Osaka University Knowledge Archive

Title	高周波・光デバイス性能向上のための化合物半導体薄膜結晶成長技術に関する研究
Author(s)	門岩, 薫
Citation	大阪大学, 2012, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/59161
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

【122】

氏　　名	門　岩　　薫（かど　いわ　かおる）
博士の専攻分野の名称	博　士（工学）
学　位　記　番　号	第　２５５１３　号
学 位 授 与 年 月 日	平成 24 年 3 月 22 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第４条第１項該当 工学研究科マテリアル生産科学専攻
学　位　論　文　名	**高周波・光デバイス性能向上のための化合物半導体薄膜結晶成長技術に関する研究**
論 文 審 査 委 員	（主査） 教　授　藤原　康文 （副査） 教　授　掛下　知行　　教　授　山下　弘巳

論 文 内 容 の 要 旨

現代社会には不可欠な存在となっている光・高周波デバイスの応用分野について具体例を紹介し，各デバイスが抱えている問題点を克服するために薄膜結晶成長技術を駆使したメカニズムの解明と解決策について述べた。

第1章では，化合物半導体の受光・発光・高速動作という3つの特徴を生かしたデバイスを取り巻く環境と特性上の問題点を列挙し，それらに対して具体的な解決策を薄膜成長の観点から研究し，本研究の意義を述べた。

第2章では，宇宙用太陽電池に応用出来るSi基板上GaAsエピタキシャル結晶成長に関する表面凹凸と欠陥密度の抑制に関して述べた。さらに，表面クリーニング後のSi表面を安定化させ，N_2雰囲気での基板運搬を可能にすることで宇宙用太陽電池の量産を実現した。

第3章では，有機金属化学気相堆積(MOCVD)装置の最適化により実現したMulti Quantum Barrier (MQB)と歪量子井戸型活性層を赤色レーザーダイオード(LD)に導入し，レーザー発振閾値の低減と効率向上を実証した。さらに，p型AlGaInPクラッド層にドーピングされたZnの活性化率向上を実現し，赤色LDの温度特性向上を確認した。一方，Znが不活性化される根本原因が原子状水素によるもので，シュミレーションの結果，通常より深いアクセプター準位の形成により不活性化が説明できることを示した。

第4章では，光通信用デバイスの問題点であるInP中のZn拡散に着目し，MOCVD装置にて成長した(1-x)InP-xInGaAs/InPエピタキシャル成長層におけるZn拡散の詳細を調べた。その結果，格子間のZnと格子点位置のZnの間の熱平衡関係からキャリア濃度及び拡散長の拡散係数依存性を説明できることを示した。

第5章では，分布帰還型レーザーダイオード(DFB-LD)構造における等価回路シュミレーションとp-n接合からのエレクトロルミネッセンス(EL)発光観察から，p型InPバッファ層中のZn濃度がリーク電流を抑制する上で最も支配的なパラメータであることを示した。また，p型InPバッファ層とp型InP基板との間にアンドープInPをZn拡散緩衝層として導入し，各層のドーピング量を最適化することにより，2次高調波歪みを改善できることを実証した。

第6章では，衝撃に強く高絶縁基板であるために高周波デバイスへの応用が期待されるSi-on-Sappire(SOS)に対し，Thermal cyclic annealing(TCA)を行うことで，従来に比べ，より広い範囲の面方位でGaAsエピタキシャル成長層の鏡面領域が得られ，表面凹凸も従来の60%以下に減少することを示した。また，フォトルミネッセンス(PL)評価とフォトリフレクタンス(PR)評価の結果，TCAを施したSOS基板を用いることで，GaAsエピタキシャル結晶成長層における光学的，電気的特性の改善が期待できることを示し，高周波数帯でも利得が高いヘテロ接合バイポーラトランジスター(HBT)やモノリシック高周波集積回路(MMIC)デバイスへの適用性を示した。

第7章では，高周波デバイスの低抵抗キャップ層に応用するために，ガスソース分子線エピタキシー(MBE)法によってInGaAsエピタキシャル成長層の検討を行い，従来の固体ソースMBE法では成長温度の上昇とともに表面凹凸が増大するのに対して，比較的高温の領域に表面が平坦になる範囲が出現することを見出した。この違いに対し，AsH_3ガスから分解した原子状水素がサーファクタントとして機能することで，高温度領域でも初期成長段階でのアイランドサイズを抑制するモデルを提案した。最終的にガスソースMBE法によりIn組成，成長温度等の成長条件最適化により低抵抗なn型InGaAsコンタクト層の成長を実現した。

第8章は結論であり，本研究の内容を総括した。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、現代社会には不可欠な存在となっている光・高周波デバイスの応用分野について具体例を紹介するとともに、各デバイスが抱えている問題点を克服するために薄膜結晶成長技術を駆使したメカニズムの解明と解決策について纏めたものであり、以下の知見を得ている。

（１）有機金属化学気相堆積(MOCVD)装置において Si の表面クリーニングと GaAs エピタキシャル成長を 2 つの反応菅に分けて行う MOCVD 装置を導入することと、GaAs エピタキシャル成長の初期成長層に AlAs 層と GaAs 層を複合的に用いることにより、宇宙用太陽電池に応用出来る Si 基板上 GaAs エピタキシャル結晶成長に関する表面凹凸と欠陥密度を抑制できることを見出している。さらに，表面クリーニング後の Si 表面を安定化させ、N_2 雰囲気での基板運搬を可能にすることにより宇宙用太陽電池の量産を実現している。

（２）MOCVD 装置の最適化により実現した Multi Quantum Barrier (MQB)と歪量子井戸型活性層を赤色レーザーダイオード(LD)に導入し、レーザー発振閾値の低減と効率向上を実証している。さらに、p 型 AlGaInP クラッド層にドーピングされた Zn の活性化率向上を実現し、赤色 LD の温度特性向上を確認している。一方、Zn が不活性化される原因が原子状水素によることを明らかにし、シュミレーションを用いて通常より深いアクセプター準位の形成により不活性化が説明できることを示している。

（３）光通信用デバイスの問題点である InP 中の Zn 拡散に着目し、MOCVD 装置にて成長した(1-x)InP-xInGaAs/InP エピタキシャル成長層における Zn 拡散を調べている。その結果、格子間の Zn と格子点位置の Zn の間の熱平衡関係からキャリア濃度及び拡散長の拡散係数依存性を説明できることを示している。

（４）分布帰還型レーザーダイオード(DFB-LD)構造における等価回路シュミレーションと p-n 接合からのエレクトロルミネッセンス(EL)発光観察から、p 型 InP バッファ層中の Zn 濃度がリーク電流を抑制する上で最も支配的なパラメータであることを示している。また，p 型 InP バッファ層と p 型 InP 基板との間に無添加 InP を Zn 拡散緩衝層として導入し、各層のドーピング量を最適化することにより、 2 次高調波歪みを改善できることを実証している。

（５）衝撃に強く、高絶縁性基板であるために高周波デバイスへの応用が期待される Si-on-Sapphire (SOS)に対して Thermal Cyclic Annealing (TCA)を行うことにより、従来に比べ、より広い範囲の面方位で GaAs エピタキシャル成長層の鏡面領域が得られ、表面凹凸も従来の 60%以下に減少することを示している。また、フォトルミネッセンス(PL)評価とフォトリフレクタンス(PR)評価の結果、TCA を施した SOS 基板を用いることで、GaAs エピタキシャル成長層における光学的、電気的特性の改善が期待できることを明らかにし、高周波数帯域でも利得が高いヘテロ接合バイポーラトランジスター(HBT)やモノリシック高周波集積回路(MMIC)デバイスへの適用性を示している。

（６）高周波デバイスの低抵抗キャップ層に応用するために、ガスソース分子線エピタキシー(MBE)法によって InGaAs エピタキシャル成長層の検討を行い、従来の固体ソース MBE 法では成長温度の上昇とともに表面凹凸が増大するのに対して、比較的高温の領域に表面が平坦になる温度範囲が出現することを見出している。この違いに対し、AsH_3 ガスから分解した原子状水素がサーファクタントとして機能することにより高温度領域でも初期成長段階でのアイランドサイズを抑制するモデルを提案している。また、ガスソース MBE 法により In 組成、成長温度等の成長条件最適化により低抵抗な n 型 InGaAs コンタクト層の成長を実現している。

以上のように、本論文は光・高周波デバイスが抱える問題点を、薄膜結晶成長技術を駆使したメカニズムの解明により解決するとともに、実デバイスの性能向上に成功する等、新しい知見を与えていることから、材料工学分野に寄与するところが大きい。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。