

氏名・(本籍)	木下治久 (愛知県)
学位の種類	工学博士
学位記番号	工博甲第 16 号
学位授与の日付	昭和 58 年 3 月 26 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当 電子科学研究科 電子材料科学専攻
学位論文題目	<b>Optical and Electrical Properties of PbTe-Pb<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Te Superlattices Prepared by a Hot Wall Technique</b> (ホットウォール法成長 PbTe-PbSnTe 超格子の光学及び電気特性の研究)
論文審査委員	(委員長) 山田 祥二 教授 藤安 洋 教授 林 敏也 教授 島岡 五朗 教授 助川 徳三 教授

## 論文内容の要旨

半導体超格子はコンピュータ・のスイッチング速度を超高速化する為に 1970年, L. Esaki と R. Tsu によって初めて提案された。彼らの提案した半導体超格子は数~数百 Å の厚さの 2 種類の交互層より構成されたものである。これらの半導体超格子の伝導帯と価電子帯にはバンド幅のかなり狭いミニバンドがいくつか形成される。その後, GaAs-Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As 超格子は主として IBM の Esaki グループと Bell Laboratory のグループによって製作され, その量子効果に関する光学測定が行なわれた。今までに研究された半導体超格子の種類はかなり多く, この他に InAs-GaSb, Ge-Si, Ge-GaAs, InSb-PbTe, InSb-CdTe, PbTe-CdTe, CdTe-HgTe, InAsSbP-InAs そして InAs-AlSb-GaSb などがある。又その製作方法としては, 分子線エピタキシー (MBE) 法を主として, 液相エピタキシー (LPE) 法, Metalorganic (MO) -CVD 法そしてレーザー蒸着法などがある。本研究は超格子としての物質 (PbSnTe 系) および製作方法 (ホットウォールエピタキシー法—HWE 法) において全く新しい試みである。

Pb<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Teは伝導と価電子帯の極値をL点にもつ (many valley) 直接遷移型のIV—VI族化合物ナローギャップ半導体である。結晶構造はNaCl型をしており, イオン性結合が強く, 原子間の結合が共有結合よりいくらか弱い為, 構造相転移をおこしやすく ( $x \geq 0.35$ ), 強誘電体でもある。又, 格子欠陥が生じやすく, それがドナー又はアクセプターとなって低キャリア密度のものは製作し難い。又 HWE 法は既に1960年代には利用されていたが, A. Lopez-Otero により PbTe 及び多

くのIV—VI族化合物半導体の製作に関して適用され、それらの物性の解析の結果低キャリア密度の薄膜が得られる事がわかりこの方法が確立された。

超格子の製作においては、PbTe 蒸着用と  $\text{Pb}_{0.8}\text{Sn}_{0.2}\text{Te}$  蒸着用の2台のHWE蒸着装置を真空装置 ( $\approx 1 \times 10^{-6}$  Torr) 内に置き、それらの上端にセットした  $250^\circ\text{C}$  に加熱した  $\text{BaF}_2$  基板を左右に動かし交互層を成長させた。得られた  $\text{PbTe-Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$  超格子の深さ方向の原子組成分析は Sputter-Auger 分析より得られた。又意図的にアニーリングし拡散させた超格子を同様の手法で解析する事により、初めて  $300^\circ\text{C}$  での Pb と Sn の拡散定数を決定できた。これらの解析結果を総合的に評価するとかなり良質の超格子が製作できた事がわかった。

これらの  $\text{PbTe}$  ( $a\text{\AA}$  の厚さ) —  $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$  ( $b\text{\AA}$  の厚さ) 超格子 ( $70 \leq a \leq 500$ ,  $30 \leq b \leq 300$ ) の光学吸収特性を測定すると、超格子内にできている伝導体と価電子帯における量子化された準位間での電子の光学遷移による光吸収を測定することができた。実験結果はエネルギーバンドの non-parabolicity とか many valley (量子化される電子、正孔の有効質量は重いものと軽いものの2種類) を考慮した Kronig-Penney 法による計算結果と良く一致した。すなわち77Kで測定した光学基礎吸収端は軽い正孔と電子による  $n = 1$  の準位間での電子の光学遷移による光吸収準位として説明できた。又150Kでの測定より得られた複雑な吸収スペクトルは超格子内に形成されるあらゆる準位間での許された電子の光学遷移による吸収である事がわかった。これらの結果、本研究において仮定した2種類の半導体のヘテロ接合における電子親和力の差  $\Delta E_c$  及び  $\Delta E_v$  が適切である事がわかった。又4種類の超格子からなる薄膜を製作し光学測定する事により新しい超格子の応用を提案した。

これらの超格子の電気伝導に関しては、77K及び14K  $\text{gauss}$  以下での磁気抵抗効果、2~4.2K及び80K  $\text{gauss}$  以下での電流磁気効果 (Shubnikov-de Haas振動及び  $\omega_c\tau \sim 1$  における磁気抵抗の異常なふくらみなど) 及びこれらの磁場方位依存性から2次元伝導現象を観測した。

同様の蒸着法でpタイプとnタイプの  $\text{PbTe}$  交互層よりなる (p/n)  $\text{PbTe}$  多層膜(超格子構造)を製作し、それらのホール効果を測定した結果  $5 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$  付近の低キャリア密度薄膜を製作可能である事がわかった。又それらは高い光伝導効果を示し、新しいタイプの赤外線検出素子として応用できると考えられる。

これらの研究成果は、物性物理学及び電子工学において新しい分野を提供するであろう。