

氏名(本籍)	いっぼうし たか 一法師 隆志 (大分県)
学位の種類	工学博士
学位記番号	博甲第548号
学位授与年月日	昭和63年3月25日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
審査研究科	工学研究科
学位論文題目	強磁場効果及びRBSを用いた赤外センサー用半導体の特性評価
主査	筑波大学教授 工学博士 升田公三
副査	筑波大学教授 理学博士 作道恒太郎
副査	筑波大学教授 理学博士 小松原武美
副査	筑波大学教授 工学博士 川辺光央
副査	筑波大学助教授 工学博士 滝田宏樹

論文の要旨

本論文は、赤外センサー用半導体として重要な $Hg_{1-x}Cd_xTe$ について、新しい実験方法を用いて、キャリア再結合の素過程を明らかにすると共に、Hg原子の原子的挙動についても明らかにしたものである。半導体光センサーにおいて、キャリア寿命は、基本的に重要なパラメータであるが、 $Hg_{1-x}Cd_xTe$ においては、その再結合の素過程について従来不明確なままであった。半導体におけるキャリアの非輻射再結合過程として、バンド間オージェ過程とショックレイ・リード過程が考えられるが、特に $Hg_{1-x}Cd_xTe$ の様な微小ギャップ半導体では、バンド間オージェ過程が重要となり、ショックレイ・リード過程との競合関係が問題となる。本研究では、強磁場効果を用いて、これらのキャリア再結合過程を高電場下の抵抗の磁気量子振動として観測するという新手法により、 $Hg_{1-x}Cd_xTe$ における競合関係を直接的に議論し、明らかにした。また、 $Hg_{1-x}Cd_xTe$ において、結晶からのHgの離脱等は、素子作製上重要な問題となっているため、表面の保護膜の開発及び結晶の熱的安定性の評価等が、重要な研究となっている。

特に、陽極酸化膜及び陽極硫化膜が保護膜として有望視されているが、その膜中のHg量が保護膜としての性能を左右すると考えられているにも拘らず、膜の組成については従来不明確であった。本研究では、高速重イオンを用いたRBSにより、これまで不明確であった膜中のHg量の評価並びに、熱処理に伴う膜中及び基板結晶中のHg原子の挙動に関して明らかにしている。

第1章は序文であり、本研究の位置付け並びに本論文の構成について述べられている。

第2章では、強磁場効果を用いた特性評価法の物理的背景となる、 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ のバンド構造及び微小ギャップ半導体中のキャリア再結合過程について概説しており、更に本研究で初めて観測されたショックレイ・リード過程による磁気量子振動とバンド間オージェ過程による磁気量子振動の発現機構について述べられている。

第3章では、高電場下における磁気量子振動の高感度測定法について、述べられている。また、試料の $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ の特性について概説してある。

第4章では、本研究で初めて観測された非輻射再結合過程による2種類の磁気量子振動の測定結果が示され、これらが $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ の有効な特性評価法となることが述べられている。本研究で、ショックレイ・リード過程もバンド間オージェ過程と同様に磁気量子振動として観測できることが見出され、これらの磁気量子振動を4.2k~100kの広い温度領域に亘って観測することに初めて成功している。また、これらの磁気量子振動のピーク位置の温度依存性が互いに逆であることから、両者を明確に区別することが可能であり、このことからバンド間オージェ過程とショックレイ・リード過程のどちらがどのような温度領域で支配的な再結合過程であるかを議論できることを示している。更に、この測定を特性の種々異なる試料に対して行い、観測された2種類の磁気量子振動の競合的な振舞いを、試料の結晶性と対応させて議論し従来不明確であった $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ のキャリア再結合素過程の同定を行うことができた。このことから、本研究で用いた測定方法が、 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ の特性評価法として有効であることが述べられている。

第5章では、高速重イオンを用いたRBSにより得られた、 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 陽極酸化膜及び陽極硫化膜の組成及び熱的安定性に関する知見について述べられている。本研究では、30~40MeV- O^{5+} という高速重イオンを用いることにより、 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 陽極酸化膜及び陽極硫化膜中のHg量を精度良く評価することに成功しており、また熱処理に伴う膜中及び表面から数 μm に亘る広い領域での基板結晶中のHgの挙動について知見を得ている。従来の報告では、陽極酸化膜及び陽極硫化膜中にHgは殆ど含まれていないと結論されていたが、本研究により、膜中に多量のHgが含まれていることが明らかとなり、また熱処理を施した試料の観測結果から、これら膜中のHgが、保護膜としての性能を左右する重要な要因であることが示されている。

第6章では、本研究で得られた結論を示している。

以上のように、本研究では、強磁場効果を用いることにより、これまで不明確であったバンド間オージェ過程とショックレイ・リード過程との競合関係を磁気量子振動のピーク位置の温度依存性の違いという明確な形で議論することに成功している。この測定方法は $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ の結晶性評価のみならず、デバイスの評価法としても応用可能と期待されるものである。また、30~40MeV- O^{5+} という高速重イオンを用いたRBSにより $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ の保護膜として有望視されている陽極酸化膜及び陽極硫化膜の組成評価を行い、これらの膜及び基板結晶の熱的安定性に関して重要な知見を得ることに成功している。

審 査 の 要 旨

本研究は、いわゆる微小ギャップⅡ－Ⅵ族半導体混晶系で、現在赤外センサー用の実用材料と目されている $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ について、重要でありながら、従来は適当な測定手法が見つからず不明確であった点について、まったく新しい実験手法を用いて、その特性を明らかにしたものである。即ち、まず、キャリア再結合の素過程に関して、強磁場効果を用いて、高電場下の抵抗の磁気量子振動を観測するという新手法により、非輻射再結合過程であるバンド間オーグジュ過程とショックレイ・リード過程の競合関係を明らかにすることができることを見出し、実際特性の異なる試料に適用し、試料の特性評価を行うことに成功している。また、高電場抵抗のみならず、強磁場下の光伝導度測定法によっても評価が可能なことを示しており、これらの方法は、赤外センサーデバイスの特性評価にも応用できることを意味している。従来、非輻射再結合過程は、測定手法が乏しく明確な議論に耐えるデータが得られなかっただけに本研究の成果は、画期的なものであると評価できる。

また、Hg原子の原子的挙動の研究は、この混晶半導体の応用上不可欠の課題であるが、本研究では、高速重イオンを用いたRBSという新しい手法を適用し、これまで不明確であった陽極酸化膜及び硫化膜等の保護膜としての機能と関連づけて、Hg原子の挙動を明らかにしている。特に重い原子からなる $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 結晶中でHgの挙動を観測するのに従来の α 粒子によるRBSに代わって、重イオンの O^{5+} イオンを用いて始めて成功した点が評価される。

よって、著者は工学博士の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。