

集束イオンビームを用いた超伝導回路のマスクレス描画

Mask-less patterning for superconducting circuits using focused ion beam

○松本 凌^{1, 2}, E. S. Sadki³, 青戸 淳之介⁴, 山本 紗矢香^{1, 2}, 齋藤 嘉人^{1, 2},
足立 伸太郎¹, 田中 博美⁴, 竹屋 浩幸¹, 高野 義彦^{1, 2}

(1. 物材機構, 2. 筑波大, 3. UAE 大, 4. 米子高専)

○Ryo Matsumoto^{1, 2}, E. S. Sadki³, Jun-nosuke Aoto⁴, Sayaka Yamamoto^{1, 2}, Yoshito Saito^{1, 2},
Shintaro Adachi¹, Hiromi Tanaka⁴, Hiroyuki Takeya¹, Yoshihiko Takano^{1, 2}

(1. NIMS, 2. Univ. of Tsukuba, 3. UAE Univ., 4. NIT, Yonago Collage)

E-mail: MATSUMOTO.Ryo@nims.go.jp

集束イオンビーム (FIB) は、マスクレスで試料を選択エッチングすることが可能な微細加工技術である。同種の微細加工技術であるリソグラフィと比べても、パターン毎にマスクを用意する必要がなく、レジストや現像液などの有機薬品による試料の劣化も生じない利点がある。さらに FIB では、基板表面に原料ガスを吹き付けながらイオンビームを走査することによって、任意形状の薄膜を堆積させることができる (FIB-CVD)。特に $W(CO)_6$ を原料として得られる薄膜は $T_c \sim 5.8$ K の超伝導を示すことが知られており [1]、SQUID 応用に向けた SNS ジョセフソン構造の直接描画の成功例も報告されている [2]。我々のグループでは、FIB のエッチング機能とデポジション機能、それぞれの観点から超伝導回路を直接描画する方法を模索してきた。本講演では、Si 基板をエッチングすることで発現する超伝導と、ホウ素ドーパアモルファスカーボン膜の直接合成に関する研究の進捗を報告する。

Table 1 に、様々な基板上に線状の FIB エッチング加工を施したときの光学顕微鏡写真と、加工部の電気抵抗-温度 (R - T) 特性をまとめる。この結果から、基板の化学種や導電性の有無にかかわらず、Si 基板上の加工部のみ明瞭な超伝導転移を示すことがわかる。 T_c は ~ 7 K と比較的高く、過去にイオン注入装置を用いて作製された Ga-doped Si の超伝導特性とよく似ている。FIB により Si 基板をエッチングするだけで超伝導の回路を描画できるため、デバイスへの応用が期待できる。

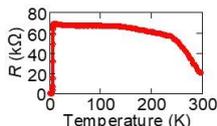
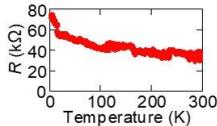
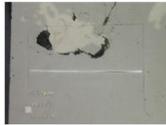
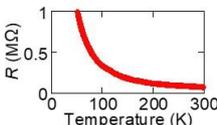
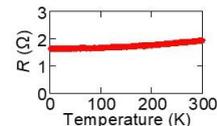
一方で最近、高濃度にホウ素を注入したアモルファスカーボン薄膜で、 $T_c \sim 36$ K の高温超伝導が報告された。我々は、FIB-CVD の原料ガスに有機ホウ化物を用いて、ホウ素ドーパアモルファスカーボンの直接合成を試みた。その結果、ホウ素濃度が低く超伝導特性は示さないながらも、任意形状のアモルファスカーボンを成膜することに成功した。講演では、これら 2 つのトピックに関しての進捗を発表する。

[1] E. S. Sadki et al., Appl. Phys. Lett. **85**, 6206 (2004).

[2] J. Dai et al., J. Micromech. Microeng. **24**, 055015 (2014).

[3] A. Bhaumik et al., ACS Nano **11**, 5351 (2017).

Table 1. Ga-irradiation effect on various substrates

Substrate	Microscope image	R-T property
Silicon		
Undoped diamond		
Boron-doped diamond		
ITO glass		
SiO ₂ glass		R > 40 MΩ at 300 K