

ポンプ-プローブ法による Er,O 共添加 GaAs における 光励起キャリアの緩和機構に関する研究

【研究目的】Er,O 共添加 GaAs は、Er イオンの 4f 殻内遷移に起因した、波長の温度依存性の極めて小さい発光を示すことが知られている。この発光は石英系光ファイバの最低損失波長である $1.54 \mu\text{m}$ に相当するため、波長超安定レーザー光源用材料として非常に有望である。しかしながら、Er,O 共添加 GaAs を活性層に用いた発光ダイオードにおいて、活性層厚が大きくなるに伴い Er の励起効率が悪化することが観測されている。この原因として、Er 添加により形成されるトラップ準位によってキャリアの拡散距離が低下することが考えられる。本研究では、この原因の解明を目的に、ポンプ-プローブ光反射率変化測定法による、Er,O 共添加 GaAs における光励起キャリアの緩和機構の評価を行った。

【方法】ポンプ-プローブ光反射率変化測定法は、室温、200 K、100 K および 12 K にて行った。実験に用いた Ti:sapphire レーザのパルス幅は 100 fs、繰り返し周波数は 82 MHz である。また、波長は 790 ~ 850 nm であり、この波長は GaAs のバンドギャップエネルギー (~1.43 eV) より十分大きいエネルギーを持つため、GaAs 内のキャリアを励起することができる。

【結果】無添加 GaAs において反射率変化は単調減少の傾向を示した。一方 Er,O 共添加 GaAs においては、反射率変化が bandgap renormalization により負の値を示した後、増加するという特徴的なディップ構造が観測された。負のピークからの回復は伝導帯の電子密度の減少をあらわしており、早い成分 τ_{fast} と遅い成分 τ_{slow} の 2 成分が見られた。フィッティングにより得られる τ_{fast} の値は Er,O 高濃度添加 GaAs において室温で 7.8 ps であり、Er トラップに捕獲された正孔と伝導帯の電子が再結合する過程を示すと考えられる。一方、 τ_{slow} の値は 38 ps であり、トラップ準位で再結合した電子と正孔が 4f 殻へエネルギーを伝達する過程に対応すると考えられる。我々はこの Er,O 共添加 GaAs における、光励起キャリアの緩和モデルを検証するために τ_{fast} の Er 濃度依存性を調べ、電子捕獲断面積 σ_n として、 $6 \times 10^{-16} \text{ cm}^2$ を得た。参考までに、Yb 添加 InP において DLTS 法により得られている σ_n の値は $4 \times 10^{-16} \text{ cm}^2$ であり、我々の測定結果と非常に近い値をとっている。また、Er,O 高濃度添加 GaAs における緩和時間 τ_{fast} の温度依存性を測定し、更なる検証を行った。その結果を図 1 に示す。 τ_{fast} は温度の $-1/2$ 乗に比例し、得られる σ_n の値は $5 \times 10^{-16} \text{ cm}^2$ となった。このように非常に近い σ_n の値が得られたことは、我々の緩和モデルを支持する結果といえる。以上の結果は Er,O 共添加 GaAs においてピコ秒の時間スケールで発現する光励起キャリアの緩和を示唆しており、電流注入による非平衡キャリアの拡散距離の減少に対応するものと考えられる。

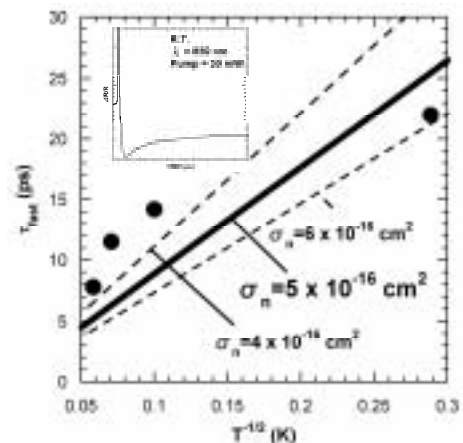


図 1 Er,O 高濃度添加 GaAs における
緩和時間 τ_{fast} の温度依存性