

氏 名	しの はら まこと 篠 原 眞
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 甲 第 66 号
学位授与の日付	平成 6 年 7 月 21 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科・専 攻	工芸科学研究科情報・生産科学専攻
学 位 論 文 題 目	クラスティオンビーム法による Si 基板上への GaAs のヘテロエピ タキシャル成長の研究
審 査 委 員	(主査) 教 授 更 家 淳 司 教 授 金 森 仁 志 教 授 橋 邦 英 助教授 山 田 正 良

論 文 内 容 の 要 旨

GaAs は種々の優れた特徴を持つ化合物半導体である。この GaAs を Si 基板上に薄膜状に結晶成長させ、この部分をデバイスに応用できればその工学的価値は大きい。本研究はクラスティオンビーム(ICB)法を用いて、Si 基板に GaAs をヘテロエピタキシャル成長させ、種々の方法で評価し、デバイスへの応用可能な成長層が得られたことを示したものである。

第 1 章では、GaAs / Si の工学的意義と現在主流の成長方法を紹介し、この成長を ICB 法により行う意義と本研究の目的を述べている。

第 2 章では、GaAs を成長させるために設計製作した ICB 装置のハードウェアについて述べている。不純物を少なくするためのイオン源の材質、構造を実験により明かにし、イオンビームを均一にするための構造をシミュレーションと実測より求めている。

第 3 章では、前処理した基板や、成長させた GaAs 薄膜の評価方法について述べている。

第 4 章では、 10^{-5} Pa のバックグラウンド圧力下でエピタキシャル成長を行うため、新たに基板清浄化法として見いだした、AsICB 照射について述べている。この清浄化法は GaAs、Si 両基板に有効であり、従来まで MBE 法、MOCVD 法で使用されていた清浄方法と比較して、(a)超高真空が不要、(b)複雑な化学洗浄が不要、(c)基板温度が低温で可能、(d)清浄化のために特別なハードウェアは不要、などの利点を持つ。また、この AsICB 照射後の Si 表面を同軸形直衝突イオン散乱分光法(CAICISS)によって観察することにより、以下のことを明らかにしている。(a) AsICB 照射により表面清浄化とともに、As 終端も起こっているが、As により終端されていない露出した Si 面も存在する。(c) Si オフ基板の場合には、ダブルドメイン構造ではあるものの一方の領域が広く、終端した As は露出した Si と同位相で存在する。

第 5 章では、Si 基板への成長の前段階として、GaAs 基板上への GaAs の成長を行った結果、表面再配列を伴う、良好な GaAs の成長に成功したことについて述べている。完全な二次元成長が起こっており、AsICB 照射後の表面再配列構造は成膜開始直後も保持され、成膜終了まで変化しなかった。また、イオン化加速は結晶構造的には低温での二次元エピタキシャル成長を可能にした。しかし、 10^{-5} Pa 台のバックグラウンド圧力下での成長であるため、低温成長では不純物の付着率が増加して不純物が増加し、半導体特性の低下をきたした。加えて、イオン化加速をすると、(a)残留ガス成分の構成元素である炭素、酸素の付着係数が大きくなり膜中に取り込まれる、(b)イオン源部位がスパッタリングされて重金属が膜中に取り込まれるため、GaAs の半導体特性が劣化した。そこで、イオン化加速層と中性層を成長させる二層構造成膜法を開発し、不純物の少ない活性層を得た。これにより、従来まで、ICB 法を含め、イオン

を用いて良好な GaAs 結晶成長ができなかった原因が明らかになり、その対策も明らかになった。

第 6 章では、GaAs 基板上での成膜条件を基にして、Si 基板上への GaAs 成長を行い、MBE 法、MOCVD 法と同等のシングルドメインの良好な成長層を得たことについて述べている。成膜開始からのイオン化加速は低温でのエピタキシャル成長に有効である。しかし、三次元成長から二次元成長へ完全に移行させるには、 $1\mu\text{m}$ 近く GaAs を成長させる必要があった。二層構造成膜法の適用により、ホモエピタキシャル成長の時と同様に不純物が少ないだけでなく、イオン化加速層から中性層への貫通転位を減少させることができ、転位の少ない活性層が得られた。

第 7 章では GaAs 成膜後の後処理が、結晶特性にどのように影響するかを調べている。後処理としては、瞬時熱アニール法 (RTA) による結晶性改善と高エネルギーイオン注入 (IBIE) による固相成長を行っている。前者により、光学的特性は向上するが、電気的特性が劣化することについて、不純物の観点から考察している。後者は GaAs / GaAs には効果があるが、GaAs / Si には効果がないことを示している。

第 8 章では、成長させた GaAs を用いてショットキバリアダイオード (SBD) と電界効果型トランジスタ (MESFET) を作製し、その特性を評価している。SBD は、Si 基板の裏側から GaAs の表面まで電流を流すため、深さ方向における GaAs 膜全体の結晶性を評価し、一方 MESFET は、表面にのみ、電流が流れるため、表面付近の GaAs の結晶性を評価している。その結果、MESFET のような、表面多数キャリアデバイスとしての利用には、十分耐えうる結晶性であることが示された。

第 9 章は、本研究で得られた結果についてのまとめである。

論文審査の結果の要旨

GaAs は光デバイスや超高周波素子用半導体として有用である。GaAs を Si 上にヘテロエピタキシャル成長させることができれば、安価になり、機械的強度、熱伝導率が向上するのみでなく、OEIC (optoelectronic IC) などの新しい応用分野が開けることになり、その成功が期待されている。本研究は、格子定数の異なる Si 基板上へのヘテロエピタキシャル成長を容易にするためにイオンを利用したクラスタイオンビーム (ICB) 法に着目し、 10^{-5}Pa 台の通常高真空下での結晶成長に挑戦した。まず、半導体薄膜の製作に適したイオン源を試作し、イオンビームの均一性をシミュレーションと実測で確認した。結晶成長直前の基板の表面清浄化のために、低温での AsICB 照射という新しい方法を成功させ、清浄化された表面構造をくわしく解析して、As 終端が生じていること、Si も露出しているが安定であることを明らかにした。また成長層が半導体として良好な特性を示すように、イオン化加速層と中性層との 2 層構造成膜法を考案した。イオン化加速層は Si 基板へのヘテロエピタキシャル成長を容易にし、中性層は不純物や転位が少なく、半導体として良好な性質を示すことが明らかになった。試作されたショットキバリアダイオードや電界効果トランジスタのデバイス特性もこの点を実証している。イオンを利用した成膜法でこのような良好な半導体特性を得た報告例はまれであり、この点でもこの研究の意義は大きい。学位論文として、新規性、独創性、有用性等の点で高く評価してよい研究と考えられる。

本研究に関する内容は、レフェリー制度のある学術雑誌あるいは国際会議のプロシーディングに 4 報掲載され、そのうち 3 報は申請者が筆頭著者である。