



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Temperature Dependence of Electric Field Control of Electron Spin Polarization in Semiconductor Quantum Well-Dot Coupled Nanostructures [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	朴, 昭暎
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15543号
Issue Date	2023-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/89813
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Soyoung_Park_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 朴 昭暎

審査担当者 主 査 准教授 樋浦 諭志
副 査 教 授 村山 明宏
副 査 教 授 本久 順一
副 査 教 授 末岡 和久

学位論文題名

Temperature Dependence of Electric Field Control of Electron Spin Polarization in Semiconductor Quantum Well-Dot Coupled Nanostructures

(半導体量子井戸-ドット結合ナノ構造における電子スピン偏極の電界制御の温度依存性)

高度情報社会における主要な課題は、消費エネルギーの抜本的な削減である。そのため、消費電力を著しく抑えた情報処理と保存を可能にする電子のスピン情報を用いる研究が進められている。そして、情報を伝送する光通信に対して、電子と光のスピン情報を相互に変換可能なスピン保存光電変換が注目されている。このスピン情報の光電変換デバイスに用いる光学活性層として、半導体量子ドット (Quantum Dot:QD) を利用する研究が行われてきた。QD では、電子に対する強い量子閉じ込め効果により、電子のスピン情報であるスピン偏極の緩和が抑制され、光電変換時のスピン情報の損失が抑えられるという本質的な利点がある。さらに、QD に注入するスピン偏極電子と正孔の数の比を制御することで、極低温ではあるが電子スピン偏極の向きを反転させることも可能である。この現象は、基礎的な物理の観点からも興味をもたれ、そのスピン反転機構に関する研究が行われてきた。また、この現象を実際のデバイスへ応用する試みもなされ、スピン偏極キャリアの供給源である半導体量子井戸 (Quantum Well:QW) を QD にトンネル結合させることで、QD に注入するスピン偏極電子と正孔の数の比を電界により正確に制御することも可能である。しかしながら、このような電子スピン偏極の電界操作の実用化に向けては、電子スピン偏極の時間変化や実際のデバイス性能の詳細な温度依存性を研究する必要がある。特に、実用上重要な室温におけるデバイス動作を実現するためには、温度上昇に伴う電子や正孔の QD からの熱脱離やスピン偏極の著しい緩和現象に対する対策が必要になる。

本論文は、これらの研究課題に対して、QD に対するスピン偏極電子と正孔の注入の電界制御に関する詳しい温度依存性を研究し、電子のスピン偏極とそのスピン偏極を反映する QD からの発光の円偏光特性の電界制御を室温で実現するための知見を明らかにしている。特に、スピン偏極電子・正孔の供給源である QW の材料に関して、室温で電子のスピン偏極特性を著しく高めることが可能な 1% 程度の窒素を含有する GaNAs を用いることにより、室温においても、数十% のオーダーのスピン偏極率とそのスピン偏極を反映する円偏光特性を電界のみにて制御しうることを明らかにしている。

第 1 章は本研究の背景について説明し、第 2 章は課題とその課題を解決するための本研究の目的について述べている。

第 3 章では実験方法を説明している。p 型 GaAs 基板上に、QW と QD のトンネル結合構造を

含む半導体積層構造を分子線エピタキシー法により成長し、その半導体積層構造の表面に光学窓を設けた金属電極層を作製することで、半導体素子構造の積層方向に電界を印加した。円偏光照射により励起されるスピン偏極電子は QW から QD へと注入され、そのスピン偏極特性を反映する QD からの円偏光発光スペクトルとその時間特性の電界依存性を測定した。さらに、室温動作に向けて、温度を 4 K から室温まで変えながら測定を行っている。

第 4 章では、InGaAs QW-QD 結合構造における室温までの電子スピンドYNAMIKS の電界依存性とその時間特性を明らかにした。その結果、室温においても、電界により円偏光度を 10% 以上変えることに成功した。電子スピンの集団的反転時間を含めたレート方程式を利用して発光の時間特性を解析した結果から、電界により誘起されるスピン反転散乱が室温においても有効であることを明らかにした。第 5 章では、スピン偏極電子の熱脱離を抑制可能な InAs QD を導入し、スピン偏極特性の電界操作に対する温度依存性を明らかにした。その結果、この InAs QD ではキャリアの熱脱離が抑制されることがわかった。しかしながら、室温では、スピン緩和時間より長い発光寿命の影響により発光の円偏光特性は低下した。

第 6 章では、室温でのスピン偏極特性を高めるために、GaAs QW と InAs QD の結合構造を用いたデバイスを作製した。この新しい結合構造における QD の励起状態では、GaAs のもつスピンフィルタ効果により、電界に依存して最大 30% に達する高い円偏光度が得られた。また、円偏光発光の時間特性から、このスピンフィルタ効果によるスピン偏極の増幅効果は電界にも強く依存していることを明らかにした。

第 7 章は本論文の結論を述べている。

これは要するに、著者は、異なる材料の量子井戸とドットの結合構造を用いた電界印加型光デバイスにおいて、実用上重要な室温でも電子スピンの偏極特性の電界制御が可能であることを明らかにし、半導体工学におけるスピン情報の電界操作を可能にするデバイスの開拓として貢献するところ大なるものである。よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。