

パリティの破れた原子層超伝導

長谷川修司

東京大学大学院理学系研究科物理学専攻

shuji@phys.s.u-tokyo.ac.jp

結晶表面の1, 2原子層が超伝導に転移することが最近発見され、話題となっている。たとえば、Si(111)表面上の単原子層のPb [1,2,3] や2原子層のIn [1,2] とGa [4], または、単原子層のTI+Pb合金層[5]の超伝導が報告されている。また、単ユニット層のFeSe [6,7] やCaをインターカレートした2層グラフェン[8]なども超伝導に転移することが示された。このような原子層超伝導の興味は、(1) 2次元性, (2) 基板の影響, (3) 対称性の破れという観点から興味深い物理の舞台となると考えられる。

(1) 2次元性: Mermin-Wagnerの定理からすると、厳密な2次元系ではゆらぎが大きいために相転移は起こらないとのことだが、上述の原子層の電子系は、単原子層といえども厚さが有限であり、厳密な意味では2次元系ではないこと、また、Berezinskii-Kosterlitz-Thouless (BKT)転移によって、超伝導が起こると考えられる。実際、いくつかの原子層超伝導において、伝導特性において、大きなゆらぎとBKT転移が観測されている[4,5]。

(2) 基板の影響: 原子層超伝導体の転移温度 T_c は、多くの場合、そのバルク物質の T_c より低い。これは、基板との相互作用のためと考えられている。しかし、例外があり、単ユニット層厚のFeSe超薄膜の T_c は100 K以上であり、バルクFeSe結晶の T_c (数K) よるはるかに高い[5,6]。これは、基板との界面フォノンがクーパー対形成に有効に働いているためではないかと言われている。この例は、基板とその上の原子層の組み合わせによっては高い T_c を実現する可能性が他にもあることを示唆している。

(3) 対称性の破れ: 物質表面では空間反転対称性が破れているので、電子状態のスピン縮退が解ける可能性がある(Rashba効果) [5]。そうすると、物質表面上での原子層超伝導では、一重項クーパー対と三重項クーパー対が混合した状態となりうる(パリティの破れた超伝導)。実際、Si(111)上の(TI+Pb)合金単原子層の超伝導状態をとった走査トンネルスペクトルはs波を仮定したBCS理論ではうまくフィットできないことを見出した。これは、unconventional超伝導の証拠かもしれない(発表準備中)。

講演では、Si(111)上の(TI+Pb)合金単原子層超伝導を中心に、超高真空中での極低温強磁場下の4端子プローブ伝導測定および走査トンネル分光・顕微鏡測定の結果を紹介し、単原子層超伝導研究の展開を議論したい。この成果は、ロシアのA. A. Saranin先生およびA. V. Zotov先生のグループと物性研の長谷川幸雄先生のグループとの共同研究に基づく。

参考文献

- [1] T. Zhang, *et al.*, Nat. Phys. **6**, 104 (2010).
- [2] T. Uchihashi, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **107**, 207001 (2011).
- [3] M. Yamada, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **110**, 237001 (2013).
- [4] W.-H. Zhang, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **114**, 107003 (2015).
- [5] A.V. Matetskiy, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **115**, 147003 (2015).
- [6] W.-H. Zhang, *et al.*, Chin. Phys. Lett. **31**, 017401(2014).
- [7] J.-F. Ge, *et al.*, Nat. Materials **14**, 285 (2015).
- [8] S. Ichinokura, *et al.*, ACS Nano **10**, 2761 (2016).