## InGaAs/AlAsSb 多重量子井戸におけるスピン緩和の観測

Observation of spin relaxation in InGa0.53As0.47/AlAs0.56Sb0.44 multiple quantum wells

<sup>0</sup>石川 友樹<sup>1</sup>, 牛頭 信一郎<sup>2</sup>, 物集 照夫<sup>2</sup>, 浅川 将輝<sup>1</sup>, 大木 俊介<sup>1</sup>, 竹内 淳<sup>1</sup>

(1. 早大先進理工, 2. 産業技術総合研究所)

°T. Ishikawa<sup>1</sup>, S. Gozu<sup>2</sup>, T. Mozume<sup>2</sup>, M. Asakawa<sup>1</sup>, S. Ohki<sup>1</sup>, A. Tackeuchi<sup>1</sup>

(1.Waseda University, 2.AIST)

E-mail address: asdf8974@akane.waseda.jp

近年 InGaAs/AlAsSb 多重量子井戸は伝導帯におい て 1.6 eV の大きなバンドオフセット持つため 1.55μm の波長帯によるサブバンド間遷移を利用した全光ス イッチングデバイスへの応用が期待されている<sup>1-2</sup>。 我々はこれまでに井戸幅 7.0 nm、バリア幅 7.0 nm の InGa<sub>0.53</sub>As<sub>0.47</sub>/AlAs<sub>0.56</sub>Sb<sub>0.44</sub>多重量子井戸における励起 子のスピン緩和を測定した<sup>3</sup>。本研究では円偏光時間 分解ポンププローブ反射計測を用い、井戸幅 11 nm、 バリア幅 11 nm の InGa<sub>0.53</sub>As<sub>0.47</sub>/AlAs<sub>0.56</sub>Sb<sub>0.44</sub>多重量子 井戸のスピン緩和時間を調べた。

サンプルは半絶縁性 InP 基板上に井戸層として InGa<sub>0.53</sub>As<sub>0.47</sub>を 11 nm、バリア層として AlAs<sub>0.56</sub>Sb<sub>0.44</sub> を 11 nm、23 周期の多重量子井戸を Molecular Beam Epitaxy 法により積層したものである。また井戸層と バリア層の間に Sb の偏析を抑えるため AlAs を 1 原 子層挿入している<sup>3</sup>。電子のスピン緩和を観測するた め円偏光時間分解ポンププローブ反射計測を用いた<sup>5</sup>。 励起光源にはフェムト秒超短パルスチタンサファイ アレーザーを使用し、光パラメトリック発振器を用い て赤外光パルスへと変換し、量子井戸の基底準位間の エネルギーを選択励起した。本実験系における時間分 解能はパルスの時間幅に依存し、200 fs である。

Fig.1に10Kにおけるスピン偏極率の時間変化と反 射率の時間変化(挿入図)の結果を示す。I+はポンプ 光とプローブ光が同一円偏光の場合、Iは逆円偏光の 場合の結果である。単一指数関数近似を用いて求めた スピン緩和時間は 30.4 ps であった。Fig.2 に本サンプ ルと以前報告した井戸幅が 7.0 nm の InGaAs/AlAsSb 多重量子井戸におけるスピン緩和時間の温度依存性 の結果を示す<sup>3</sup>。10-30 K ではスピン緩和時間の温度 依存性は見られず、30-200Kでは以前の結果における 30-100 K での正の温度依存性と同程度の依存性が見 られた。また 200-300 K では以前の結果における 200-300 K と同様の負の温度依存性が得られた。以上 の結果から10-30Kでは電子とホールの交換相互作用 に起因し、温度依存性を持たないスピン緩和メカニズ ムである Bir-Aronov-Pikus 効果が寄与していると考え られる<sup>6</sup>。30-200 K で見られた正の温度依存性は、温 度上昇にともなってホールが価電子帯の連続準位に 熱的に励起されたことにより、電子とホールの交換相 互作用の寄与が徐々に減少したことで見られたと考 えられる。また200-300 K では負の温度依存性を持ち、 キャリア濃度依存性を持たない D'yakonov-Perel' (DP) 効果が寄与していると考えられる<sup>7</sup>。井戸幅が広くなったことでスピン緩和時間が遅くなっているのは DP 効果においてスピン緩和時間が量子化エネルギーが 大きいほど速くなることによると考えられる。



**Fig. 1** Time evolution of spin polarization and reflection intensity (inset) in InGaAs/AlAsSb quantum wells at 10 K.



Fig. 2 Temperature dependence of spin relaxation time for InGaAs/AlAsSb quantum wells.

- <sup>1</sup>T. Akiyama et al., Electron. Lett. **37**, 129 (2001).
- <sup>2</sup> T. Mozume et al., J. Cryst. Growth **301-302**, 177 (2007).
- <sup>3</sup> K. Sasayama et al., App. Phys. Lett. **100**, 092401 (2012).
- <sup>4</sup> J. Kasai et al., J. Cryst. Growth **278**, 183 (2005).
- <sup>5</sup> A. Tackeuchi et al., Appl. Phys. Lett. 56, 2213 (1990),
- <sup>6</sup> G. L. Bir et al., Sov. Phys. JETP, 42, 705 (1976).
- <sup>7</sup> M. I. D'yakonov et al., Zh. Eksp. Teor. Fiz. **60**, 1954 (1971)[Sov. Phys. JETP **33**, 1053 (1971)].