

## 半導体量子ドットによる circuit-QED

### Circuit-QED using semiconductor quantum dots

○ 樋田 啓 (NTT 物性科学基礎研究所)

○ Hiraku Toida (NTT Basic Research Laboratories)

E-mail: toida.hiraku@lab.ntt.co.jp

微細加工により作製される半導体量子ドットはマイクロ波領域にエネルギー遷移を持ち、人工原子としての制御性の高さや量子ビットとしての応用可能性などから活発に研究が行われている。半導体量子ドットによるレーザー発振の可能性、すなわちマイクロ波共振器との相互作用の可能性はマイクロ波光子を介在するトンネル伝導が報告された直後である 1995 年に指摘された [1]。その約 10 年後、超伝導共振器との結合可能性の具体的なパラメータを含む理論提案 [2] がなされた。半導体量子ドットによる circuit-QED の実験的研究が芽吹くのにはさらに 10 年近くの歳月がかかった。2011 年から数年の間に引き続いて、カーボンナノチューブ [3]、GaAs/AlGaAs 2 次元電子系 [4, 5]、InAs 細線 [6]、グラフェン [7] 等の様々な材料を利用した量子ドットで超伝導共振器との結合の報告が行われた。これらの系では、量子ドットと超伝導共振器はゲート電極等を介して静電的に結合し、典型的には数十 MHz 程度の結合強度が得られる。

半導体量子ドットにはソース・ドレイン間に電圧を印加することにより、容易に基底状態から励起状態へポンピングが行えるという特徴がある。この特徴を生かしたフォトン生成の実験が近年報告されている [8, 9]。特に、InAs 細線を用いた系では GaAs/AlGaAs 等に比べて高いポンピングレートを稼げるためレーザー発振が実現している [9]。

これまでに行われた circuit-QED の実験は主に電子の電荷自由度を利用する量子ドットで行われたものであったが、スピン自由度を利用した実験が最近報告された [10]。この実験はカーボンナノチューブ系量子ドットで行われ、電荷量子ドットの場合より高いコヒーレンス特性が示された。

講演では、半導体量子ドットによる circuit-QED について概観し近年の進展について述べるとともに、circuit-QED の技術を援用して行う電子スピン共鳴についても述べる。

[1] L. Kouwenhoven, *Science* **268**, 1440–1441 (1995).

[2] L. Childress, A. S. Sørensen, M. D. Lukin, *Phys. Rev. A* **69**, 042302– (2004).

[3] M. R. Delbecq *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **107**, 256804– (2011).

[4] T. Frey *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **108**, 046807– (2012).

[5] H. Toida, T. Nakajima, S. Komiyama, *Phys. Rev. Lett.* **110**, 066802– (2013).

[6] K. D. Petersson *et al.*, *Nature* **490**, 380–383 (2012).

[7] G.-W. Deng *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **115**, 126804 (2015).

[8] A. Stockklauser *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **115**, 046802 (2015).

[9] Y.-Y. Liu *et al.*, *Science* **347**, 285–287 (2015).

[10] J. J. Viennot *et al.*, *Science* **349**, 408–411 (2015).