー         |    |
| 4      | ボロン照射用イオンビーム銃 |    |
| 5      | リン照射用イオンビーム銃  |    |
| 8      | エピタキシャル基板     |    |
| 31     | 低抵抗層          |    |
| 32     | 高比抵抗層         |    |
| 33     | n 型半導体層       |    |
| 34, 38 | ボロンビーム照射領域    |    |
| 35, 39 | リンビーム照射領域     |    |
| 36, 40 | p 仕切り領域       | 30 |
| 37, 41 | n ドリフト領域      |    |

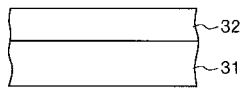
【 図 1 】



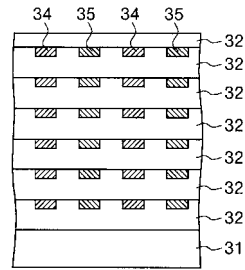
【 図 3 】



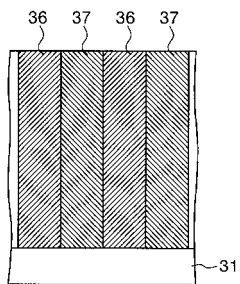
【 図 2 】



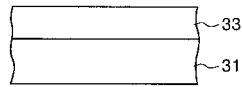
【 図 4 】



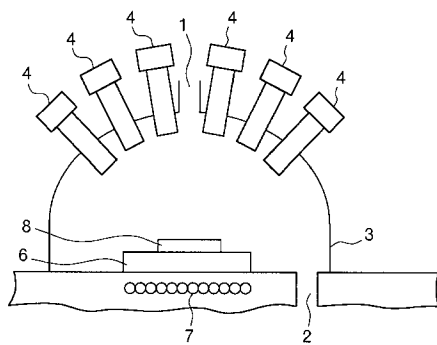
【 図 5 】



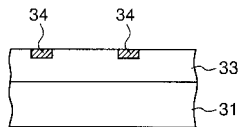
【 図 7 】



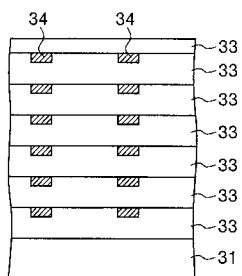
【 図 6 】



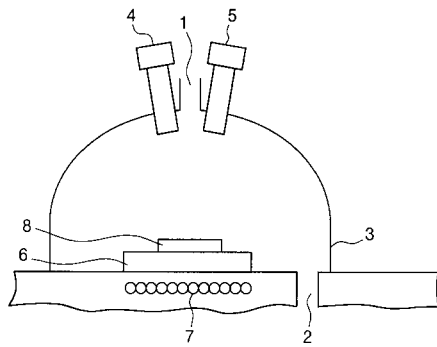
【 図 8 】



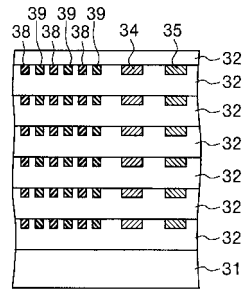
【 図 9 】



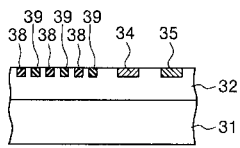
【 図 1 0 】



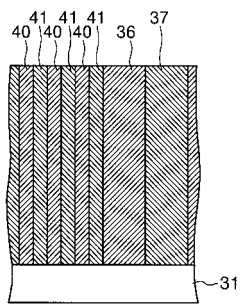
【 図 1 2 】



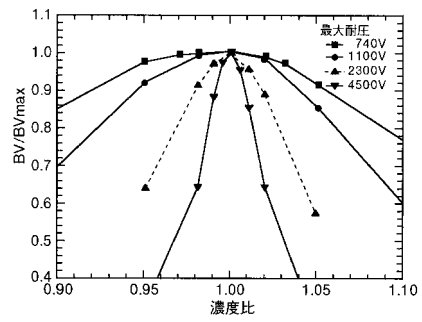
【 図 1 1 】



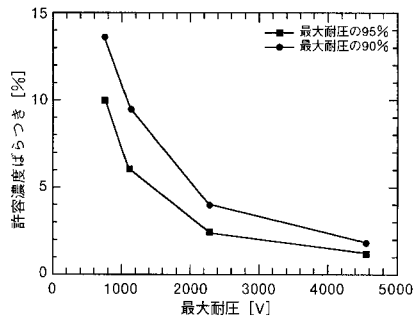
【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

H01L 29/78

H01L 21/265

H01L 21/329

H01L 29/06