The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Development of a Novel Technology of Atomic Layer Epitaxy for III-V Compound Semiconductors and Study on its Growth Mechanism
Author(s)	Sakuma, Yoshiki
Citation	大阪大学, 1997, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3144134
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

【 90 】

氏　　名	佐久間　芳　樹
博士の専攻分野の名称	博　　士（工　学）
学 位 記 番 号	第　13490　号
学位授与年月日	平成 9 年 12 月 19 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学 位 論 文 名	Development of a Novel Technology of Atomic Layer Epitaxy for III-V Compound Semiconductors and Study on its Growth Mechanism （III-V族化合物半導体の新しい原子層エピタキシ技術の開発と結晶成長機構に関する研究）
論 文 審 査 委 員	（主査） 教 授 冷水 佐壽 （副査） 教 授 那須 三郎　教 授 中島 尚男

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は，成長膜厚の自己停止（セルフリミティング）機構を備えた新たなエピタキシャル成長技術であるパルスジェットエピタキシ(PJE)法に関して，開発経緯，成長技術としての基本的な特徴，セルフリミッティング機構に係わる結晶成長のメカニズム，さらにデバイスプロセスへの実用的な応用までを総合的に論じたものである。

まず，PJE法の基礎となる原子層エピタキシ（ALE）の原理を説明したうえで，PJE法の開発経緯と装置構成を述べている。PJE法では，III-V族半導体であるGaAs，GaP，InAs，InPの全ての材料に対して明確なセルフリミッティング成長が実現できることを示し，成長温度域などの条件が従来法よりも拡張できるという技術的な利点を明確にした。さらに，ALE技術としては最高純度の結晶が得られることや，他の成長技術とは異なり極めて優れた成長膜厚分布と選択成長が容易に実現できることなど，PJE法の結晶成長技術としての優位性を明らかにした。

次に，PJE法の大きな特徴であるセルフリミッティング現象に関連した結晶成長メカニズムを議論している。セルフリミティングを引き起こすIII族の表面吸着種をX線光電子分光（XPS）を用いて同定し，「選択吸着」というセルフリミティングに関する新しいモデルの提唱を行った。さらに，III族プリカーサの果たす役割や，結晶最表面でのV族原子の過剰吸着や熱脱離による影響を実験的に明確にし，セルフリミティング現象の理解を深めた。

最後に，PJE法の優れた応用の一例として，InAs/InPあるいはGaAs/GaPのような成長条件の近い2元系材料の組み合わせにおいて，単原子レベルで制御された極めて精密な超格子構造が得られることを示した。特に，GaAs/GaPの単原子層超格子では，混晶とは異なる新しい物性が得られることを明らかにした。さらに，PJE法の特徴である優れた膜厚制御性，選択成長，高濃度ドーピング，低温成長などの要素技術を利用して，GaAsへの低抵抗オーミック層の形成やInGaAs/InP系のヘテロ接合バイポーラトランジスタ（HBT）の試作を行い，特にHBTでは優れたデバイス特性を得た。また，PJE法とMOCVD法の整合性の良さを実証するとともに，PJE法がデバイス作製技術として極めて有用であることを明らかにした。

論文審査の結果の要旨

本論文は，単原子層オーダの膜厚制御性を備えたIII-V族化合物半導体のエピタキシャル結晶成長技術として，成長膜厚の自己停止（セルフリミティング）機構を持った原子層エピタキシャル結晶成長技術（ALE法）を減圧MOCVD法に適用することにより世界で初めて開発された「パルスジェットエピタキシ（PJE）法」に関するものである。このPJE法によりこれまでALE法で作製された最も高品質の結晶が作製されている（CaAsでバックグンドのキャリア濃度$n=2\times10^{14}\ cm^{-3}$）。また，セルフリミッティング機構に係わる結晶成長メカニズムが解明されており，学術的な見地からも重要な新しい知見が得られている。

第1章では，研究の背景とALE法の基本原理を述べた後，これまでに報告されてきたALE法の技術的問題点を明らかにしている。第2章および第3章では，PJE法の開発経緯と装置構成を説明し，GaAs，GaP，InAs，InPいずれのIII-V族化合物半導体材料においても，明確なセルフリミッティング機構を持つ結晶成長が得られることを示している。特に，PJE法ではGaAsのセルフリミッティング機構が460°Cから550°Cというこれまでになく広い温度範囲で観測されており，PJE法のALE結晶成長技術としての優位性を明らかにしている。また，2インチGaAsウエハ上での成長膜厚の分布が基板回転なしでも1.5%以下の小さな値に抑えられることなどPJE法の実用的な長所を示している。第4章から第6章では，PJE法による結晶成長の特徴であるセルフリミッティング現象に関した結晶成長メカニズムを実験的に解明している。まず，セルフリミティングを引き起こすIII族の表面吸着種をXPSを用いた表面分析により調べ，III族供給原料が結晶表面上では完全分解したIII族原子になっていることを初めて明らかにした。そして，「選択吸着」というセルフリミティング現象を発現するための新しい結晶成長モデルを提唱し，セルフリミティング現象におよぼす，III族プリカーサの役割や，結晶最表面でのV族原子の過剰吸着や熱脱離の影響を明らかにし，セルフリミティング現象の理解を深めている。第7章では，PJE法によるヘテロ成長について述べている。InAs/InPあるいはGaAs/GaPのようなALE成長条件の近い2元系材料の組み合わせでは，単原子レベルで制御された極めて精密な超格子構造が作製されている。GaAs/GaPの単原子層超格子では，GaAsP混晶とは異なる新しい物性が得られている。第8章では，PJE法を用いたデバイス作製プロセスが述べられている。PJE法の，優れた膜厚制御性，選択成長，高濃度ドーピング，低温成長などの特長を利用して，GaAsへの低抵抗オーミック層の形成やInGaAs/InP HBTの試作が行われている。HBTでは，当時のトップクラスの素子特性（$f_T=161GHz$，$f_{max}=167GHz$）が得られており，PJE法がデバイス作製技術として利用できることを実証している。

新しい原子層エピタキシャル結晶成長（ALE）法であるパルスジェットエピタキシ（PJE）法を開発して，ALE法の実用性と汎用性を高めるとともに，ALE法の特徴である結晶成長の自己停止（セルフリミティング）機構に関して多くの新たなメカニズムを解明した本論文は，III-V族化合物半導体の結晶成長技術の発展に大きく貢献するものであり，工学博士の学位論文として価値あるものと認める。