

重力の効果を用いた半導体結晶の液相成長に関する研究

メタデータ	言語: ja 出版者: 静岡大学大学院電子科学研究科 公開日: 2008-03-31 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 金井, 宏 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10297/1250

氏名・(本籍)	金 井 宏 (新潟県)
学位の種類	博 士 (工 学)
学位記番号	工博甲第 137 号
学位授与の日付	平成 8 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻の名称	電子科学研究科 電子応用工学
学位論文題目	重力の効果を用いた半導体結晶の液相成長に関する研究

論文審査委員	(委員長)		
	教授	栞 原 弘	教授 熊 川 征 司
	教授	助 川 徳 三	助教授 岡 野 泰 則
	助教授	田 中 昭	

論 文 内 容 の 要 旨

液相成長は低温成長が可能であり、転位、欠陥が少なく、化学量論的組成に近い結晶を生成することができるため、発光ダイオードやレーザーダイオード等様々なデバイスの作製プロセスに応用されている。最近、太陽電池の活性層の作製プロセスとして、電気的特性の良い結晶が得られる液相成長法が再び注目を集めている。液相から成長するエピタキシャル層の成長速度を予測するために、数多くのモデルが考案されているが、それらの多くは成長速度が溶質原子の拡散により律速されているという仮定に基づいており、溶液中の自然対流の効果にはほとんど注意が払われていなかった。しかし、地球の重力場のための自然対流が溶液からの結晶成長に影響することは、実験的によく知られた現象である。最近、宇宙空間(微小重力下)での実験が可能になると共に、結晶成長や結晶の溶解に及ぼす対流の影響について活発に研究が行われている。

助川等によって提案されたyo-yo溶質供給法は、この重力の効果をも溶質輸送の駆動力として積極的に利用した新しい液相成長法である。本方法は、まずSiについて開発され、その後均一組成の厚いGeSi混晶やⅢ-V化合物半導体バルク混晶の基盤技術の一つとして発展をみている。Siにおいては、高純度層を必要とする電子デバイスの作成プロセスとして用いられるようになっており実用段階に入ったといえる。溶液内での溶質輸送に対する重力効果を知ることは、本方法による成長を制御する上で非常に重要なことである。本論文では、溶液内での溶質輸送に対する重力効果のメカニズムの解明を目的として研究を行った。

yo-yo溶質供給法の最適条件を見つけるために、Inを溶媒として温度サイクルの温度幅、基板間隔を

変えて実験を行ったところ、In溶媒からSiを効率良く成長させるためには基板間隔が4mm以上でなければならないことがわかった。

さらに詳細な検討を行なうために水平に位置した二枚の基板間に溶液を挿入した系で徐冷による成長実験、昇温による溶解の実験を行い、上下の基板の違いについて調べたところ、溶液中の溶質の移動に対する重力の効果は、基板間隔により敏感に変化することが明らかになった。

徐冷速度を変えて成長実験を行った結果、徐冷速度によって溶液中の溶質の移動に現れる重力の影響は異なることもわかった。

溶質と溶媒の密度差が非常に小さいGaAsにyo-yo法の適用を考えて、基礎的な実験を行った。GaAs系は、溶質と溶媒の密度が非常に接近しているにもかかわらず、重力効果が顕著に現れることがわかった。そして、Ga-As系では、種子結晶基板を上、原料結晶基板を下に配置することにより、yo-yo溶質供給法による成長が可能であることが確かめられた。つづいて、GaSb系で、徐冷法による成長実験、昇温による溶解の実験を行った。Ga-Sb系の場合には溶媒であるGaよりもGaSbの密度は小さいが、Sbの密度は大きく、非常に興味深い成長系である。実験の結果、溶解は主に下側基板上で起こり、成長は上側基板上に起こることがわかった。これらの結果から、Ga-Sb系においては、溶質は飽和溶液中にGaSbの形で存在し、このGaSbの輸送と表面反応により、成長が律速されると考えられる。

Sn溶媒を用いた徐冷法によるSiの成長実験により得られた結果を説明するために、二次元のモデルを考案して数値解析を行い、成長速度(厚さ)、成長後の表面モルフォロジー、溶液内の溶質濃度分布、流れ場等の情報を得た。数値解析で得られた結果は実験データと非常によく一致を示し、モデルの妥当性が得られた。

近年、微小重力下での結晶成長に対する研究が活発に行われている。積極的に重力の効果を利用するyo-yo溶質供給法を中心とした実験で得られたデータや、成長に与える重力効果の検討により得られる結果は、微小重力下での実験に対して重要な情報を与えると考えられる。本研究で得られた基礎データは、地球上の液相成長のみならず宇宙空間の微小重力場における材料の作製に対しても役立つものと期待される。

論文審査結果の要旨

液相成長法は、熱平衡に近い状態から成長できるので高品質の結晶が得られる、成長速度が大きく厚い層の成長に適する、不純物の添加が容易であるなどの特徴を有する。とくに最近、重力および溶質と溶媒との密度差に基づく対流を溶質輸送の駆動力に利用したyo-yo溶質供給法と称する新しい液相成長法が提案され、厚い結晶層の成長法として注目されている。しかし、溶質輸送の機構には不明な点が多く、その解明が緊急課題である。

本論文はこの観点からなされた研究を纏めたもので8章より成る。第1章では本研究の背景と目的を記述している。

第2章では、yo-yo溶質供給法における溶質輸送についての知見を得るために、密度がSiの約2.5倍のInを溶媒に用い、下側に配置するSi原料結晶板と上側に配置するSi種子結晶基板との間隔を変えて成長実験を行った。その結果、上下結晶板の間隔がある値(本実験では4mm)以上の場合に溶質輸送が効率的に行われることを見出した。

第3章では、上下結晶板の間隔、および徐冷速度が溶質の輸送効率にどのように関与するかを検討するために、密度がInと同程度のSnを溶媒として、yo-yo溶質供給法の素過程である徐冷法によるSiの成長実験を行った。本実験から、溶液内での溶質輸送に対して、両結晶板の間隔が広い程、また徐冷速度が遅い程、種子結晶基板への成長量が多いことが分かった。

第4章では、溶媒と溶質の間の密度の違いが溶液内の自然対流の発生に与える影響を明らかにするために、InやSnと比べて密度が僅かに小さなGaを溶媒として、徐冷法によるSiの成長実験を行い、溶質と溶媒との密度差が重力効果に敏感に影響することを見出した。

第5章では、Snを溶媒とした徐冷法によるSiの成長実験について、2次元モデルを用いた数値解析を行った。その解析結果は実験結果とよい一致を示した。

第6章では、Ⅲ-V族化合物半導体のGaAs成長にyo-yo溶質供給法の適用を考えて、基礎的な実験を行った。融点以上でのGaAsの密度がGaの密度より大きいにも関わらず、この実験結果は、融点以下の温度における溶液中でのGaAsの密度がGaの密度より小さいことを示した。

第7章では、Ga-Sb系について、徐冷法による成長実験、および昇温による溶解の実験を行った。融点以上でのGaSbの密度およびSbの密度がGaの密度より大きいにも関わらず、本実験からGaSbの融点よりも低い温度では溶液中におけるGaSb密度がGaの密度より小さくなることが判明した。第6章および本章の実験結果と、これら化合物結晶の密度がGa溶媒の密度より小さいことを併せて考えた結果、溶液中にこれら化合物が分子状の形態で溶解しているものと推測した。第8章は結論である。

以上を要約すると、本研究は電子工学の発展に大きく貢献するものである。審査の結果、本論文は博士(工学)の学位に相当する十分な内容を有するものと認定する。