

光励起によるスピン・バレー偏極の 輸送特性に関する研究

京都大学 大学院理学研究科 准教授

中 暢子

(お問い合わせ先) E-MAIL : naka@scphys.kyoto-u.ac.jp



研究の背景

次世代省エネルギー社会の実現に向けて、電子や正孔（すなわちキャリア）の電荷自由度を用いる従来のエレクトロニクスとは異なり、“キャリアのスピン自由度”を用いる量子情報技術への関心が高まっています。量子情報処理を行う量子コンピュータの実現には、情報輸送の担い手となる、ライフタイムと拡散長の長いキャリアの存在が必要です。

本研究では、量子ビット実現の主要材料として期待されているダイヤモンドおよびシリコンにおいて、光励起により生成されるキャリアに着目しました。これらの半導体では、電子スピンの長い保持時間が期待される一方、光とキャリアの結びつきが弱いため、スピンやバレー偏極といった新しい自由度の光励起による活用法が長く未開拓のままでした。

研究の成果

キャリアの輸送特性を決定するライフタイムと移動度の同時測定を行うために、私たちは「ナノ秒時間分解サイクロトロン共鳴法」という新しい実験手法を確立しました（図1）。電荷を直接注入する場合と異なり、光励起されたダイヤモンドにおいて低不純物濃度であれば、電子の長いライフタイムときわめて高い移動度が得られることが分かりました。

ダイヤモンド中の電子は正孔と結合し、励起子と呼ばれる、水素原子のような新たな結合状態を生成します。本研究において、励起子のスピン状態の違いによるエネルギー微細構造を見だし、その起源を明らかにしました。また、スピン状態を揃えた励起子を選択的に光生成し、その性質を保ったまま空間拡散する様子を発光のスナップショットとして捉え（図2）、これまでの理論予想を大きく上回る長い励起子拡散長を実証しました。

シリコンにおいては、バレー自由度（伝導帯の谷の位置）が異なる電子を区別して観測し、電子のバレー偏極がスピン保持時間と同程度まで長く保たれることを明らかにしました。そしてこのためには、特定の偏光および波長

の光でキャリア生成を行うことが重要であることが分かってきました。

今後の展望

以上の成果は、光励起により生成されるキャリアが持つ自由度の新しい可能性を示すものです。その知見をもとに、現在では、光励起される電子のバレー自由度を活用するための輸送制御に取り組んでいます。本研究は真性半導体に関する基礎研究ですが、量子情報処理の基盤構築に加え、ダイヤモンドのパワーデバイス応用や、励起子発光を利用する深紫外発光ダイオードへの波及効果も期待されます。

関連する科研費

- 2009-2011年度 若手研究 (B) 「高密度電子正孔系のオージェ再結合と熱化ダイナミクス」
- 2014-2016年度 基盤研究 (C) 「間接遷移型半導体におけるスピン偏極キャリアの光注入」
- 2017-2020年度 基盤研究 (B) 「光初期化したデルタバレー偏極の空間輸送制御」

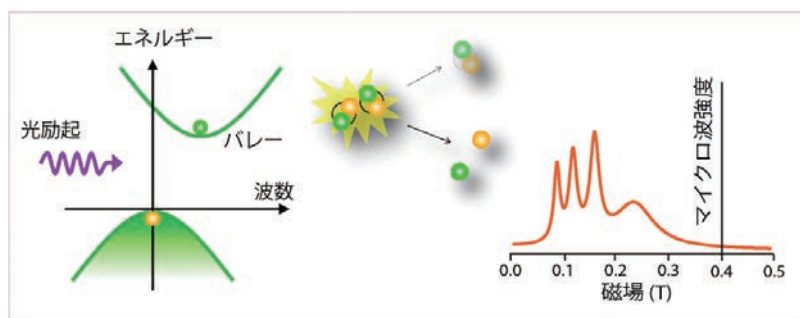


図1 パルス光励起による時間分解サイクロトロン共鳴の概念図

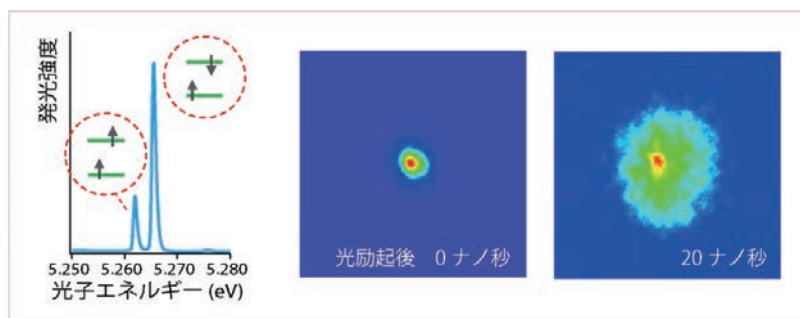


図2 励起子微細構造と励起子拡散のスナップショット