

電荷・スピン・光子のテラヘルツ量子インターフェース

Terahertz quantum interface of charges, spins, and photons

東大生研 [○]黒山 和幸

Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, [○]Kazuyuki Kuroyama

E-mail: kuroyama@iis.u-tokyo.ac.jp

半導体量子ドットに局在したスピンは、量子コンピュータを構成する量子ビットとして、近年飛躍的な性能の向上を見せており、商用化が検討されつつある。一方で、隣接する量子ドット間でしか量子情報のやり取りができないため、ハードウェアの拡張性や量子アルゴリズムの実装自由度が制限されているのが現状である。そこで、空間的に局在したスピンの量子情報をコヒーレンス長の長い光や電磁波に転写することで、情報を離れた場所へ伝送させる実証実験が試みられている。先行研究の例として、半導体のバンド間遷移（可視光・近赤外領域）[1] や結合量子ドットの軌道分裂（マイクロ波領域）[2] を用いてスピンと光・電磁波とのコヒーレント変換が実証されてきた。しかし、量子ドットが本来形成している量子化された軌道の励起（テラヘルツ（THz）領域）はこれまで積極的に用いられてこなかった。

以上の背景のもと、本研究では、量子ドットの軌道励起を介したスピンと THz 電磁波とのコヒーレント結合を提案する。電気双極子相互作用と GaAs などの半導体を持つスピン軌道相互作用との同時作用によって、スピン反転を伴う電子の光励起と THz 電磁波とのコヒーレント結合を実現するための研究を行う（Fig.1）。特に近年、モード体積の極めて小さいメタマテリアル光共振器を用いることで、電気双極子相互作用を格段に向上できることが分かってきた [3]。それにより、先行研究と比較して3桁以上大きなスピン・電磁波結合を実現できると期待できる。

本講演では、上記の研究提案にさきがけて行った、THz 帯域に共振周波数を持つメタマテリアル光共振器とその近傍に形成された GaAs 半導体量子ドットに捕捉された電子との間のコヒーレント結合について最近の実験結果を紹介する（Fig.2）。さらに、電子の持つスピン自由度とテラヘルツ電磁波の結合方法について、理論的な研究を行った結果を報告する。

参考文献: [1] K. Kuroyama et. al., PRB 99, 085203 (2019). [2] A.J. Landig et. al., Nature 560, 179 (2018). [3] G. Scalari et al., Science 335, 1323 (2012).

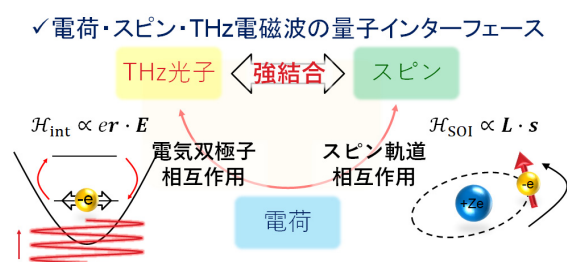


Fig. 1. 量子ドットに局在する電子スピンと THz 電磁波との間で実現するコヒーレント結合の概念図。

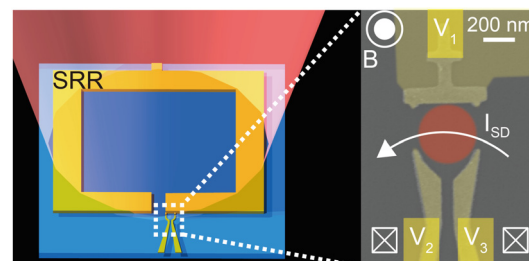


Fig. 2. 量子ドット・THz メタマテリアル共振器（SRR）結合系試料の概念図（左）と量子ドット（赤）近傍の電子顕微鏡写真（右）。