

超微細加工領域における支援成果

常伝導や超伝導金属と結合した量子リング素子作製

<sup>a</sup>東京理科大学、<sup>b</sup>物質・材料研究機構

井上 亮太郎<sup>a</sup>, 金 鮮美<sup>b</sup>, 神尾 充弥<sup>a</sup>, 高柳 英明<sup>a, b</sup>

【研究目的】

リング状の半導体ナノ構造(量子リング)はAharonov-Bohm効果、Aharonov-Casher効果をはじめとする様々な電子波の量子干渉効果を観察できる理想的な量子システムである。量子リングにおけるスピン依存輸送特性には、これまで量子ドットにおいて知られていない現象もあり、量子コンピュータへの応用面においても新しい可能性を開くことが期待できる。量子リングは、これまで主に光学的特性を中心に研究されてきたが、単一の量子リングに直接電気的な配線をしてその輸送特性を調べる研究はまだほとんど行われていない。本研究では、輸送特性や量子干渉効果などを調べるため、電子線描画装置及び原子間力顕微鏡を用いて、常伝導や超伝導金属の電極作製を試みた。

【成果】

図1(a)にインジウム砒素(InAs)量子リングの原子間力顕微鏡(AFM)像を示す。金属及び超伝導体電極を量子リング素子に配線するため、次のようなプロセスで作製した。(1) リング基板にアドレスパターンを電子線描画装置によって作製 (2) 原子間力顕微鏡を使い量子リングの相対的な位置を把握 (3) 電極パターンを電子線描画装置で描画 (4) 表面酸化膜除去用化学的エッチング (5) 金(Au)及びアルミ(Al)の蒸着によって金属電極を作製。図1(b)のように、金属電極をナノリングに10 nm以下の誤差でつけることに成功した。

図2(a)は、金電極を持つ量子リング試料を0.26 Kで測定した電極—電圧特性である。図2(b)の微分抵抗の値は40 kΩ以上であり、量子抵抗( $h/e^2$ )よりも高い抵抗を持つ。したがって、InAsリングと電極間結合は単一電子のトンネリングを許す弱結合の範囲にあることを表している。また、磁場依存性を調べるため、量子リング面に垂直で磁場を印加し、ゼロバイアスの微分抵抗を調べた。その結果、図2(c)のように0.53Tの周期をもつ磁気抵抗振動が見られる。この周期は、直径100 nmのリングにおける単一電子の量子干渉現象の値と一致することで、Aharonov-Bohm効果として考えられることが分かった。今後、トップ或いはサイドゲートを作製し、電極との結合やスピン軌道相互作用の制御について調べる予定である。

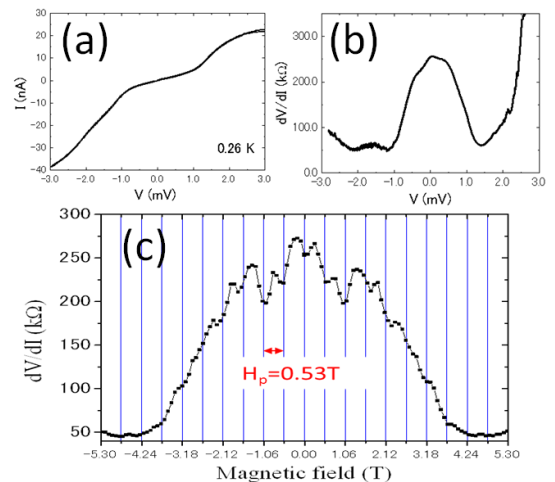
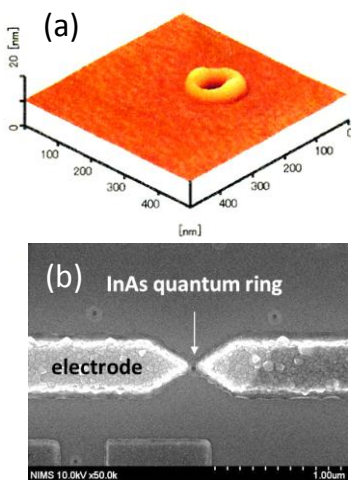


Fig. 1. (a) Atomic force microscope (AFM) image of InAs quantum ring. (b) Scanning electron microscope (SEM) image of quantum ring device.

Fig. 2. (a) I-V characteristics at 0.26 K and (b) its differential conductance  $dV/dI$ . (c) Differential resistance oscillation at zero bias voltage as function of magnetic fields.