

氏 名	ふくざわまさゆき 福澤 理 行
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 甲 第 149 号
学位授与の日付	平成 9 年 3 月 25 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	工芸科学研究科 情報・生産科学専攻
学 位 論 文 題 目	化合物半導体の光弾性評価に関する研究
審 査 委 員	(主査) 教 授 山 田 正 良 教 授 西 野 茂 弘 教 授 更 家 淳 司

論 文 内 容 の 要 旨

超高速電子デバイスや光デバイス基板用に用いられる GaAs、InP、GaP 等の III-V 族化合物半導体単結晶は、LEC (Liquid-Encapsulated Czochralski) 法や VCZ (Vapor-pressure-controlled Czochralski) 法等の引き上げ法を用いて成長されるが、結晶成長時の熱応力により転位などの結晶欠陥が発生して微小な歪みが残留する。結晶欠陥や残留歪みは、デバイスの電気的特性に影響するばかりではなく、デバイス作成中の熱処理過程でスリップや割れの発生原因となっている。産業上、基板として用いる化合物半導体ウェハ中の結晶欠陥や残留歪みを簡便で実用的に評価する新しい技術の開発が望まれている。

本論文は、微小な残留歪みを測定するための光弾性装置の開発、その装置を用いた化合物半導体ウェハ中の残留歪みやウェハ加熱時に発生するスリップライン（滑り線）の光弾性評価、および評価結果を解釈するための結晶成長やウェハ加熱の熱弾性解析についてまとめ、光弾性評価が化合物半導体ウェハの評価に極めて有効であることを明らかにしたものである。

本論文は 5 章からなっている。

第 1 章は序論であり、III-V 族化合物半導体の単結晶製造技術や電子・光デバイス製造技術において、大口径ウェハ中の結晶欠陥や残留歪みの低減化と、ウェハ熱処理により誘起されるスリップの低減化が重要な課題であることを示して、結晶中の残留歪み評価の重要性を述べるとともに、光弾性法の特色・利点と技術的課題について述べている。

第 2 章では、化合物半導体ウェハ中の微小な残留歪みの高空間分解能分布を短時間で精度良く評価するため独自に開発した高感度・高空間分解能光弾性装置の特徴と性能について述べている。試作装置は、光学系に同期型回転偏光子・検光子を用いて透過光強度の偏光特性を解析することで、 10^{-7} 程度の微小な面内残留歪み成分が測定可能である。また、偏光特性測定とステージ走査とを同時に行なう螺旋走査測定法を考案して測定時間を短縮化し、 250×250 の格子点での 4 インチウェハの測定を 4 時間で行なえる極めて実用的なウェハ評価装置を開発した。

第 3 章では、LEC、VCZ 法で成長された半絶縁性 GaAs、InP の市販ウェハについて、第 2 章で述べた光弾性装置を用いて評価した残留歪み分布について述べている。結晶成長後に熱処理を施さずに切り出された LEC 法成長ウェハに典型的に見られる残留歪み分布が転位密度と逆相関関係にあることを初めて見出した。結晶中の残留応力に関する単純化した熱応力緩和モデルを提案し、LEC 法結晶成長の熱弾性解析よりこの逆相関関係を理論的に明らかにした。さらに、高空間分解能光弾性評価によって観察される微細な残留歪みの構造が、ウェハ内部のスリップライン、リネージなどの転位の構造や、ボイド、インクルージョン、表面の傷などを敏感に反映することを実証した。

第4章では、デバイス作成プロセス中のウェハ加熱時にしばしば発生するスリップラインの光弾性評価について述べている。これまでスリップ観察にはノマルスキー顕微鏡やX線トポグラフなどが用いられていたが、ノマルスキー顕微鏡では表面に段差を含まないスリップが観察できず、X線トポグラフ像では転位密度の高いウェハや反りのあるウェハ中のスリップ観察が困難であった。イオン打ち込みプロセスで用いられるホットプレート加熱およびMBE (Molecular Beam Epitaxial) 成長プロセスで用いられるリングホルダ支持放射加熱によってGaAsウェハに発生したスリップを高空間分解能光弾性評価した結果、残留歪み分布はスリップを敏感に反映し、前述のようにこれまで観察困難であったスリップまでも明瞭に観察可能であることを明らかにした。また、スリップ発生低減化の観点からスリップ発生の臨界剪断応力モデルを提案し、ウェハ加熱の熱弾性解析によってスリップ発生臨界温度や発生位置を推定した。平面応力仮定下でのスリップ発生位置の推定結果はホットプレート加熱ウェハでの光弾性評価結果と一致し、このモデルの妥当性を確認した。

第5章は結論であり、本研究で得られた成果を総括してまとめを行なっている。

論文審査の結果の要旨

申請論文は、超高速電子デバイスや光デバイス基板に用いられるGaAs、InP、GaP等のIII-V族化合物半導体ウェハ中の微小な歪み誘起複屈折を測定できる高感度・高空間分解能光弾性装置を開発して、ウェハ中の残留歪みやウェハ加熱時に誘起されるスリップラインを光弾性評価すると共に、結晶成長やウェハ加熱に関する熱弾性解析を用いて典型的な残留歪み分布を理論的に解釈し、スリップライン発生の臨界温度と発生位置の推定を行なったものである。

申請者は、実用性を十分考慮した光弾性装置を独自に開発し、LEC法成長GaAsウェハ中の典型的な残留歪み分布と転位密度分布との逆相関関係を初めて報告した。残留歪みの発生機構に関する熱応力緩和モデルを提案し、この逆相関関係を見事に説明した。また、高空間分解能で評価した残留歪み分布が結晶欠陥の構造や、加熱誘起スリップラインを極めて敏感に反映することを示し、光弾性評価が化合物半導体単結晶の製造技術やデバイスプロセス技術評価に極めて有効であることを実証した。さらに、スリップ発生の臨界剪断応力モデルを提案し、スリップライン発生の臨界温度や発生位置を推定し、実用的な観点からスリップライン発生の低減化を示した。

本研究に関する内容は、レフェリー制度の確立した学術雑誌あるいは国際会議のプロシーディングであるJournal of Electronic Materialsに1編、SPIE Proceedingsに1編、Institute of Physics Conference Seriesに2編、Proc. of Int. Conf. on InP and Related Materialsに2編、Proc. of Conf. on Semi-insulating III-V Materialsに2編、Proc. of Conf. on Semiconducting and Insulating Materialsに1編、Proc. of Int. Symp. on Compound Semiconductorsに1編が掲載されている。これらの内3編は申請者が筆頭著者である。なお、申請者は日本学術振興会特別研究員(DC2)に採用され、本研究を推進した。

結論として、申請者の論文は学位論文に値するものと判定した。