

Pb_{1-x-y}Cd_xS_yS 薄膜・超格子の作製, 評価及び 2-4 μm 帯レーザへの応用

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: 2008-04-17 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: Shahram, Mohammad Nejad メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10297/1713

氏名・(本籍)	SHAHRAM MOHAMMAD NEJAD (イラン)		
学位の種類	博 士 (工 学)		
学位記番号	工博甲第 77 号		
学位授与の日付	平成 5 年 3 月 24 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 電子材料科学専攻		
学位論文題目	GROWTH AND CHARACTERIZATION OF $Pb_{1-x-y}Cd_xSr_yS$ FILMS AND SUPERLATTICES AND THEIR APPLICATION TO 2-4 μm LASERS ($Pb_{1-x-y}Cd_xSr_yS$ 薄膜・超格子の作製, 評価及び 2-4 μm 帯レーザへの応用)		
論文審査委員	(委員長)		
	教授	福 家 俊 郎	
	教授	助 川 徳 三	教授 藤 安 洋
	教授	岡 村 静 到	助教授 石 田 明 広

論 文 内 容 の 要 旨

本研究は、 $PbCdSrS$ 半導体薄膜の作製、特性評価と、そのレーザ応用に関するものである。以下に各章の内容を示す。

第 1 章は、序論であり、半導体レーザ研究の背景とこの研究の目的が示されている。赤外線レーザへの応用を目的とした IV-VI 族半導体の研究は大きく進歩しているが、レーザの室温動作を実現するためには、材料の開発やレーザ構造、特性の改善などさらに多くの研究が必要である。本研究では、IV-VI 族半導体の VI 族元素の一部を II 族の Cd や Sr で置き換えた $PbCdS$, $PbCdSrS$ 半導体薄膜をホットウォール蒸着法を用いて作製し、薄膜の成長条件とレーザ応用上重要な諸特性をしらべ、2~4 μm の領域で動作するレーザの作製も行った。

第 2 章では PbS および $PbCdS$ 多結晶原料の作製について述べている。 PbS , $PbCdS$ 多結晶は、原料となる Pb, Cd, S を石英アンブル中へ真空封入、合金して作製した。これらは、 PbS , $PbSrS$, $PbCdS$, $PbCdSrS$ 薄膜や超格子の作製の際に用いている。

第 3 章は、 $PbSrS$ 薄膜 $PbSrS/PbS$ 超格子について述べている。 $PbSrS$ 薄膜を、ホットウォール蒸着法を用いて、 BaF_2 (111) 及び KCl (100) 基板上に作製し、X線回析、電気特性の測定等により、

薄膜の諸特性をしらべている。X線回析の半値幅から、PbSrS 薄膜は、BaF₂ (111) 上にも KCl (100) 上に同程度に良好な薄膜が得られることが分かった。この際、薄膜は十分な硫黄雰囲気中で作製しているが、硫黄の蒸発量が不十分である時には、良質な薄膜は得られなかった。TI 及び Bi 不純物を添加した薄膜を作製し、電気特性を測定した。SrS 組成が 3.5 % 以下では、p、n 両タイプとも高キャリア濃度で比較的高い移動度の薄膜が得られた。SrS 組成が 3.5 以上になると、すでに報告があるように、特に p 型薄膜でキャリア濃度と移動度の減少を示した。また、PbSrS/PbS 超格子の X 線回析を測定し、構造を評価した。PbSrS (150Å)/PbS (250Å) 超格子の X 線回析パターンを、拡散を考慮してシミュレーションすることにより、Sr の拡散は比較的低いことが分かった。PbSrS/PbS 超格子の光学透過特性を測定することにより、サブバンドの形成が確認された。

第 4 章では、PbCdS と PbCdSrS 薄膜の成長と電気的特性について述べている。PbCdS 薄膜では、薄膜中への Cd の取り込みが面方向に依存することが明らかになった。薄膜は、Pb_{1-x}Cd_xS ($x=0.03$) ソースを用いて、BaF₂ (111) 及び KCl (100) 基板上へ作製しているが、BaF₂ (111) 上の PbCdS 薄膜の CdS 組成は 13 % 程度となるのにたいし、KCl (100) 上の組成は 2 ~ 3 % となった。また PbS と格子整合する PbCdSrS 薄膜の作製を行い、その電気的特性も測定した。PbCdS の移動度は、PbSrS 比べ小さいが、少ない CdS 組成で PbS と格子整合する PbCdSrS 薄膜ではキャリアの制御と共に移動度も良好なものが得られた。また PbCdS/PbS 超格子も作製し、その構造を X 線回析により評価した。この超格子での Cd の拡散は、260°C の成長温度でもかなり大きいことがわかった。PbCdS (190Å)/PbS (230Å) 超格子をアニールし、350°C での拡散定数が $7 \times 10^{-17} \text{ cm}^2/\text{s}$ 程度であることが判明した。

第 5 章では、IV-VI 族半導体レーザの簡単な議論と共に PbSrS 径レーザの作製と特性について述べている。PbSrS/PbS DH レーザの活性層幅として 0.5 μm 程度が適当であることは以前の研究で分かっているので、PbSrS/PbS DH レーザの活性層幅を 0.5 μm として PbSrS クラッド層のバンドギャップを変化させてレーザ特性を調べた。活性層とクラッド層のバンドギャップ差が 150 meV 以下ではキャリアの閉じ込めが悪くなり、特性温度の減少も見られた。PbSrS を活性層とした PbSrS/PbSrS DH レーザも作製し、動作特性を測定した。レーザは短波長側へ 2.07 μm (140K) まで動作した。これは IV-VI 族レーザで実現されている最短波長である。

以上、本研究は PbSrS は 2 ~ 4 μm 領域の DH 及び QW レーザとしてたいへん有望な材料であることを明らかにした。PbCdS では Cd の拡散が大きく、電気的特性も PbSrS ほど良くなかった。また、PbS と格子整合した PbCdSrS 薄膜はレーザのクラッド層として有用であり、HWE 法を用いて良質な薄膜が作製できることを示した。

論文審査結果の要旨

波長 $3\mu\text{m}$ 以上の赤外領域の半導体レーザとしては、IV-VI族半導体が主に用いられ、また、 $2\mu\text{m}$ 以下の領域ではIII-V族半導体が使われている。しかし、この境界領域 ($2\sim 4\mu\text{m}$) で動作する半導体レーザの開発が望まれている。本研究ではIV-VI族半導体である PbS の Pb の一部を II 族元素である Cd や Sr で置き換えた PbSrS, PbCdS 三元及び PbCdSrS 四元半導体薄膜・超格子をホットウォール蒸着法を用いて作製し、それらの諸特性を調べるとともに、 $2\sim 4\mu\text{m}$ で動作する赤外線レーザの作製を行っている。

本論文は6章からなり、第1章は序論で、赤外線レーザ研究の現状を概観すると共に、本研究の目的と意義を明らかにしている。また、第2章では結晶成長で用いた PbS 系各種混晶材料及び基板の処理について触れている。

第3章では、十分な硫黄雰囲気中で作製すれば良質な PbSrS 薄膜が得られること、SrS 組成が 3.5 %以下では p、n 両タイプとも高キャリア濃度で比較的高い移動度もつ PbSrS 薄膜が得られることが示されている。また、PbSrS/PbS 超格子を作製し、X線回折により構造と Sr 拡散の評価も行っている。

第4章では最初に PbCdS 薄膜の成長及び電気的特性について述べている。薄膜中への Cd の取り込みが面方向に依存すること、PbCdS のキャリア移動度は、PbSrS と比べて低く、ドーピングしづらいことが示されている。一方、少ない CdS 組成で PbS と格子整合する PbCdSrS 薄膜では、電気特性としても良好なものが得られることが示されている。また、PbCdS/PbS 超格子も作製し、その構造を X線回折により評価している。超格子中の Cd の拡散は、 260°C の成長温度でもかなり大きく、超格子をアニールすることにより、 350°C での拡散定数が $7\times 10^{-17}\text{cm}^2/\text{s}$ 程度であることを明らかにしている。

第5章では、PbSrS/PbS DH レーザをホットウォール法を用いて作製し、レーザ特性のクラッド層バンドギャップ依存性を調べている。クラッド層の活性層とのバンドギャップ差が 100meV 以下では電流しきい値が高く、十分なレーザ動作が得られないことが示されている。さらに、活性層を PbSrS 液晶とした DH レーザも作製し、短波長側に $2.07\mu\text{m}$ (140K) までのレーザ動作を得ている。これはIV-VI族半導体レーザで実現されている最短波長であり、この材料が半導体レーザとしては報告の少ない $2\sim 3\mu\text{m}$ 領域で動作するレーザとしても有用であることを示している。

第6章は総括で、研究成果を纏めている。

本論文は PbSrS, PbCdS 及び PbCdSrS 薄膜及び超格子の作製とそのレーザ応用に関するものであり、PbSrS が $2\sim 4\mu\text{m}$ レーザとしてたいへん有用な材料であることを示している。博士(工学)の学位を授与するに十分な内容をもつものと認定する。