

氏名・(本籍)	いし だ あき ひろ 石 田 明 広 (愛知県)
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	工博甲第 26 号
学位授与の日付	昭 和 61 年 2 月 21 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>PbSnTeSe 系及び PbEuTeSe 系超格子の構造 とレーザ素子への応用に関する研究</b>
論文審査委員	(委員長) 今 井 哲 二 教 授 教 授 藤 安 洋 教 授 野 上 稔 教 授 山 田 祥 二 教 授 助 川 徳 三 教 授 熊 川 征 司

## 論文内容の要旨

PbTe<sub>1-y</sub>Se<sub>y</sub>-Pb<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Te 超格子と PbTe-EuTe 短周期超格子をホットウォール法を用いて作製し、X線回析による超格子構造の評価及び、サイクロトロン共鳴、光学吸収、Hall 効果測定による超格子のバンド構造に関する研究を行なった。さらに、これらの超格子のレーザ応用への研究も行ない、レーザ発振を確認した。

まず、3種類の PbTe<sub>1-y</sub>Se<sub>y</sub>-Pb<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Te ( $x=0.24$ ,  $y=0.00, 0.10, 0.18$ ) 超格子 (周期  $D=400\text{\AA}$ , 層数  $M=90$ ) を、BaF<sub>2</sub> (1 1 1) 基板に、基板温度 250°C で作製し、超格子中の格子歪と、成長中の構成原子の相互拡散を、X線回折パターンに現われるサテライト構造を解析することにより評価した。PbTe-Pb<sub>0.76</sub>Sn<sub>0.24</sub>Te 超格子では、Pb と Sn の相互拡散による格子歪が減少し、他の超格子では格子歪が増加していること、成長中の Pb と Sn の相互拡散定数は、250°C の成長温度から予想される値より 3 桁程度大きくなっていることがわかった。さらに、この拡散は、結晶表面に入射する輻射の高エネルギー成分を遮断することにより一桁程度減少することが明らかになった。

n 型 PbTe-Pb<sub>0.76</sub>Sn<sub>0.22</sub>Te 超格子 ( $D=650\text{\AA}$ ,  $M=70$ ) のサイクロトロン共鳴を測定し、その超格子中の電子が 2 次元的電気伝導を示していることが確認された。得られたサイクロトロン有効質量は、電子が Pb<sub>0.76</sub>Sn<sub>0.22</sub>Te 側に閉じ込められていると仮定して計算した値より約 40% 重く、電子が PbTe 側に閉じ込められていると考ええるとよく説明できることが示される。さの測定結果から、PbTe-Pb<sub>0.76</sub>Sn<sub>0.22</sub>Te 超格子は、PbTe の伝導帯端より上に Pb<sub>0.76</sub>Sn<sub>0.22</sub>Te の伝導帯端を持

ち、 $\text{Pb}_{0.78}\text{Sn}_{0.22}\text{Te}$  の価電子帯端が  $\text{PbTe}$  の伝導帯端と価電子帯端の間にあるタイプ I' の超格子であることが明らかになった。 $\text{PbTe-SnTe}$  超格子では、 $\text{PbTe}$  の伝導帯端中に  $\text{SnTe}$  の価電子帯端がくるタイプ II の超格子であることが予想された。このことを確認するために、周期  $D=133\text{Å}$ ,  $162\text{Å}$ ,  $191\text{Å}$  と  $\sim 400\text{Å}$  の 4 種の  $\text{PbTe-SnTe}$  超格子をホットウォール法により作製し、その Hall 効果を測定した。これらの超格子の Hall 係数は、電子と正孔の共存により小さな値を示し、その値は磁場強度に大きく依存していた。試料を  $350^\circ\text{C}$  でアニールすることにより、Hall 係数のアニール時間依存性を測定した結果、周期の小さい超格子ほど速やかな Hall 係数の増加がみられた。これらは、タイプ II の超格子中に、電子と正孔が共存していることにより説明される。 $\text{PbTe}$  側に Bi ドナーをドーブした周期  $400\text{Å}$  の  $\text{PbTe-Pb}_{0.78}\text{Sn}_{0.22}\text{Te}$  超格子と、 $\text{Pb}_{0.78}\text{Sn}_{0.22}\text{Te}$  側に Tl アクセプタをドーブした同周期の超格子の光学特性を測定し、観測された Burstein-Moss シフトを解析した。n 型超格子の Burstein-Moss シフトは、 $3.6 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$  のキャリア濃度においても非常に小さく、この超格子が上述のようなタイプ I' 構造を持つことを示した。さらに、測定されたシフト量から、伝導帯端不連続  $\Delta E_c$  が  $-60\text{meV}$  程度であることが評価された。

Sn 組成の小さい  $\text{PbTe-PbSnTe}$  超格子や  $\text{PbTeSn-PbSnTe}$  超格子は、上述のようなタイプ I' 超格子であり、この構造による電子と正孔の空間的分離のために効率のよいレーザ発振は期待されない。しかし、 $\text{PbTe}(\text{Se})$  側へのアクセプタドーブによるバンドベンディングを利用することにより、電子と正孔の  $\text{PbSnTe}$  側への閉じ込めが可能であると考えられる。このドーピング構造を持つ  $\text{PbTeSe-PbSnTe}$  超格子を活性層に用いた多量子井戸レーザが作製され、 $204\text{K}$ ,  $6\mu\text{m}$  でのレーザ発振が確認された。このレーザの高温での動作と、低温での閾値と発振波長の異常な振る舞いを不純物ドーブによるバンドベンディングの観点から考察した。 $\text{PbTeSe}$ ,  $\text{PbSnTe}$  とも低温では非常に誘電率が大きく、不純物ドーブによるバンドベンディングは小さい。このため、タイプ I' 構造による電子と正孔の空間的分離が生じ、レーザ発振を起こしにくくなる。高温では、低温に比べ誘電率が小さくなり、バンドベンディングが大きくなるため、電子と正孔が共に  $\text{PbSnTe}$  側に閉じ込められ、レーザ発振を起こしやすくなる。

ホットウォール法を用いて  $\text{PbTe}$  と  $\text{Eu}$  を交互に蒸着することにより、 $\text{PbTe-EuTe}$  短周期超格子を  $\text{KCl}(100)$  基板上に作製し、X線回折による構造評価と、赤外透過測定によるエネルギーギャップの評価を行なった。超格子のエネルギーギャップは、 $\text{EuTe}$  平均組成の小さい領域で  $\text{EuTe}$  組成の増加とともに増加し、 $\text{EuTe}$  組成の大きい領域では、量子サイズ効果により超格子の周期により決まる一定の値を示した。また、 $\text{PbTeSe-EuTe}$  短周期超格子をレーザダイオードのクラッド層と超格子活性層の障壁層として使った  $\text{PbEuTeSe}$  多量井戸レーザを作製し、レーザ発振 ( $175\text{K}$  以下,  $4.6\mu\text{m} \sim 6.2\mu\text{m}$ ) を確認した。