

高周波 ESR 装置を活用した光キャリアダイナミクスの研究

【代表者】

秋元郁子 和歌山大学 システム工学部 准教授

【共同研究者】

松岡秀人 大阪市立大学 理学研究科 特任准教授

【研究概要（申請書より抜粋）】

エレクトロニクス材料として高度に電子化された現代社会を支えてきた半導体は、近年、電荷に代わるスピンや角運動量などの新たな自由度の利用が検討されるようになり、その基礎物性をさらに詳しく調べる機運が高まってきている。申請者は、和歌山大学において、X-band (マイクロ波 9.6GHz)ESR 装置を用いて、光キャリアダイナミクスについて研究を進めてきた。その結果、IV 族半導体において、キャリアの光注入過程や、バレー分極の実現性について、新たな知見を見だし学術雑誌等で報告してきた。すべての自由度の持続時間を司るキャリア散乱過程について広い温度領域に渡り観測し、また、この手法を他の機能性材料にも適用するためには、マイクロ波周波数を高周波化し、これまで、捉えられなかった速い過程を調べる必要がある。本研究では、大阪市大理学研究科にある共同利用装置である高周波マイクロ波 (Q-band 34 GHz, W-band 94 GHz) に対応した ESR 装置を利用して、光キャリアのダイナミクスについて補完的・発展的な情報を引き出す研究を行う。H29 年度の共同研究において、Q-band で定常的光励起による光キャリア観測が可能であることが実証されたので、高周波化による利点を活かした研究をさらに推進する。

【研究成果（報告書より抜粋）】

本研究は、次世代半導体材料において電荷に代わるスピンや角運動量などの新たな自由度を利用するための基礎物性を明らかにすることを目的としている。光注入した自由キャリアのダイナミクスについて、これまで得られている結果を補完しさらに発展的な結果を得るために共同研究を実施した。具体的には、和歌山大学システム工学部の他に、大阪市大理学研究科の共用施設である X-, Q-band ESR 装置を利用して、次の 1) – 3) を実施し、それぞれ成果を得た。

- 1) 高純度 GaAs 半導体結晶を新たに購入し、Q-band ESR 装置で光励起強度を最適化したうえで、光キャリア測定を行った結果、マグネトプラズマ共鳴の現象を観測した。このことから、キャリア寿命が短い系では十分励起強度を下げても高いキャリア密度が構築されることが明らかになった。
- 2) Q-band ESR 装置で紫外光励起とのカップリングをさらに改善する試料ホルダーをメーカー（シグマ光機）と検討した。深紫外領域の光励起を可能とするためには、厳選した素材で精密な細工を施す必要があるため、価格面で折り合いがつかず、2018 年度内に高純度ダイヤモンド結晶での広い温度領域での測定には至らなかったため、光ファイバーを用いる方法を検討することとした。
- 3) 技術交流により極低温での温度安定性が向上し、2.4 ~ 3.2 K での計測が可能になったため、ダイヤモンド結晶での極低温でのキャリア散乱時間を評価できるようになった。その結果、極低温でバンドの不均一性を示唆する結果を得るに至り、一部は国際会議で発表した。
- 4) さらに、半導体中の光応答の基礎物理をミクロな観点から調べる目的で、分子科学研究所の共同利用施設の X-band ESR 装置を用いて、半導体中光誘起スピンの相互作用についての研究をパルス ESR 測定により実施した。マイクロ波の任意波形パルスを用いて、効率的にスピン系の励起を行う方法を開拓し、光誘起電荷スピンの相互作用を調べ、光励起強度に依存するスピン濃度と相互作用の関係性を見出し、国内・国外学会で報告した。

研究業績

※助成期間中に本研究課題を基に発表した著書、学術論文、学会発表、報告書等

秋元郁子, 松岡秀人, 関谷隆夫, 「マイクロ波パルスで断熱的に励起した電子・正孔スピン間の相互作用観測」	Mar., 2019	国内学会発表：日本物理学会第74回年次大会(九州大学伊都キャンパス)
K. Konishi, <u>I. Akimoto</u> , <u>H. Matsuoka</u> , Ian Friel, J. Isberg, N. Naka, ”Influence of internal strain on the carrier transport properties in diamond ”	Mar., 2019	国際会議発表：Hasselt Diamond Workshop 2019 (Hasselt, Belgium)
秋元郁子, 松岡秀人, 関谷隆夫, 「任意波形パルスを用いた半導体結晶中にトラップされた電子・正孔スピン間の距離測定」	Nov., 2018	国内学会発表：第57回電子スピサイエンス学会(北海道大学)
<u>Ikuko Akimoto</u> , <u>Hideto Matsuoka</u> , and Takao Sekiya, “Double electron-electron resonance with arbitrary-waveform pulses: application to randomly distributed electron and hole spins in a semiconductor”	Sept., 2018	国際会議発表：APES-IES2018 (Brisbane, Australia)
小西 一貴, 小原 慧一, Ian Friel, J. Isberg, 松岡 秀人, 秋元 郁子, 中 暢子, 「高純度ダイヤモンドにおける励起子寿命に対する歪みの影響」	Sept., 2018	国内学会発表：日本物理学会2018年秋季大会(同志社京田辺キャンパス)
K. Konishi, <u>I. Akimoto</u> , <u>H. Matsuoka</u> , Ian. Friel, J. Isberg, N. Naka, “Evaluation of the exciton effective mass in intrinsic diamond”	July, 2018	国際会議発表：EXCON 2018 (Nara, Japan)