

氏 名	遠 藤 民 生 えん どう たみ お
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 2076 号
学位授与の日付	昭 和 62 年 9 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	半 導 体 ガ リ ウ ム リ ン (GaP) 結 晶 の 電 子 線 照 射 効 果

論文調査委員 (主 査)
教 授 松 波 弘 之 教 授 川 端 昭 教 授 万 波 通 彦

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、半導体ガリウムリン (GaP) 結晶に 10 MeV の電子線を照射した効果に関する研究で、8 章から成っている。

第 1 章は序論で、GaP 結晶の特徴を述べたあと、実用されている半導体材料の中で GaP が占める位置を論じ、不純物添加と照射効果が工学応用上重要であることを強調し、本研究の位置づけを明確にしている。

第 2 章では GaP 結晶の光学的性質とバンド構造の関係を論じている。特に、吸収端より長波長領域に見られる光吸収スペクトルから、伝導帯内での電子の X_1 - X_3 遷移に基づく " X_1 - X_3 吸収バンド" の分離法を詳細に述べている。不純物濃度の低い GaP における " X_1 - X_3 吸収バンド" の 77~300 K 間の温度依存性から、 X_1 と X_3 両バンド間のエネルギー差 δ と有効質量比 m_2^*/m_1^* の温度依存性を求め、両バンドの湾曲や価電子帯との相対位置関係を論じている。後の章の不純物添加効果や電子線照射効果に基づく δ と m_2^*/m_1^* の異常な温度変化を、GaP 結晶に内因する部分から分離する手懸りを与えている。

第 3 章では不純物を添加した GaP の光学的性質から求めたバンド端の変形について論じている。ドナー不純物を添加した GaP の 300 K における吸収端スペクトルと " X_1 - X_3 吸収バンド" を測定し、吸収端エネルギーおよび δ と m_2^*/m_1^* のドナー濃度依存性から、伝導帯端の禁制帯中への拡がりを求めている。 δ と m_2^*/m_1^* の温度依存性に急峻な変化が表れることを見出し、これが、 X_1 帯の裾状態への電子の偏在によることを、電子のエネルギー分布を統計的に計算した結果を用いて説明している。

第 4 章では、10 MeV の電子線照射によって GaP 中に導入された深い準位を DLTS (Deep Level Transient Spectroscopy) 法で観測し、照射後の電子のエネルギー分布の計算に使用している。

第 5 章では、電子線照射した GaP の光学的性質とバンド端の変形について論じている。300 K における吸収スペクトル、吸収端エネルギー、 δ および m_2^*/m_1^* の照射後の変化が、不純物添加による変化と相違していることを示し、これが、電子線照射によって単純欠陥のほかに乱れた領域が形成されたためとしている。電子線照射によって導入された深い準位が電子を捕獲するので、不純物添加による場合よりポ

テンシャルゆらぎが増強され、バンド端の裾の拡がりが大きくなることを指摘している。“ X_1 – X_3 吸収バンド”の照射変化と電子のエネルギー分布の計算から、全電子の補償濃度を定量化し、電子除去率 11.4 cm^{-1} を決定している。さらに、照射試料の δ と m_2^*/m_1^* の温度依存性や低温での δ の異常増大が、深い準位を考慮した状態密度モデルを用いて説明できることを、電子のエネルギー分布の計算によって示している。

第6章では、照射によって変化した種々の物性値が、アニールによって照射前の値に回復する様子を示している。損傷の回復曲線に 150°C と 300°C 、および 400°C の2つのステージが観測されるので、電子線照射が単純欠陥と乱れた領域の混在した損傷を形成するとした第5章の推論を裏付けている。

第7章は、電子ビーム照射によって GaP に導入された損傷の空間濃度分布の測定法と結果に関する章である。照射による光学的性質の変化を白色光光学濃度の変化として観測する方法を確立し、実験結果から、これが照射損傷濃度に比例することを明らかにしている。マイクロデンシトメータで白色光光学濃度の2次元分布を測定して、損傷濃度の2次元分布を決定した。損傷分布の入射電子線エネルギー依存性や、損傷分布を詳しく論じている。最後に、電子ビームによる素子の分離技術への応用の可能性を検討している。

第8章は本論文の結論である。

論文審査の結果の要旨

半導体ガリウムリン (GaP) は、赤色や緑色の発光ダイオード材料として実用化されており、高温トランジスタ材料としても注目されている。しかしながら、電子線照射が GaP の物性変化に及ぼす影響についての基礎研究は、従来ほとんど行われていない。本研究は、 10 MeV の電子線を GaP に照射したときに生ずる物性変化を、主として光学的性質の解析から求め、照射損傷の種類と数、バンド構造への影響などを定量的に明らかにし、その応用への可能性を検討した結果をまとめたもので、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 不純物を多量に添加した GaP 結晶と高純度の GaP 結晶の光吸収スペクトルの違いから、不純物添加のバンド構造への影響を、伝導帯に存在する X_1 と X_3 バンド間のエネルギー差 δ 、および、それぞれのバンドの電子の有効質量の比 m_2^*/m_1^* を用いて、定量的に決定した。また、この δ と m_2^*/m_1^* の温度変化が、不純物によって生じた伝導帯端の裾状態を電子が占有するモデルで説明できることを見いだした。

2. 10 MeV の電子線照射による光吸収スペクトルの変化から、照射損傷に“単純欠陥”のほか、“乱れた領域”があることを明らかにし、電子による損傷導入率を 11.4 cm^{-1} と決定した。ついで、 δ および m_2^*/m_1^* を定量的に決定し、これらが不純物添加の場合に比べて大きくなることを見いだした。照射損傷が、GaP 結晶の禁制帯幅を縮めるとともに、不純物添加の場合の倍以上の裾状態をもたらすことを、電子のエネルギー分布の計算によって求めた。

3. 電子線照射によって導入された損傷はアニールによって回復する。回復過程は2つに分けられ、電氣的性質に見られる 150°C と 300°C の回復は“単純欠陥”の回復、光学的性質に見られる 400°C の回復は

“乱れた領域”を含む複雑な損傷の回復であることを明らかにした。

4. 照射後の光学的性質の変化を白色光光学濃度として、マイクロデンシトメータで測定する方法を用い、矩形電子ビームの照射によって GaP 結晶に導入された損傷の空間濃度分布を決定した。損傷の横方向分布は、表面から深くなるにつれて広がり、ガウス型分布になることを明らかにした。損傷の深さ分布もガウス型分布で近似でき、その深さが電子線のエネルギー損失分布の深さよりかなり浅くなることを初めて見いだした。この結果を、GaP のモノリシック表示素子の分離に応用する可能性を検討している。

以上要するに、本論文は 10 MeV の電子線を GaP 結晶に照射したときの光学的性質の測定結果から、照射によって導入された損傷の種類、数、分布などの、高エネルギーの電子線照射損傷に関する基礎物性についての知見をまとめたもので、詳細な定量解析と新しい事実の発見は学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。

また、昭和 62 年 7 月 29 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。