

## 論文内容の要旨

博士論文題目 スピン光デバイスに向けた電子スピン緩和・輸送の研究

氏名 横田 信英

### (論文内容の要旨)

電子の電荷とスピンの両者を制御するスピデバイスが近年注目されている。その中で、スピン光デバイスは電子のスピン偏極状態と光子の円偏光状態の間に成り立つ光学遷移選択則を利用した新規光デバイスであり、次世代の光通信用デバイスなどへの応用が期待されている。本研究では、D'yakonov-Perel'スピン緩和機構の抑制により、室温で長い電子スピン緩和時間 $\tau_s$ が得られるGaAs(110)基板上多重量子井戸(MQW)に着目し、電子スピンの緩和と輸送を調べることで以下の成果を得た。

① 電子スピンの緩和と輸送を研究する手段として、偏光時間分解フォトルミネッセンス法、時間分解反射率法、時間分解カー回転法による測定系を構築した。各測定法は異なる物理現象を観測するため、得られる物理パラメータや測定感度、時間分解能が異なり、各測定法によるGaAs(110) MQWの測定結果を比較することで新しい知見を得た。まず、励起キャリアが励起子吸収飽和に与えるクーロン効果の励起波長依存性を明らかにした。さらにこれらの測定法で得られる $\tau_s$ を比較し、0.83 ns ~ 1.2 nsの範囲内で同等の値が得られ、測定に利用する物理現象は異なっても $\tau_s$ の測定値に影響しないことがわかった。

② スピン面発光半導体レーザ(VCSEL)の光通信への応用として、発振円偏光スイッチングの高速化が重要である。これまでに、(110) MQWを活性層に用いたVCSELにおいて、約1 GHzの発振円偏光スイッチングが実証されており、その高速化には活性層である(110) MQWの $\tau_s$ を維持したままキャリア寿命 $\tau_c$ を短縮する必要がある。そこで、まず、GaAs(110) MQWをもつマイクロポスト構造を作製し、時間分解カー回転法を用いて $\tau_c$ と $\tau_s$ を77 Kにて測定した。その結果、0.5  $\mu\text{m}$ のポストにおいて、ポスト側面における速い非発光表面再結合によって $\tau_c$ が27 psまで短縮される一方、0.74 nsの長い $\tau_s$ が維持されることがわかった。 $\tau_c$ と $\tau_s$ の測定結果をもとに、マイクロポスト構造をもつスピンVCSELのレート方程式解析を行った結果、サイズ0.5  $\mu\text{m}$ のポスト構造により約13 GHzの高速な発振円偏光スイッチングが期待できることがわかった。

③ 半導体中のスピン偏極電子をスピン緩和させる事無く輸送することは、スピデバイスにおいて重要な課題の一つである。特に、スピン光デバイスでは $\mu\text{m}$  オーダの輸送距離が

要求される。そこで、 $\mu\text{m}$  オーダの電子スピン輸送を室温で観測するために、GaAs(110) MQW の面内方向に電場を印加し、光学的に励起した電子スピンの輸送距離を空間・時間分解カー回転法によって調べた。その結果、電場  $1.75 \text{ kV/cm}$  において約  $37 \mu\text{m}$  の電子スピン輸送を室温で観測することに成功した。この距離はこれまでに報告されている半導体中の室温におけるスピン輸送距離として最長であり、室温で動作するスピン光デバイスにおいては、GaAs(110) MQW をスピン輸送層として用いることが有効であることがわかった。

氏名	横田 信英
----	-------

(論文審査結果の要旨)

スピン光デバイスは電子のスピン偏極状態と光子の円偏光状態の間に成り立つ光学遷移選択則を利用した新規光デバイスであり、次世代の光通信デバイスなどへの応用が期待されている。本論文では、D'yakonov-Perel' スピン緩和機構の抑制により、室温で長い電子スピン緩和時間 $\tau_s$ が得られる GaAs(110)基板上多重量子井戸(MQW)に着目し、電子スピンの緩和と輸送を調べることで、スピン光デバイスとその高性能化に向けた知見を得ることを目的としている。

本論文では電子スピンの緩和と輸送を研究する手段として、偏光時間分解フォトルミネッセンス法、時間分解反射率法、時間分解カー回転法による測定系を構築した。各測定法は異なる物理現象を観測するため、得られる物理パラメータや測定感度、時間分解能が異なり、各測定法による GaAs(110) MQW の測定結果を比較することで、励起キャリアが励起子吸収飽和に与えるクーロン効果の励起波長依存性を明らかにした。さらにこれらの測定法で得られる $\tau_s$ を比較し、0.83 ns ~ 1.2 ns の範囲内で同等の値が得られ、測定に利用する物理現象は異なっても $\tau_s$ の測定値に影響しないことがわかった。

スピン面発光半導体レーザ(VCSEL)の光通信への応用として、発振円偏光スイッチングの高速化が重要であり、その高速化には活性層である(110) MQW の $\tau_s$ を維持したままキャリア寿命 $\tau_c$ を短縮する必要がある。そこで、まず、GaAs(110) MQW をもつマイクロポスト構造を作製し、時間分解カー回転法を用いて $\tau_c$ と $\tau_s$ を 77 K にて測定した。その結果、0.5  $\mu\text{m}$  のポストにおいて、ポスト側面における速い非発光表面再結合によって $\tau_c$ が 27 ps まで短縮される一方、0.74 ns の長い $\tau_s$ が維持されることがわかった。 $\tau_c$ と $\tau_s$ の測定結果をもとに、マイクロポスト構造をもつスピン VCSEL のレート方程式解析を行った結果、サイズ 0.5  $\mu\text{m}$  のポスト構造により約 13 GHz の高速な発振円偏光スイッチングが期待できることがわかった。

半導体中のスピン偏極電子をスピン緩和させる事無く輸送することは、スピンデバイスにおいて重要な課題の一つである。特に、スピン光デバイスでは $\mu\text{m}$ オーダの輸送距離が要求される。そこで、 $\mu\text{m}$  オーダの電子スピン輸送を室温で観測するために、GaAs(110) MQW の面内方向に電場を印加し、光学的に励起した電子スピンの輸送距離を空間・時間分解カー回転法によって調べた。その結果、電場 1.75 kV/cm において約 37  $\mu\text{m}$  の電子スピン輸送を室温で観測することに成功した。

以上のように、本論文では、(110) MQW VCSEL を用い、レーザ発振偏光の高速変調が可能なることを示した。又、(110) MQW 中を、数 10  $\mu\text{m}$  にわたりスピン偏極した電子の輸送が室温で可能なることを示した。これらはスピン光デバイスに向けた重要な知見である。よって審査委員一同は、本論文が博士(工学)の学位論文として価値あるものと認めた。