

自然界に存在しないナノ物質の創製と そこに現れる新奇物性の解明

物理学系専攻 応用物理学コース
表面ナノ物性領域 坂本研究室
博士後期課程 戸市 裕一朗・樋口 裕紀

1. はじめに

物質はその構造が3次元固体から2次元原子層膜や1次元原子鎖、0次元ナノ粒子と、その次元性が変わることで、全く新しい性質が発現することがあります。坂本研究室では、固体表面上に原子・分子を吸着させてことで自然界に存在しない低次元物質を創製し、それらの物質に発現する新しい物理現象の観測とその起源の解明に取り組んでいます。2025年度現在は、教員2名、秘書1名、学生16名（博士後期4名、博士前期10名、学部生2名）で活動しています。本稿では、坂本研究室で行っている主な研究内容と日々の研究室の様子についてご紹介いたします。

2. 研究内容

物質に光を照射すると、物質中の電子が光のエネルギーを受け取り励起されます。このとき光のエネルギーが一定のエネルギーより高い場合、電子は物質の外部に放出されます。この現象は光電効果と呼ばれ、光電効果によって放出された電子（光電子）の運動エネルギーと強度、さらに放出角度まで測定することで物質中の電子の振る舞いを表す運動量とエネルギーの関係（バンド分散）を直接的に観測できます。このように光電効果を利用して物質中の電子状態を調べる実験手法を光電子分光と言い、坂本研究室ではこの光電子分光を駆使して低次元物質の新奇物性解明に取り組んでいます。

A) 固体表面上に作製した重元素原子層結晶のスピン偏極電子状態

固体表面上に重元素を数原子層だけ吸着させて作製した2次元原子層結晶は、重元素による強いスピン軌道相互作用に加えて、原子層垂直方向の空間反転対称性の破れによって原子層表面に平行方向に有効磁場が生じ、電子スピンに作用することでスピン偏極が生じます。このような現象はラシュバ効果と呼ばれ、非磁性原子であってもバンド分散がスピン分裂したスピン偏極電子バンドが発現する可能性があります。このスピン偏極した電子は次世代スピントロニクスデバイスへの応用が期待されることから、2次元原子層結晶のスピン偏極電子状態を明らかにすることは、基礎科学的にも応用科学的にも重要な研究テーマとなっています。坂本研究室では、重元素の一つであるタリウム(Tl)に着目し、Ag(111)表面上にTl原子を2原子層吸着させて2原子層タリウム結晶を作製し、バンド分散のスピン偏極度まで測定できるスピン・角度分解光電子分光を用いてそのスピン偏極電子状態を調べたところ、通常のラシュバ効果とは異なる特殊なスピン偏極電子状態が形成されていることを初めて明らかにしました。さらに2原子層タリウム結晶はおよそ1Kで超伝導体となることから、スピンに関連した新奇な超伝導状態を示す可能性があります。

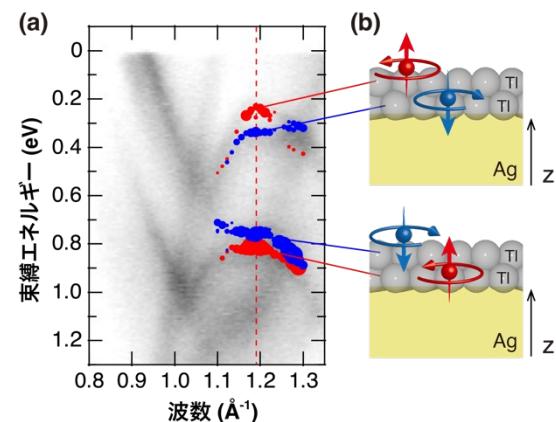


図1 (a)2原子層タリウムのバンド分散と
(b)Tl原子層ごとのスピン偏極電子状態

B) 超伝導極薄膜における新奇物性解明

原子約10層の厚みを持つ超伝導極薄膜では、3次元固体の超伝導物質では見られない特異な超伝導現象が現れる可能性があります。その1つに超伝導転移温度(T_c)の量子化があります。極薄膜中の電子は膜内部に閉じ込められ、膜垂直方向に量子化されます。この量子化は膜厚が薄いほど顕著になり、その結果 T_c は膜厚に依存し振動します。私たちは極薄膜における超伝導出現前後の電子状態を探索し、 T_c の量子化をはじめとする超伝導極薄膜特有の物性の解明を目指します。

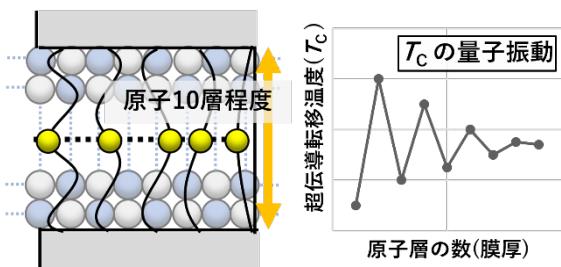


図2 超伝導転移温度の量子化に関する模式図。

3. 研究室の様子

坂本研究室では、学内の実験装置に加え、国内外の放射光施設を積極的に活用して実験を行っています。実験は大型の装置を使うため、研究室メンバー2~3人でグループとなり、教え合い協力しながら研究を進めています。実験はうまくいかないこともありますが、その分良い実験データが得られたときは非常に達成感があり、メンバーみんなで喜びを分かち合います。

また研究だけでなく、ゼミ旅行やバーベキュー、たこ焼きパーティ、野球観戦、吹田祭など研究室内でさまざまなイベントを実施しています。特に吹田祭で一番盛り上がる研究室対抗スポーツ大会では、毎年ほぼすべての競技に登場しており、競技に出る人も応援する人も研究室一丸となって楽しめます。

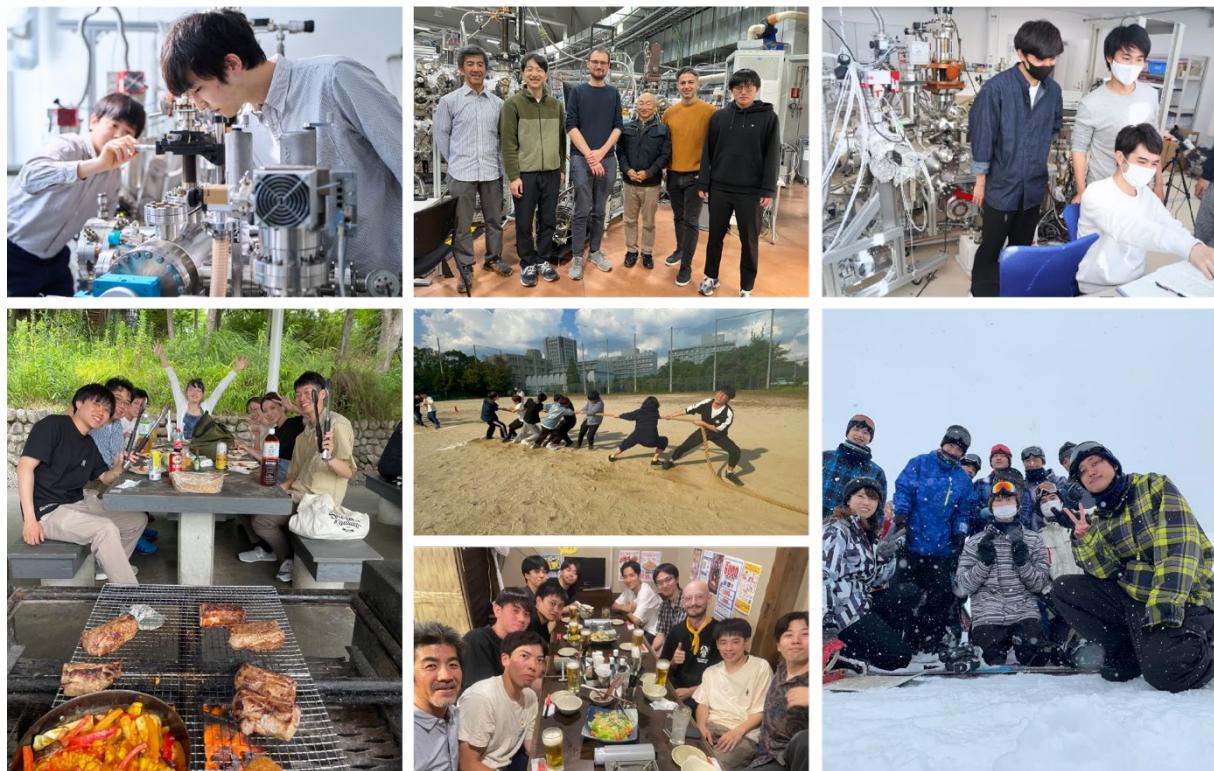


図2 (上段) 実験の様子、(下段) 研究室のイベントの様子

4. おわりに

坂本研究室は「やるときはやる、楽しむときは楽しむ」といった雰囲気があり、楽しみながらもメリハリのある研究生活を送っています。ぜひ研究室ホームページにもお立ち寄りください！

坂本研究室 HP : <http://snp.ap.eng.osaka-u.ac.jp/JPN/Welcome.html>