



Title	InAs/GaAs超格子を用いた視覚神経回路用光電子素子に関する研究
Author(s)	松居, 祐一
Citation	大阪大学, 1997, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/40294
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名 まつ い ゆう いち
松 居 祐 一

博士の専攻分野の名称 博 士 (工 学)

学 位 記 番 号 第 1 2 8 8 3 号

学 位 授 与 年 月 日 平 成 9 年 3 月 18 日

学 位 授 与 の 要 件 学位規則第4条第2項該当

学 位 論 文 名 InAs/GaAs 超格子を用いた視覚神経回路用光電子素子に関する研究

論文審査委員 (主査)
教 授 権 田 俊 一
(副査)
教 授 西 川 雅 弘
教 授 飯 田 敏 行
教 授 岩 崎 裕

教 授 中 井 貞 雄
教 授 三 間 圀 興
教 授 堀 池 寛
教 授 西 原 功 修

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、InAs/GaAs 超格子を用いた視覚神経回路用光電子素子に関する研究の成果をまとめたもので、7章から構成されている。

第1章では、本研究の背景と目的について述べている。背景は、超格子を用いることにより素子設計の自由度が大きくなってきたことと、視覚神経回路の受容野特性が明らかになってきたこと、目的は、受容野特性を有する素子を実現するための諸条件を明らかにすることである。

第2章では、本研究で考案した短周期超格子の成長方法について述べている。すなわち、MBE (Molecular Beam Epitaxy) 成長法において分子線分離法を考案することにより、単分子層レベルで組成制御された周期性の良好な短周期超格子が、容易に作製できるようになったことを示している。

第3章では、上の方法で作製した InAs/GaAs 短周期超格子の物性について述べている。成長層と下層との間に格子不整合が存在する場合、InAs/GaAs 短周期超格子の表面モフォロジーは、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 混晶と比較して平滑であり、ミスオリエンテーションも小さいこと、また、電気特性やフォノン特性についても特異な現象が見られることを示している。さらに、InAs/GaAs 短周期超格子のエネルギーバンドギャップについて、強結合理論に電気陰性度を考慮して計算し、同一平均組成の混晶と比較してバンドギャップが小さくなることを明らかにしている。

第4章では、光電子非線形素子で重要な役割を果たす光励起キャリアの蓄積現象について、実験と理論の両面から考察している。

第5章では、本研究で考察した、InAs/GaAs 短周期超格子構造のキャリア蓄積層を有する光電子非線形素子について述べている。この素子では、光励起電流における負性微分特性を含む非線形特性が得られ、視覚神経回路受容野特性と同様な光励起電流-電圧特性が得られることを示している。このような特性は、第3章で考察した InAs/GaAs 短周期超格子の物性に起因していることを述べている。

第6章では、第5章で述べた光電子非線形素子を用いて構成したアレイ状の回路を考案し、視覚神経回路の高次機能である選択性機能を、計算により確認している。

第7章では、結論と今後の展望について述べている。

論文審査の結果の要旨

ビット数が膨大な視覚情報の処理には、階層構造超並列処理機能をもつニューラルネットの構築が一つの方法で考えられているが、従来の低次機能の大規模な並列化では配線量が大きな問題となる。配線量の問題を緩和する方法の一つは高次機能をもつ素子を開発し、この小規模並列化をはかることである。本論文は、半導体超格子の特性の研究から高次機能をもつ光電子非線形素子の実現可能性を調べた研究をまとめたもので、主な成果を要約すれば次の通りである。

- (1) 本研究で開発した分子線分離法を用いた分子線結晶成長技術で、InAs/GaAs 短周期超格子を作製し、成長層と下層との間に格子不整があると、この超格子の表面モフォロジーは同一平均組成の InGaAs 混晶のそれと比較して平滑であり、ミスオリエンテーションも小さいことを明らかにしている。InAs/GaAs 短周期超格子のエネルギーバンドギャップを強結合理論に電気陰性度を考慮して計算し、同一平均組成の混晶と比較して小さくなることを示している。
- (2) GaAs キャップ層を有する GaAs/GaAlAs 多重量子井戸構造で、低温で得られる光電子非線形特性に影響を及ぼす光励起キャリアの蓄積効果について考察し、非線形性と線形性の相違は、光励起によって生じた正孔が GaAs キャップ層内に蓄積するとして説明できることを示している。
- (3) GaAs/GaAlAs 多重量子井戸層上の GaAs キャップ層内に、InAs/GaAs 短周期超格子構造の蓄積層を形成した素子を作製し、さらに、素子に順方向電圧を印加することにより、光励起によって生じた電子を室温で蓄積でき、室温で負の光励起電流と負性微分特性といういわゆる DOG 関数的特性が得られることを明らかにしている。また、InAs/GaAs 短周期超格子の特性が、下層との間に格子不整を有する蓄積層を形成する上で、有効に寄与していることを示している。
- (4) InAs/GaAs 短周期超格子を用いた光電子非線形素子の光励起電流特性が、DOG 関数的な特性であることを利用して、視覚神経回路における高次階層ニューロンの特徴抽出機能を近似できる光電子回路を案出している。上記素子と配線抵抗、引き込み電極抵抗を組み合わせたアレイ状の回路を構成することにより、単純細胞、複雑細胞、超複雑細胞などで観察されている方位、運動方向、長さに関する選択性機能が近似できることを、計算により確認している。

以上のように本論文は、半導体超格子の作製と特性解明という基礎的研究から光電子非線形特性を見出し、これを光電子素子に発展させ、さらに視覚神経回路用素子として用いることができることを示したもので、電子材料工学、素子工学、情報処理工学に寄与するところが多い。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。