

Title	エリプソメトリを用いたMBE法による半導体薄膜成長中の評価と応用に関する研究
Author(s)	吉岡, 善文
Citation	
Issue Date	
Text Version	none
URL	http://hdl.handle.net/11094/42326
DOI	
rights	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/repo/ouka/all/>

氏 名	吉 岡 善 文
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 6 2 8 7 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 13 年 3 月 23 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科物質・生命工学専攻
学 位 論 文 名	エリプソメトリを用いた MBE 法による半導体薄膜成長中の評価と応用に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 梅 野 正 隆 (副査) 教 授 横 山 正 明 教 授 高 井 義 造

論 文 内 容 の 要 旨

半導体薄膜の特性は電子デバイスや光デバイスの性能を決める大きな要因となることから、薄膜作製の過程において半導体表面で起こる現象について解明することは重要な研究課題である。エリプソメトリは薄膜評価の有力な手法であるが、MBE 法においては RHEED 装置のように一般には普及しておらず、解析手法の確立が望まれている。このような観点から、本論文は Si、Ge およびレーザー用化合物半導体結晶の MBE エピタキシャル薄膜作製に、エリプソメトリを用いたその場観察による膜厚モニターの手法を確立するとともに、薄膜の成長モードの解析を行っている。また、これらの応用として得られた半導体レーザーを励起光源とした固体ブルーレーザー開発の研究も行い、それらを本文 5 章にまとめている。

第 1 章では本研究の背景について概説し、研究の目的と意義を明らかにしている。

第 2 章では Si ホモエピタキシャル成長に初めて in-situ エリプソメトリを応用し、その有用性を示している。まず、試作した回転検光子型エリプソメーターを装着した MBE 装置について記述し、次にこれを Si (111) 基板上の Si 薄膜成長および Ge/Si ヘテロ薄膜成長中の屈折率、減衰係数ならびに膜厚のその場測定に適用している。その結果、いずれの場合においてもその成長モードに関わらず光学定数および膜厚の解析が可能であることを示し、RHEED 法と相補的な解析手段であることを明らかにしている。

第 3 章では半導体超格子の特性について述べるとともに、AlGaInP 系半導体レーザー結晶の MBE 成長中にエリプソメトリを用いたその場測定を行った内容を記述している。測定値をその場で解析することによって、薄膜の光学定数および膜厚のモニターが可能であること、また、測定から得られる光学定数により、混晶物質の元素組成比をモニターすることのできる有力な手段であることを明らかにしている。さらに、半導体レーザーの活性層材料となる $\text{Ga}_{0.52}\text{In}_{0.48}\text{P}/(\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6})_{0.52}\text{In}_{0.48}\text{P}$ 超格子構造の成長中にエリプソメトリ測定を行い、 $\text{Ga}_{0.52}\text{In}_{0.48}\text{P}$ 井戸層、 $(\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6})_{0.52}\text{In}_{0.48}\text{P}$ 障壁層のそれぞれの光学定数、膜厚の解析値の有効性を示している。

第 4 章ではこの研究によって得られた半導体レーザーを励起光源とした固体レーザー波長変換によるブルー光発生に関する研究と、実用レベルを目的とした出力 15mW および 30mW のブルーレーザー発振装置の試作と評価を行った内容について記述している。

第 5 章では本研究の内容を要約し、得られた新しい知見の総括を行うとともに、今後の課題、展望について言及している。

論文審査の結果の要旨

MBE法は多くの半導体デバイスの作成に優れた薄膜作成技術として利用されている。その主な理由の一つは、RHEED法により膜厚の原子レベル制御が可能なことである。エリプソメトリは光学定数や界面情報がin-situで得られるというRHEEDにない特徴を持ちながら、MBEの成長モニターとしての利用はほとんどなされていない。

このような背景の下、本論文ではSi、Geおよび半導体レーザー結晶のMBE法によるエピタキシャル薄膜作製中に、エリプソメトリによるその場観察を行い、薄膜の成長挙動をモニターし、その有用性を明らかにしている。さらに半導体レーザーを励起光源とした固体ブルーレーザーの研究を行い、その成果を基に新しいレーザー装置を開発している。得られた結果を要約すると以下の通りである。

- (1) Si/Si (111) ホモエピタキシャル MBE 成長においてエリプソメトリにより膜厚モニターが可能なこと、さらに RHEED 強度振動が生じないステップフロー成長においてもエリプソメトリ測定が有効であることを明らかにしている。
- (2) Ge/Si (111) ヘテロ成長中のエリプソメトリ測定を RHEED ならびに AFM による観察と対比させることにより、in-situ エリプソメトリ測定では、Ge の成長モードに関わらず光学定数や膜厚が測定できることを示している。
- (3) AlGaInP 系半導体結晶の MBE 成長中にエリプソメトリによるその場観測を行い、薄膜の光学定数および膜厚のモニターが可能であること、また得られる光学定数は混晶組成をモニターする有力な因子であることを明らかにしている。
- (4) 半導体レーザーの活性層材料となる $\text{Ga}_{0.52}\text{In}_{0.48}\text{P}/(\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6})_{0.52}\text{In}_{0.48}\text{P}$ 超格子構造の成長中にエリプソメトリ測定を行い、 $\text{Ga}_{0.52}\text{In}_{0.48}\text{P}$ 井戸層、 $(\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6})_{0.52}\text{In}_{0.48}\text{P}$ 障壁層のそれぞれの光学定数、膜厚の解析を行い、その有用性を明らかにしている。
- (5) $\text{Ga}_{0.52}\text{In}_{0.48}\text{P}/\text{GaAs}$ MBE 成長中の表面粗さについて検討し、エリプソメトリ測定によって表面粗さが定量的に評価できることを示している。
- (6) ブルー光発生の基本波となる、半導体レーザー励起 Nd:YAG946nm の発振実験を行い、1W の励起入力に対して 130mW のレーザー出力を得、それを KNbO_3 結晶を用いた SHG ブルー光発生に適用し、出力が 32mW で横モードがほぼ円形のブルー光発生に成功している。

以上のように、本論文は in-situ エリプソメトリを用いて半導体結晶の MBE 成長をモニターする手法を開発し、RHEED 法と比較した場合のエリプソメトリ測定の有効性を示している。また半導体レーザー薄膜の MBE 成長中に in-situ エリプソメトリ測定を行い、混晶物質の元素組成比のモニターとして有力な手段であることを明らかにするとともに、超格子構造成長中の薄膜状態のモニターとしても有力な手法であることを示している。さらに、これらに応用した半導体レーザーを励起光源とした固体レーザーの波長変換によるブルー光発生の研究において、出力 15nW および 30mW のブルーレーザーの開発に成功している。このように、本論文は応用物理学、特に結晶工学の分野に貢献するところが大きく、博士論文として価値のあるものと認める。