

氏 名	なかにしひでお男 中 西 秀 男
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論 工 博 第 3209 号
学位授与の日付	平 成 9 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	半 導 体 GaAs 結 晶 成 長 な ら び に デ バ イ ス プ ロ セ ス 誘 起 格 子 欠 陥 の 低 減 化 に 関 す る 研 究

論文調査委員 (主 査)
教 授 松 波 弘 之 教 授 藤 田 茂 夫 教 授 石 川 順 三

論 文 内 容 の 要 旨

半 導 体 GaAs は、電 子 移 動 度 が 大 き い、室 温 で 半 絶 縁 性 結 晶 が 得 ら れ る、直 接 遷 移 型 の バ ン ド 構 造 を 有 す る な ど、Si に は な い 優 れ た 材 料 物 性 を 有 す る の で、Si よ り も 性 能 の 優 れ た、あ る い は Si で は 実 現 不 可 能 な、電 子 ・ 光 デ バ イ ス 用 材 料 と し て 大 き な 期 待 が 寄 せ ら れ て い る。し か し な が ら、従 来 の 結 晶 成 長 法 で あ る 液 体 封 止 引 き 上 げ 法 (Liquid Encapsulated Czochralski: LEC) で 導 入 さ れ る 高 密 度 ($10^4 \sim 10^5 \text{cm}^{-2}$) の 転 位 と 化 学 量 論 的 組 成 の ず れ に よ る 点 欠 陥、お よ び デ バ イ ス 加 工 プ ロ セ ス で 発 生 す る プ ロ セ ス 誘 起 欠 陥 が 起 因 し て、デ バ イ ス 性 能 を 低 下 さ せ る 大 き な 問 題 点 が あ る。GaAs の 特 徴 を 十 分 に 発 揮 し、高 性 能 デ バ イ ス を 実 現 す る た め に は、転 位 な ど の 成 長 プ ロ セ ス で 発 生 す る 欠 陥、お よ び、加 工 プ ロ セ ス で 誘 起 さ れ る 点 欠 陥 を 低 減 す る こ と が 不 可 欠 である。本 論 文 は、こ れ ら の 観 点 か ら、結 晶 成 長 な ら び に デ バ イ ス プ ロ セ ス で 誘 起 さ れ る GaAs 結 晶 の 格 子 欠 陥 に つ い て、発 生 機 構 の 解 明 と 低 減 化 を 進 め る 研 究 結 果 を ま と め た も の で、7 章 か ら な る。

第 1 章 は 序 論 で、半 導 体 GaAs 研 究 の 背 景 と 問 題 点 を 論 じ、研 究 の 目 的 と 位 置 づ け を 述 べ て い る。

第 2 章 で は、面 内 電 気 特 性 を 均 一 に す る た め に、種 子 結 晶 か ら 継 承 す る 伝 播 転 位 と 熱 応 力 に よ り 発 生 す る 応 力 誘 起 転 位 の 低 減 化 の 研 究 結 果 を 述 べ て い る。結 晶 内 温 度 分 布 の 解 析 結 果 を 基 に、新 し く 完 全 液 体 封 止 引 き 上 げ (Fully-Encapsulated Czochralski: FEC) 法 を 開 発 し て い る。本 成 長 法 を 基 に、In 添 加 に よ る 臨 界 せん断 応 力 の 増 大 化 と 伝 播 転 位 の 新 し い 除 去 手 法 の 探 索 を 図 り、直 径 2 イ ン チ の 完 全 無 転 位 結 晶 の 作 製 を 世 界 に 先 駆 け て 実 現 し て い る。

第 3 章 で は、面 内 電 気 特 性 を 均 一 に す る 別 の 方 法 と し て、転 位 の 発 生 を 前 提 と し、そ の 熱 的 挙 動 を 制 御 す る こ と に よ り、電 気 特 性 を 均 一 に す る 方 法 を 考 案 し て い る。結 晶 成 長 中 に 熱 ア ニ ール を 可 能 と す る 液 体 封 止 垂 直 ブ リ ッ ジ マ ン (Liquid-Encapsulated Vertical Bridgman: LE-VB) 法 を 開 発 し、従 来 の 結 晶 成 長 後 の 熱 ア ニ ール 効 果 を 凌 駕 す る 高 均 一 結 晶 成 長 の 作 製 に 成 功 し て い る。こ れ に よ り、特 性 の 均 一 な 基 板 を よ り 低 価 格 で 実 現 で き る 道 を 開 い て い る。

第 4 章 は、加 工 プ ロ セ ス で 誘 起 さ れ る 欠 陥 の 挙 動 解 明 の た め に 研 究 し た 非 破 壊 評 価 技 術 に つ い て 論 じ て

いる。加工プロセスで誘起される欠陥は表面層に局在し、相互作用により容易にその性質や形態を変える不安定な欠陥である。本研究では、このようなプロセス誘起欠陥の評価技術の研究から着手し、光反射法を利用した新しい評価方法を提案している。従来困難であった、表面層のキャリアキラー欠陥、および再結合中心欠陥の挙動解明を可能とし、欠陥発生の実タイム観測の可能性を示している。

第5章では、プラズマエッチングで誘起される欠陥の実体・挙動を、第4章で確立した光反射法に加え、陽電子消滅法、およびダイオードを用いた素子評価法により、総合的に検討している。その結果、プラズマ誘起のキャリアキラー欠陥について、少数キャリア注入による高速拡散、ドーパント不純物との欠陥反応による複合欠陥形成、逆バイアスアニールによるドーパントの再活性化などの新しい現象を発見している。これらを基に、欠陥形成機構を明らかにし、プラズマ発光の低減による欠陥の異常侵入抑制、および逆バイアスアニールの活用による欠陥の低温消去という新しい欠陥低減法を提案している。

第6章ではイオン注入によって誘起される欠陥の実体・挙動を第5章と類似の方法で解明している。特に、少数キャリア注入というエレクトロニックな手法によって、イオン注入で誘起された再結合中心が室温付近の低温で消去可能なことを見出し、この現象が、再結合誘起の欠陥相互作用に起因すると推定している。この欠陥消滅機構は、これまで、電子線照射により形成された比較的単純な点欠陥について、学術的観点では理解されていた現象であるが、本研究では、プロセス誘起欠陥の低温消去の可能性として、その工学的応用を確立している。

第7章は結論で、本研究の成果をまとめるとともに、今後の研究展開の方向を示唆している。

論文審査の結果の要旨

半導体 GaAs は、Si よりも性能の優れた、あるいは Si では実現不可能な、電子・光デバイス用材料として大きく期待されているが、広く応用するために結晶欠陥の低減が強く望まれている。本論文は、単結晶成長ならびにデバイス加工プロセス中に誘起される結晶欠陥の発生機構の解明と低減化に関する研究結果をまとめたもので、得られた主な成果は次の通りである。

1. 面内電気特性を均一にするために、種子結晶から継承する伝播転位と熱応力により発生する応力誘起転位の低減を目指し、新しく完全液体封止引き上げ法を開発した。In 添加による臨界せん断応力の増大と伝播転位の新しい除去法を考案して、直径 2 インチの完全無転位結晶の作製に世界に先駆けて成功した。

2. 加工プロセスで誘起される表面層欠陥の評価のために、光反射法を利用した新しい方法を提案し、従来困難であった、表面層のキャリアキラー欠陥、および再結合中心欠陥の挙動が解明できる実時間欠陥観測法を確立した。

3. プラズマエッチングによって誘起される欠陥の挙動を、著者が確立した光反射法と、陽電子消滅法、およびダイオードを用いた評価法により、総合的に検討した。キャリアキラー欠陥について、少数キャリア注入による高速拡散、ドーパント不純物との反応による複合欠陥形成、逆バイアスアニールによるドーパントの再活性化などの新しい現象を見出し、これらを基に、欠陥形成機構を明らかにした。加えて、プラズマ発光の低減による欠陥の異常侵入抑制法、および、逆バイアスアニールによる新しい欠陥低減法を

提案した。

4. イオン注入によって誘起された再結合中心が、少数キャリア注入によって室温付近で消去可能なことを見出し、この現象が、再結合誘起の欠陥相互作用に基づくと結論づけた。この欠陥消滅機構を活用し、プロセス誘起欠陥の低温消去法として工学的応用を確立した。

以上要するに本論文は、半導体 GaAs の単結晶作製ならびにデバイス加工プロセス中に誘起される結晶欠陥の挙動の解明と、それを低減する方法を確立したもので、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって本論文は、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成9年1月7日、論文内容とそれに関連した試問を行った結果、合格と認めた。