

## 半導体量子状態を用いた核スピン計測

### Nuclear Spin Metrology Based on Semiconductor Quantum Systems

東北大理<sup>1</sup>, 東北大 CSIS (Core Research Cluster)<sup>2</sup>, 東北大 CSRN<sup>3</sup> ◯平山祥郎<sup>1,2,3</sup>

Graduate School of Science, Tohoku Univ.<sup>1</sup>, CSIS (Core Research Cluster), Tohoku Univ.<sup>2</sup>, CSRN,

Tohoku Univ.<sup>3</sup> ◯Yoshiro Hirayama<sup>1,2,3</sup>

E-mail: hirayama@m.tohoku.ac.jp

半導体量子状態 (2次元系や1次元系) の特徴を活かした核磁気共鳴 (NMR)、特に抵抗検出 NMR (RDNMR)<sup>1)</sup> は GaAs 系の量子構造において電子スピン状態の高感度計測などに力を発揮している。この手法の魅力は、量子構造のチャンネルを流れる電子自身が核スピン偏極の形成、測定に寄与しており、半導体内部にある量子状態の特性を直接、正確に計測できることにある。NMR のナイトシフト、四重極分離、 $T_1$  時間を利用することで、半導体量子系の電子スピン偏極度、歪、電子スピン揺らぎ、さらには電子系の相互作用の高感度計測が可能になる。

具体例として、2次元系ではランダウ準位のスピン状態が正確に決定され<sup>2)</sup>、ナノプローブと組み合わせたナイトシフトマッピングも実現されている<sup>3)</sup>。さらに、電子スピン系と核スピン系のユニークな相関の可能性も示された<sup>4)</sup>。1次元系である量子ポイントコンタクトにおいても RDNMR は可能で<sup>5)</sup>、0.7 構造などの解明に向けて低磁場まで RDNMR が実現され<sup>6)</sup>、量子構造でチャンネルの位置が変わることにより電子が感じる歪が変化することも明瞭に観測されている<sup>7)</sup>。

量子状態を利用した NMR は光を用いた測定も可能であり<sup>8)</sup>、GaAs 系以外に InSb 系にも応用されている<sup>9)</sup>。核スピンが関係した特性はトポロジカル絶縁体やスピントロニクス構造でも注目されはじめており<sup>10)</sup>、今後、核スピン計測の様々な分野への広がりが期待できる。

謝辞：新学術領域「ハイブリッド量子科学」などの研究支援に感謝する。

参考文献：

- 1) Y. Hirayama et al., *Semicond. Sci. Technol.* 24, 023001 (2009) [Topical Review]; Y. Hirayama, Chapter 38, *Quantum Hall Effects (3rd Edition)* (World Scientific, 2013).
- 2) L. Tiemann et al., *Science* 335, 828 (2012); 東田他、物理学会 (2016 秋); 長谷川他、物理学会 (2018 秋).
- 3) K. Hashimoto et al., *Nature Comm.* 9, 2215 (2018).
- 4) M. H. Fauzi et al., *Phys. Rev. B* 90, 235308 (2014); Y. Hama et al., *New J. Phys.*, 18, 023027 (2016); Y. Hama et al., *Phys. Rev. Lett.* 120, 060403 (2018).
- 5) K. R. Wald et al., *Phys. Rev. Lett.* 73, 1011 (1994); M. Kawamura et al., *Phys. Rev. Lett.* 115, 036601 (2015).
- 6) M. H. Fauzi et al., *Phys. Rev. B* 95 (RC), 241404 (2017); M. H. Fauzi et al., *Phys. Rev. B* 97 (RC), 201412 (2018).
- 7) M. H. Fauzi et al., arXiv:1812.08935 (2018).
- 8) K. Akiba et al., *Phys. Rev. Lett.* 115, 026804 (2015); K. Akiba et al., *Phys. Rev. B* (RC) B94, 081104 (2016); J. N. Moore et al., *Phys. Rev. Lett.* 118, 076802 (2017).
- 9) H. W. Liu et al., *Phys. Rev. B* 82(RC), 241304 (2010); K. Yang et al., *Nature Comm.* 8, 15084 (2017).
- 10) J. Tian et al., *Science Adv.* 3, e1602531 (2017); Y. Shiomi et al., *Nature Phys.* 15, 22 (2019).