

研究課題別 事後評価結果

1. 研究課題名： 超ヘテロ・ナノ結晶による光-電子新機能デバイスの創製

2. 研究代表者： 渡辺 正裕（東京工業大学 大学院総合理工学研究科 准教授）

3. 研究内容及び成果

さきがけ研究では、集積回路技術の融合において極めて重要な、シリコン(100)面方位上へのフッ化物ヘテロ量子構造のエピタキシャル成長と、その電気特性の制御に成功したが、共鳴トンネルダイオード構造の電流電圧特性に現れる微分負性抵抗特性は、シリコン(111)基板上において得られている特性と比較してピーク対バレー電流比の点で著しく劣るものであった。これはシリコン(100)面上で得られた結晶が結晶欠陥を多く含み、リーク電流が大きいことが原因と考えられた。そこで本研究では、シリコン(100)基板上への高品質ヘテロ結晶の形成法の研究を実施し、微小領域結晶成長法に用いる手法と同様の手法を用いて、微小領域中でのアニール処理を行うことで固層成長により結晶品質の向上を目指した。

シリコン(100)平面基板上にフッ化物をエピタキシャル成長やポストアニール処理を行った場合、格子の不整合による歪みや、表面エネルギーの差異等の要因によりフッ化物の凝集が誘発され、島状ないし網状のモルフォロジーを有する膜が生じるため、均一な薄膜形成は困難とされてきた。しかし、結晶成長やアニール温度と、得られた島状結晶のサイズの関係を注意深く観察したところ、おおよそ100nmφ以下のサイズであれば凝集や2次元島成長は起こらず、表面が原子レベルで平坦な均一膜成長が実現することが示唆された。そこで、微細加工技術を用いて結晶成長領域を100nmφ以下に限定した上でフッ化物結晶成長を100℃以下の比較的低温で行い、その後、500℃程度のアニール処理を行うことにより、それまで問題となっていたリーク電流が劇的に減少し、シリコン(111)基板上で得られているものと遜色の無い特性を得ることに成功した。これは、シリコン集積回路と融合可能な量子構造の実現に向け、大きく前進する成果である。また、その特性において、共鳴トンネル現象と電荷トラップ現象の複合によるものと推察されるメモリ効果を発見し、その応用可能性が示唆された。

フッ化物系量子井戸中の光-電子相互作用の発現と制御に関する研究については、シリコン基板上に形成したフッ化物系量子井戸構造に電流注入を行って自然放出光を観測することにより、サブバンド間光相互作用に関する情報を得ることを目標とした。このため、シリコン基板を原子レベルで平坦化するプロセス技術を適用し、さらに電流注入発光を観測するための素子構造の形成プロセスを確立した。この構造は、将来的に目標とするレーザー構造に容

易に発展させることが出来るよう設計されたものである。また本研究で取り扱う材料は、ターゲットとする光波長として近赤外から長波長帯を広く狙うことが可能であるという特徴を有するため、波長1 μm から5 μm の範囲の光学測定装置を構築して測定を行った。その結果、本材料では初めて波長2.5~4 μm の電流注入発光を観測することに成功した。注入電流依存性や偏波特性等から、得られた発光は量子井戸中のサブバンド間遷移発光であると考えられた。この成果により、フッ化物系量子井戸構造中の光・電子相互作用が、初めて科学上および工学上の研究対象となった。

4. 事後評価結果

4-1. 外部発表(論文、口頭発表等)、特許、研究を通じての新たな知見の取得等の研究成果の状況

期間中の外部発表、特許等の実績を示す。

発表論文: 4 件

口頭発表: 15 件

さきがけで開発した微小領域エピタキシー法を改良し、シリコン(111)面ではなく、(100)面で高品質なフッ化物量子構造を作製し、シリコン上での光・電子融合デバイスの可能性を開いたことは大きな成果と言える。シリコンLSI技術に適合性のある新規デバイスおよび必要な材料の開発は、電子デバイス技術の波及効果の点で重要であり、研究代表者らはシリコンデバイスで一般的な(100)面上のCdF₂/CaF₂の低温成長を行い、常温で良好なピーク対バレー電流比を得ている。さらに、トンネル効果がサブバンドのチャージ状況によるヒステリシスを有すること、サブバンド間遷移による赤外発光を見出す、独自の材料を用いて将来の応用につながるデータを得ており、非常に困難な研究を進展させたことが評価出来る。材料特性を活かしたデバイス機能の発現に必要なデバイス構造には新規性があり、開口比やサイズを限定する等して形態的特徴を捉えた特許出願をするべきであったと思われる。この分野としては特許取得の可能性が高いと思われるので、今後の努力に期待したい。

外部発表については、口頭発表は多いが、論文は4件で必ずしも多くはない。約3年間の成果としては、発表内容は十分とは言えない。

4-2. 成果の戦略目標・科学技術への貢献

シリコン基板上のCaF₂を用いたヘテロ構造の成長、そのデバイス応用に向けた研究では世界的に見て群を抜いており、特にシリコン基板上のヘテロ構造デバイスおよび光・電子融合回路応用については実用化の有力候補であることに間違いはない。独自の材料を用いて成

長方法を工夫することによりシリコン(100)面における共鳴トンネル効果を初めて見出す等、将来の応用につながるデータを得ており、この研究により新規デバイス開発の可能性は十分示されたと思う。

コンピュータ技術として重要な光・電子融合デバイス開発のための研究としてインパクトは高いと言える。