

日本物理学会学生優秀発表賞を受賞して

ナノスケール物性研究部門 長谷川研究室 佐藤 優大

2020年9月に行われた日本物理学会2020年秋季大会(オンライン)において、以下に述べる研究内容の講演を領域6(金属・低温)及び領域9(表面・界面、結晶成長)で行い、両領域での学生優秀発表賞を受賞いたしました。この場をお借りして、ご指導いただいた長谷川幸雄教授、土師将裕助教、共同研究させていただいた物質・材料研究機構の内橋隆博士、吉澤俊介博士をはじめとする本研究にご協力いただいたすべての方々に感謝申し上げます。

受賞対象となった研究は「単原子層超伝導体におけるステップ誘起臨界磁場増大効果に関する研究」です。低温で電気抵抗がゼロになる超伝導現象は、外部磁場によってその超伝導性が破壊されます。いかに外部磁場に強い超伝導体を作るかは非常に大きな課題ですが、この点を克服する一つの方法として、超伝導体を薄膜化することが挙げられます。超伝導体は、その厚さが超伝導現象を特徴づける長さであるコヒーレンス長よりも薄くなると、面内磁場に対して超伝導が壊れにくくなります。これは面直方向の電子の運動が制限され、超伝導を担うクーパー対の軌道対破壊が抑制されるためです。近年では、極限的に薄くした超伝導体として、半導体基板上に単原子層のPbやInを付けた金属単原子層超伝導体が注目されており[1]、面内磁場に対して強いことも既に報告されています。このことから、薄膜化と同様に、面内にも電子の運動を制限する構造があれば、面直磁場に対しても強い金属単原子層超伝導体ができることが期待できます。これを実現するために、我々は金属単原子層に自然に形成されるステップ構造に着目しました。実際、Si(111)表面上の $\sqrt{7}\times\sqrt{3}$ -In構造では、テラスに挟まれたステップが、テラス間の電子状態の結合を弱め、ジョセフソン接合として機能することが報告されています[2]。以下では、我々が見出したステップ誘起の臨界磁場増大効果を紹介します。

まず用いた系はSi(111)面上の $\sqrt{3}\times\sqrt{43}$ -Pb構造です。基板上の1.23 MLのPbからなる相で、 $\sqrt{3}$ 間隔と $\sqrt{7}$ 間隔のPb原子が周期的に配列した原子配置を有しています。走査トンネル顕微鏡(STM)による低温でのトンネル分光測定から、超伝導ギャップは0.28 meVであることが判っています。この単原子層超伝導体での磁場下でのギャップ測

定から、局所的に形成されたコヒーレンス長より狭いテラスにおいて、隣接する幅広いテラスに比べ高い面直磁場でも超伝導が壊れないことを見出しました(図1)。この面直臨界磁場増大効果は、テラス幅が狭くなるほど強くなります。この系では、ステップによりテラス間結合が強く分断されるため、幅狭なテラスは一次元的なナノストライプ構造として振る舞い、面直磁場に対する軌道対破壊効果が抑制されることを明らかにしました[3]。

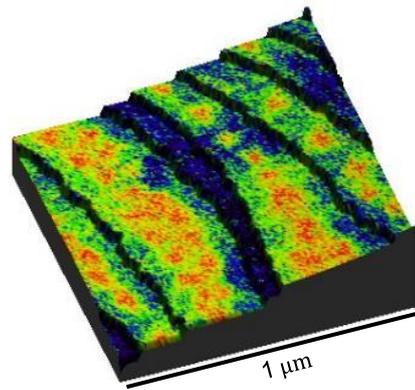


図1: Pb- $\sqrt{3}\times\sqrt{43}$ 構造のゼロバイアスコンダクタンス(ZBC)分布図。オレンジ色の領域は渦糸で、幅狭なテラスでは渦糸が入らず超伝導ギャップが残っていることを示している(青色)。

次に、非常に幅狭な間隔でステップを持つSi(111)微傾斜基板上のPb単原子層の一つであるStriped

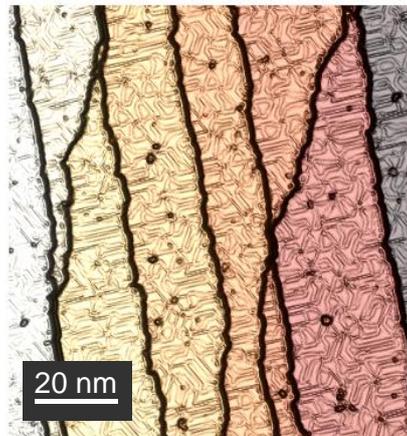


図2: Si(111)微傾斜面上のPb-SiC構造のSTM像。SiC構造がステップ端を含むテラス全体に均一に形成される。

