

氏名・(本籍)	おおしまひさよし 大島久純 (愛知県)
学位の種類	工学博士
学位記番号	工博甲第 27 号
学位授与の日付	昭和 61 年 3 月 20 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>In-Ga-Al-Sb 系混晶の LPE 成長に関する研究</b>
論文審査委員	(委員長) 熊川 征 司 教授 島岡 五 朗      教授 今井 哲 二 教授 萩野 實      教授 助川 徳 三 助教授 田中 昭

## 論文内容の要旨

光通信に用いられる光ファイバにおいて、その性質上使用する波長が長いほど伝送損失が減少する。このため長距離光通信で用いられる光通信波長は、現在主流になっている  $1.55\mu\text{m}$  から、今後さらに長波長へ移行するものと思われる。従って、光通信には当然その波長帯で動作する発光、受光デバイスが必要不可欠となる。発光、受光デバイス材料としては III-V 族化合物半導体がよく用いられ、長波長化にともないその波長に対応できる種々の半導体、中でも (In, Ga) (As, P) などのような四元混晶が盛んに研究されている。しかしこの四元混晶を得るための結晶成長法としてもっともよく用いられている LPE (Liquid Phase Epitaxial) 成長法を使用する場合、混晶の MG (Miscibility Gap), つまり組成のところで固相が相分離してしまう現象が問題になっている。(In, Ga) (As, P) などのよく研究されている四元混合にはこの MG が広く存在し、目的とするエネルギーギャップや格子定数を持つた混晶を自由に得ることができない。

これに対し、本研究で取り上げた (In, Ga, Al)Sb は長波長化によく対応するとともに通常の LPE 成長においては MG が存在しないと予測されている数少ない四元混晶の一つである。ところが現在まで、この混晶の LPE 成長に関する報告は筆者らを含めて 2 グループからしかなくない。その原因は一つには LPE 成長用の In-Ga-Al-Sb 飽和溶液を準備するのがむずかしいことにあり、もう一つは格子整合のとれる成長用基板が得られないことによる。また、所望の組成比を持つ混晶を得るために必要な相図 (平衡状態図) がいないことも一因となっている。

本研究はこれらの問題を解決して、(In, Ga, Al)Sb の LPE 成長技術の確立を目的としてなされたものである。

まず、第一の問題点である In-Ga-Al-Sb 四元系の相図の作成に対しては、In-Ga-Al-Sb 系に含まれる Al-Sb 二元系の液相線の非対称性の問題を解決し、かつ In-Ga-Al-Sb 系全体を満足する熱力学モデルを見出さなければならない。これに対し、本研究では液相中の会合を考慮した Redlich-Kister 表式を用いた熱力学モデルによりこれら熱力学解析上の問題を解決した。その結果、三元系までの解析から得た熱力学パラメータをもとに In-Ga-Al-Sb 四元系の解析をおこない、固相組成と液相組成の関係を与える相図を得ることができるようになった。

次に、第二の問題点である LPE 成長に用いる In-Ga-Al-Sb 飽和溶液を低温 (450°C) でも得られるようにすることに対しては、成長開始温度で In-Ga-Sb 溶液に Al を Ga-Al 溶液の形で添加する方式を考え、成長プロセスと成長用ボートの改良をおこなった。その結果、良好な (In, Ga, Al)Sb 成長層を得ることができるようになった。

第三に、格子整合の問題に対しては、成長用基板には現在入手できるものとして (In, Ga, Al)Sb と格子定数の近い GaSb を用い、(In, Ga, Al)Sb 層とのヘテロ接合界面で格子整合するように (In, Ga)Sb バッファ層の導入を考えた。そして、実際にバッファ層を取り入れた (In, Ga, Al)Sb/(In, Ga)Sb/GaSb 構造を低温 LPE 成長により得ることができた。この構造の場合、基板である GaSb とバッファ層である (In, Ga)Sb との間に格子不整が生ずるが、バッファ層の InSb 成分が30%程度までは良好な成長が可能である。従って、(In, Ga)Sb バッファ層の導入によって (In, Ga, Al)Sb の直接及び間接遷移領域を含むおよそ全体の 1/3 組成領域をデバイスに利用できることになる。このことは (In, Ga, Al)Sb 混晶を用いて波長範囲 0.8~2.8 $\mu\text{m}$  の光半導体デバイスを作製できることを意味する。

次に、(In, Ga, Al)Sb をデバイスに利用する場合にそのエネルギーギャップと格子定数を制御しなければならない。そのため、本研究で確立した成長技術を用いて成長実験を行い、溶媒の仕込量とその時得られる (In, Ga, Al)Sb のエネルギーギャップ、格子定数及び組成の関係を明らかにした。

最後に、実験により得た仕込量と組成の関係と熱力学解析から計算した関係とを比較した。その結果は比較的良好に一致し、本研究で確立した熱力学解析の妥当性が確認された。さらに、この熱力学解析と Zbitnew らが与えた実験式を組み合わせることにより所望のエネルギーギャップと格子定数を持つ (In, Ga, Al)Sb を得るための原料の仕込量が計算可能になった。

以上、本研究により (In, Ga, Al)Sb の LPE 成長に必要な不可欠な相図や低温成長技術を確立することができ、(In, Ga, Al)Sb を用いたデバイス作製への見通しが得られた。