

氏名	あき 秋 やま 山 まさ 正 ひろ 博
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	論工博第2503号
学位授与の日付	平成3年7月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文題目	有機金属気相成長法による Si 基板上への GaAs のヘテロエピタキシャル成長の研究
論文調査委員	(主査) 教授 松波弘之 教授 佐々木昭夫 教授 藤田茂夫

論文内容の要旨

本論文は、有機金属気相成長法(MOVPE: metalorganic vapor phase epitaxy)を用いて半導体 GaAs を異質基板の Si 上に成長させるヘテロエピタキシャル成長法を確立し、成長層の特性を評価して Si 基板上への GaAs の成長機構を明らかにするとともに、GaAs/Si を半導体デバイスに実用する研究をまとめたもので、6章から成っている。

第1章は序論で、GaAs と Si の半導体としての一般的な特徴と Si 基板上への GaAs の成長の意義、MOVPE の概要を述べ、格子定数が4%異なる Si 基板上への GaAs の成長技術の問題点を論じて、本研究の位置付けと目的を明らかにしている。

第2章では、本研究の基礎となる MOVPE として、原料に有機金属の TMA (トリメチルガリウム) と AsH_3 を用いて、GaAs 基板上に不純物を添加しない GaAs を成長させ、成長条件が成長層の特性に及ぼす影響を検討して、高純度の GaAs (77K での移動度: $151,000\text{cm}^2/\text{Vs}$, 電子濃度: $9 \times 10^{13}/\text{cm}^3$) を成長させる条件を確立している。

第3章では、無極性結晶 Ge 基板上への有極性結晶 GaAs の単結晶成長と成長層の特性を述べている。Ge の(100)基板上に単ドメイン(single domain)の GaAs 成長層を得、無極性結晶上への有極性結晶の成長でも単ドメインの成長層が得られることを見だしている。この成長層は GaAs 基板上の成長層とほぼ同等の特性(室温での移動度: $5,000 \sim 6,000\text{cm}^2/\text{Vs}$, 電子濃度: $2 \times 10^{16}/\text{cm}^3$)をもつ。

第4章では、Si基板上への GaAs の成長について述べている。成長前に Si 基板上に AsH_3 を流しながら 900°C 以上に加熱して基板を清浄にし、次に 450°C 以下の低温で 200\AA 以下の膜厚の GaAs (低温バッファ層) を成長させ、これを通常の成長温度まで昇温してアニールを行い、その上に GaAs を成長させる2段階成長法を開発している。これにより、4%の格子定数差がある無極性結晶 Si 上への有極性結晶の成長にもかかわらず、(100)面に傾斜を設けた基板上への単ドメインの GaAs の成長に成功している。室温で $5,200\text{cm}^2/\text{Vs}$ (電子濃度: $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$) の移動度をもつが、約 $10^8/\text{cm}^2$ の転位が残留するので、フォトルミネッセンスの発光強度は GaAs 基板上の成長層と比較すると弱い。Si と GaAs の格子不整合

の緩和機構に関する観察, 単一ドメインの GaAs 成長層が得られる基板の傾斜方向についての実験結果から成長機構を考察している。GaAs 層に残留する高密度の転位を高温アニールによって低減しているが、アニールによるエッチピット密度の低減の限界が GaAs と Si の熱膨張の差に基づく約 $1.4 \times 10^9 \text{ dyn/cm}^2$ の残留引っ張り応力に起因しているとしている。

第 5 章では、GaAs/Si のデバイスへの応用について述べている。半絶縁性 GaAs の成長のために、Cr (C_6H_6)₂ を用いた Cr の添加, および $\text{VO}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$ を用いた V の添加について述べている。Cr 添加の場合には $10^5 \sim 10^6 \Omega\text{cm}$ の、V 添加の場合には、 $10^8 \Omega\text{cm}$ 以上の抵抗率を得ている。

これらを基に、Si 基板上に V を添加した GaAs 半絶縁層を介して成長させた GaAs 層を用いてショットキゲート型電界効果トランジスタを試作し、 $1\mu\text{m}$ のゲート長で約 200mS/mm の相互コンダクタンスを得ている。次いで、リングオシレータを作製し、動作速度が $50 \sim 60\text{ps/gate}$ と、GaAs 基板上に作製したものと同等の特性を得ている。電力用トランジスタの直流特性は GaAs 基板上の素子と同等であるが、高周波特性は素子の配線と基板側との浮遊容量のために、 1GHz での利得が約 10dB となり、GaAs 基板上の素子に比べ 3dB 以上低利得となる。しかし、熱抵抗が GaAs 基板上の素子の $1/2$ 程度ですむ利点を示している。また、発光ダイオードを試作し、 700nm の可視発光で 0.3% 程度の効率を得ている。

第 6 章は結論で、本研究で得られた結果をまとめている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、有機金属気相成長法を用いて高移動度半導体 GaAs を格子定数の異なる Si 基板上に成長させるヘテロエピタキシャル成長法の確立とそれを電子デバイスに応用する研究をまとめたもので、得られた成果の主なものは以下の通りである。

(1) 有機金属の TMG (トリメチルガリウム) と AsH_3 を原料として、GaAs 基板上への GaAs 単結晶の成長法を検討し、高純度 (77K での移動度: $151,000\text{cm}^2/\text{Vs}$, 電子濃度: $9 \times 10^{13}/\text{cm}^3$) の GaAs を成長させる条件を確立した。

(2) 無極性結晶 Ge(100)基板上に有極性結晶 GaAs の成長を試み、単一ドメインの良質単結晶を得た。この成長層は GaAs 基板上の成長層とほぼ同等の特性をもつ。

(3) Si 基板上への GaAs の成長法として、表面を清浄にし、 450°C 以下の低温で 200\AA 以下の膜厚の GaAs (低温バッファ層) を成長させ、これを昇温してアニールした後に、その上に GaAs を成長させる 2 段階成長法を開発した。これにより、格子定数に 4% の不整合があり、無極性結晶 Si 上への有極性結晶 GaAs の成長にもかかわらず、(100)面に傾斜を設けた Si 基板上に単一ドメインをもつ GaAs 単結晶の成長に成功した。室温で $5,200\text{cm}^2/\text{Vs}$ (電子濃度: $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$) と GaAs バルク結晶と同等の移動度をもつ。成長機構を考察するとともに、GaAs 層に高密度で残留する転位の高温アニールによる低減法を検討した。

(4) デバイス応用として、ショットキゲート型電界効果トランジスタを試作し、 $1\mu\text{m}$ のゲート長で約 200mS/mm の相互コンダクタンスと、 $50 \sim 60\text{ps/gate}$ の動作速度を得、GaAs 基板上に作製したものと同等の特性を得た。このほか、電力用トランジスタや可視域の発光ダイオードを試作し、実用性を検討した。

以上要するに、本論文は、申請者の考案した有機金属気相成長における2段階成長法を用いての格子定数差が4%存在するSi基板上へのGaAsの単結晶成長法の確立と、各種の半導体デバイスへの応用に関するもので、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成3年5月28日、論文内容と関連ある事項について試問を行った結果、合格と認めた。