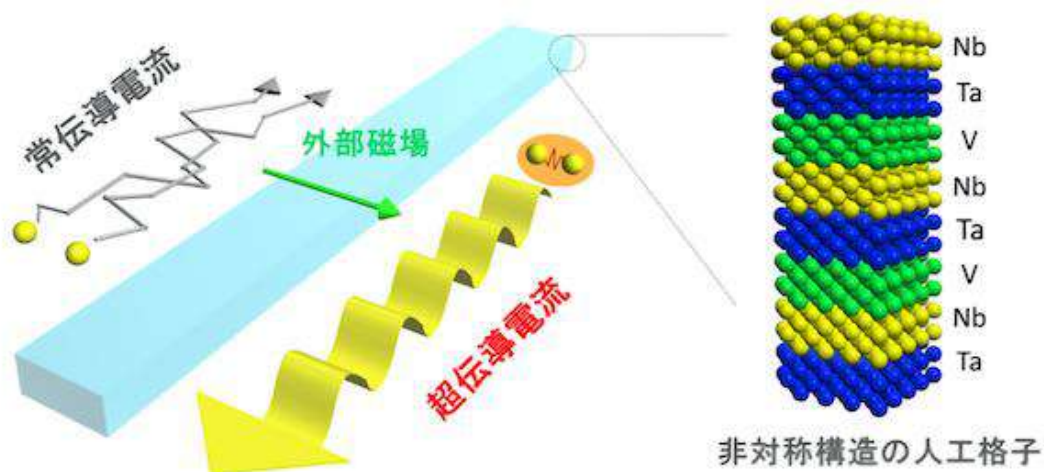


一方向にのみ電気抵抗がゼロとなる超伝導ダイオード効果を発見

京都大学化学研究所の小野輝男 教授、安藤冬希 同博士課程学生（研究当時）らの研究グループは、同大学理学研究科の柳瀬陽一 教授、大阪大学理学研究科の荒川智紀 助教らと共同で、非対称構造を有する超伝導人工格子において、一方向にのみ電気抵抗がゼロとなる超伝導ダイオード効果を初めて観測しました。

ダイオードとは、順方向に電流をよく流す一方で逆方向にはほとんど流さない特性を持つ素子であり、整流器・混合器・光検出器など数多くの電子部品に半導体ダイオードが利用されています。しかしながら、半導体の電気抵抗はゼロでない有限の値を持つため、各部品におけるエネルギー損失の問題が避けられません。そこで、半導体ではなく電気抵抗ゼロの超伝導体にダイオードの特性を付与すること、即ち超伝導ダイオードの実現が望まれていました。



本研究では、ニオブ (Nb) 層、バナジウム (V) 層、タンタル (Ta) 層から構成される非対称構造を有した超伝導人工格子において、臨界電流の大きさが電流方向に依存することを発見し、超伝導ダイオード効果を実証しました。本成果は、エネルギー損失の極めて小さい

電子回路の実現へ貢献することが期待されます。

本研究では、空間反転対称性の破れた超伝導体として、Nb、V、Ta から成る人工格子をスパッタ法で成膜しました。この薄膜試料を細線形状に加工し、図 1 (a) のような電流源と電圧計を用いた実験配置で 4 端子電気抵抗測定を行いました。薄膜面内かつ電流と直交する方向に外部磁場を印加し、電気抵抗の直流電流依存性を調査した結果を図 1 (b) に示します。その結果、Nb/V/Ta 人工格子の臨界電流注 5 が印加電流の方向によって異なることが明らかになりました。また、順方向（実線）と逆方向（点線）の臨界電流の大小関係は、外部磁場の符号によって決まることが分かりました。

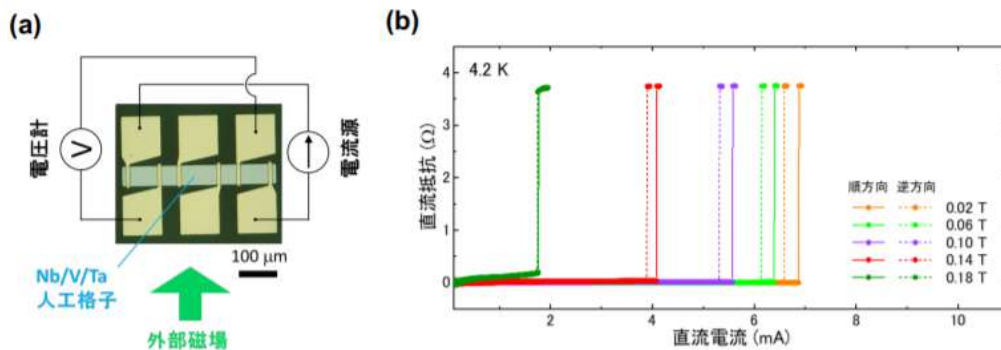


図 1 (a) Nb/V/Ta 人工格子を用いた試料の光学顕微鏡図と 4 端子電気抵抗測定の実験配置。空間反転対称性が破れているのは薄膜積層方向であり、印加電流および外部磁場とそれぞれ互いに直交している。(b) 温度 4.2 K で測定した抵抗の直流電流依存性。ある閾電流値（臨界電流）で超伝導が破壊されて有限の抵抗が発生するが、順方向（実線）と逆方向（点線）で臨界電流が異なっている。順方向と逆方向の臨界電流の大小関係は、外部磁場の符号によって決まっている。

次に、この非相反的な臨界電流を利用し、電流方向および磁場方向に応じて超伝導—常伝導スイッチングできることを実証しました (図 2)。これは、Nb/V/Ta 人工格子が超伝導ダイオードとして機能することを意味します。0.02 T (テスラ) という比較的小さな磁場でダイオードの方向を切り替えることが可能です。

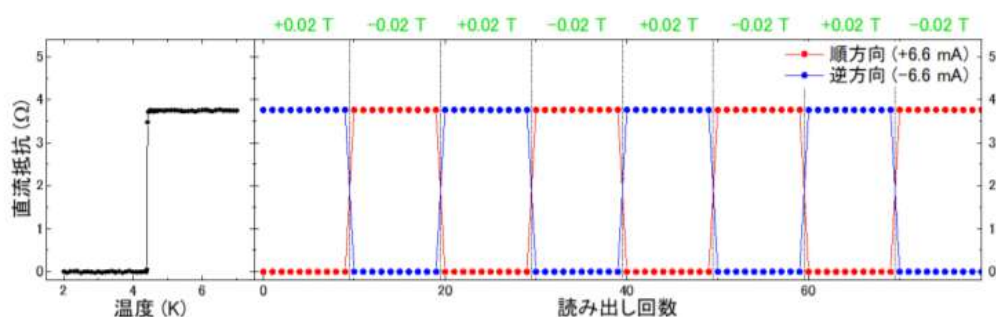


図 2 電流方向および磁場方向による超伝導—常伝導スイッチングの例 (4.2 K)。直流抵抗の温度依存性から、Nb/V/Ta の転移温度が 4.4 K、常伝導抵抗が 3.8 Ω であることが分かる。外部磁場 0.02 T、電流値 6.6 mA でそれぞれ符号を反転することによって、超伝導状態と常伝導状態をスイッチングできることが実証された。

論文情報

タイトル : Observation of superconducting diode effect

掲載誌 : Nature

DOI : 10.1038/s41586-020-2590-4

日本語原文

http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research_results/2020/200820_1.html