

Si ドープ $\text{In}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}/\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}/\text{AlAs}_{0.56}\text{Sb}_{0.44}$ 結合量子井戸におけるスピン緩和Spin relaxation in Si doped $\text{In}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}/\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}/\text{AlAs}_{0.56}\text{Sb}_{0.44}$ coupled double quantum wells○石川 友樹¹, 牛頭 信一郎², 物集 照夫², 大木 俊介¹, 山田 築¹, 亀崎 拓也¹, 竹内 淳¹早大先進理工¹, 産業技術総合研究所²○T. Ishikawa¹, S. Gozu², T. Mozume², S. Ohki¹, K. Yamada¹, T. Kamezaki¹ and A. Tackeuchi¹Waseda Univ.¹, AIST²

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

$\text{InGaAs}/\text{AlAsSb}$ 結合量子井戸(CDQWs)は、1.7 eV の大きな伝導帯バンドオフセットを持つため通信波長帯である波長 1.55 μm のサブバンド間遷移を利用した全光型スイッチングデバイスへの応用が期待されている^{1,2}。我々はこれまでに井戸層幅 2.8 nm、バリア層幅 2 nm、 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 中間層幅が 3 原子層のノンドープ $\text{In}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}/\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}/\text{AlAs}_{0.56}\text{Sb}_{0.44}$ 結合量子井戸における電子のスピン緩和を測定し、温度 10 K において 6.31 ps と 249 ps の 2 成分のスピン緩和時間を観測した³。本研究では井戸層へ Si をドープした $\text{In}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}/\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}/\text{AlAs}_{0.56}\text{Sb}_{0.44}$ 結合量子井戸のスピン緩和時間を円偏光時間分解ポンププローブ反射計測を用いて調べた。

サンプルは半絶縁性 InP 基板上に Si を $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ドープした $\text{In}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ 井戸層 2.9 nm、 $\text{AlAs}_{0.56}\text{Sb}_{0.44}$ バリア層 2 nm、井戸層間に $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 中間層を 2 原子層、これらを 60 周期 Molecular Beam Epitaxy 法により積層した結合量子井戸 (Fig. 1) 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 2 原子層挿入している⁴。中間層が $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ である理由は、サブバンド間 (e1-e4) とバンド間 (hh1-e1) の光吸収波長を共に通信波長帯の 1.55 μm に近づけるためである⁵。電子のスピン緩和の観測には円偏光時間分解ポンププローブ反射計測を用いた⁶。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。

Figure 2 (a) に温度 10 K、励起光強度 40 mW におけるポンププローブ反射計測の結果を示す。 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。また Fig. 2 (b) に (a) から求めたスピン偏極率の時間変化を示す。単一指数関数近似により求めたスピン緩和時間は 32.4 ps であった。以前報告したノンドープ $\text{In}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}/\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}/\text{AlAs}_{0.56}\text{Sb}_{0.44}$ 結合量子井戸のスピン緩和は二重指数関数で近似でき緩和成分は 2 つだったが、本サンプルでは単一指数関数近似により 1 つの緩和成分のみが見られた。

10 K において本サンプルのスピン緩和時間は励起光強度を 40 mW, 50 mW, 60 mW と変化させると緩やかに速くなった。よって低温でキャリア濃度依存性を持つ緩和メカニズムである Bir-Aronov-Pikus 効果が 10 K で寄与していると考えられる⁷。

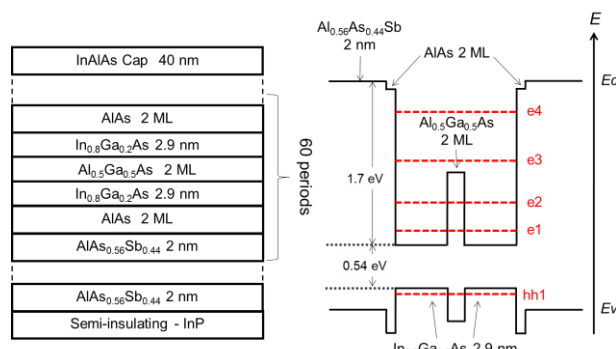


Fig. 1 Sample structure and energy band diagram of $\text{InGaAs}/\text{AlAsSb}$ CDQWs.

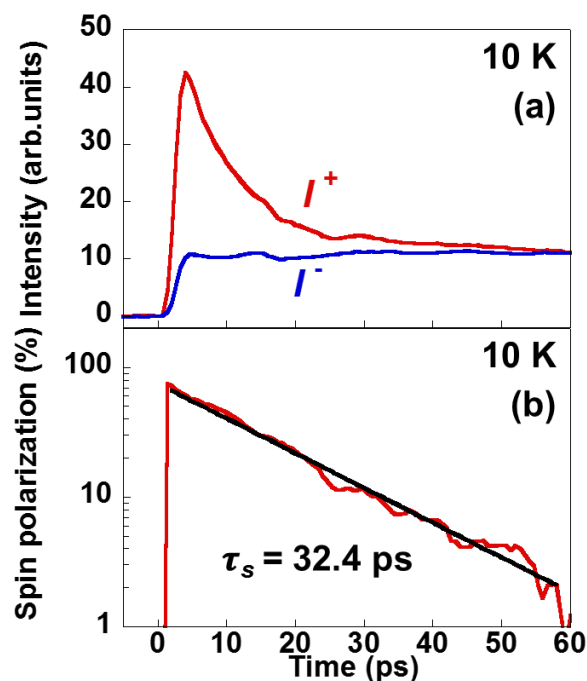


Fig. 2 Time evolutions of (a) spin-dependent reflection intensity and (b) spin polarization in $\text{InGaAs}/\text{AlAsSb}$ CDQWs at 10 K.

¹ R. Akimoto et al., App. Phys. Lett. **91**, 221115 (2007).

² T. Mozume et al., J. Vac. Sci. Technol. B **28**, C3C25 (2010).

³ 石川 他, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会 20p-S223-8 (2016).

⁴ J. Kasai et al., J. Cryst. Growth. **278**, 183 (2005).

⁵ T. Mozume et al., Phys. Stat. Sol. C **9**, 334-337 (2012).

⁶ A. Tackeuchi et al., Appl. Phys. Lett. **56**, 2213 (1990).

⁷ G. L. Bir et al., Sov. Phys. JETP, **42**, 705 (1976).