

訪問日 2019年5月10日

東京大学 大学院 工学系研究科附属量子相エレクトロニクス研究センター 井手上 敏也 助教
研究題名：新奇空間反転対称性の破れた超伝導体における整流効果

研究室を訪問し(図1)、助成対象研究の独自性や研究に対する考え方・想いなどをお伺いしました。

研究の背景についてお聞かせください

【2次元ファンデアワールス結晶について】

私の所属している岩佐研究室で扱っている研究対象の中心は「2次元ファンデアワールス結晶(図2)」と言われる物質群です。原子が平面状に並んだシートが多数重なった物質から1枚だけを剥がした2次元シート状の物質で、良く知られているものとしては炭素の同素体の一つである層状物質「グラファイト(3次元物質)」から1枚だけを剥がした炭素原子1枚のシート「グラフェン(2次元物質)」です。この様な「2次元ファンデアワールス結晶」は、剥がす前の3次元物質とは全く違った性質を示すことから、様々な物質で研究がされています。ここ数年では、違った種類のシートを人工的に積層した結晶を作り、自然界にはない新しい物質についての研究がされる様になりました。特に最近では、技術の進展により結晶を重ねる向きを微妙に変えるだけで性質が大きく違ってくことなども分かり、積層方位によって物性を制御しようとする「ツイストロニクス」の研究も盛んにおこなわれるようになってきました。

【イオン液体を利用した高電場印加と新奇超伝導体について】

「電界効果トランジスタ(FET)」では、界面に多くの電子を蓄積しようとして試料とゲート電極間に大きな電場をかけると絶縁膜が絶縁破壊してしまいます。我々のグループがそれに代わる手法として開拓してきた手法が、「電気二重層トランジスタ(EDLT)」と呼ばれる手法で、固体絶縁膜の代わりに「イオン液体」を利用する方法です(図3)。EDLTでは、従来の絶縁膜を用いたFETよりも桁違いの数の電子を界面に蓄積できる様になり、物質によってはこの手法を用いることで超伝導性に相転移するものが発見されてきました。

「空間反転対称性の破れ」とはどのようなことですか

特定の2次元ファンデアワールス結晶も含めた、ある物質中においては、その中の電子からある特定の方向を見た場合とその逆の方向を見た場合とで「見える景色」が違ってくような物質があります。この状態を「空間反転対称性」が破れている、と表現しています。そのような物質中では、特定の方位に電子が流れる場合に、順方向と逆方向で電子の流れやすさが異なっていること、つまり「整流性」があることをこれまでの研究で確認できました。

研究のねらいと応用面について教えてください

これまで、「空間反転対称性の破れた超伝導体」は僅かしか発見されていみせんでしたが、ナノテクノロジーやイオン液体を用いたキャリア数制御技術、新物質探索の進展などにより、新たな空間反転対称

性の破れた超伝導体を創出できる環境が整ってきました。本研究では、特にそのような新奇超伝導体のうち「電界誘起界面超伝導体 SrTiO₃」と「3 回対称超伝導体 PbTaSe₂」についての整流特性測定を行い、現象の普遍性を実証していくのが研究のねらいです。超伝導体に相転移した状態では、整流現象の大きさも通常金属の状態より極めて大きくなり、加えて特徴的な挙動を示すことが分かってきており、この現象の解析によってこれまで十分に解明されてこなかった超伝導の電子状態（電子バンド、スピン、クーパー対など）の理解に寄与できると考えられます。

また、応用面でも、従来の「整流性」を実現している典型的なデバイスであるダイオードが p 型半導体と n 型半導体の 2 種類の物質の接合構造で形成されていたものを、一つの物質で簡便に形成することができる可能性があります。さらに、超伝導体の励起状態はマイクロ波を吸収しやすいことや物質全体で交流を直流電流に変換できることといった特徴があり、マイクロ波送電のアンテナである「レクテナ」や発電への応用、散逸の少ない超伝導流の方向制御技術としても期待されます。

新しい発想や発見のベースとなるものは何ですか。

専門外の分野も含めていろんな学会や研究会に参加すると、興味深い研究を目にすることがありますが、その時にこの研究を自分の研究でできることに応用したらどうなるだろうと考えることにしています。今回の研究は、元々「光の二色性（表からと裏からでは別の色に見える性質）」が非常に面白い現象で、この性質を電気伝導で応用したらどうかと思ったことが始まりです。少し発想のジャンプが必要ですが、単に真似するのではなく自分の視点で焼き直してみるわけです。

研究の面白さ、醍醐味は何ですか

研究をやっていると、ある時に「おそらくこれについては、自分が世界で一番極めているだろうな」と感じる時が誰にでも訪れるのではないかと思います。私は修士課程のときに初めてそんなことを感じました。当然、研究全般においては指導教官より劣っているのですが、ある特定の領域については「自分がパイオニアだと」感じられることがありました。他の研究者の方々もその様な瞬間に喜びを感じて更に研究を極めようとしているのだらうと思います。

この研究室の学生さんでも、修士二年生くらいになると私を超えるところが必ず出てくる場面があるので、「そこが君のオリジナリティだから、大事にした方がいい」とアドバイスしています。

（修士課程後、企業での仕事を経てから博士課程で大学に戻られていますか、）

どの時点で大学での研究者になろうと思われましたか？

元々、企業で世の中の役に立つ製品の研究をしたいと考え工学部に進学しました。修士課程では基礎研究での発見の喜びも味わった上で、企業に就職しました。そして、企業での経験を 1 年ほど経て自分の適性を考えたときに、より基礎側の研究の方が自分に適していると判断して大学に戻りました。大学の研究が適しているか、企業での研究が合っているかは人によって違うと思いますが、両方経験した上での判断ができて良かったと考えています。

後記

正直なところ、最初にこの研究題目を見たとき単語が非常に難解で、私に理解できるのだろうかと不安になりました。しかし井手上先生は、背景から一つ一つの項目について資料を用いて丁寧に説明して下さい、訪問前に予想していたより遥かに多くを理解することができました。先生の次の論文は更に興味深く拝見できるのではないかと思います。

また、研究内容だけでなく、

- ・専門外の研究成果を自分の土俵に適用して見ると、新しい発想が生まれる。
- ・研究を続けていると誰もが「自分が世界一」を感じる時が訪れる。それを大事に。
- ・大学での研究、企業での仕事、それぞれ経験してから適性を判断する道もある。

など、学生さん、企業人、これから進学を考える人、いろいろな立場の人たちが参考できる話を聞かせていただきました。私も「こういう考え方もあるよ」と若い人にアドバイスする一つとして借用させてもらおうと思います。

今回取り組んでいる新奇超伝導体についての進捗状況もお聞きできましたが、狙っている結果が出てきつつあるとのことで、今後の成果発表を楽しみに待ちたいと思います。

(矢崎財団技術参与 池田実)

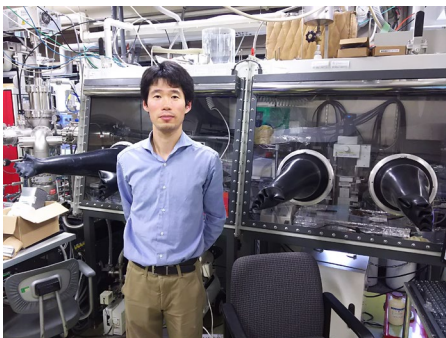


図1 井手上先生

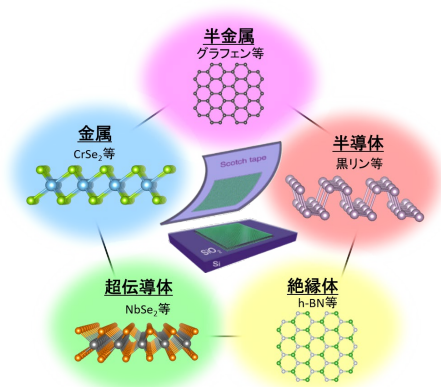


図2 2次元ファンデアワールズ結晶

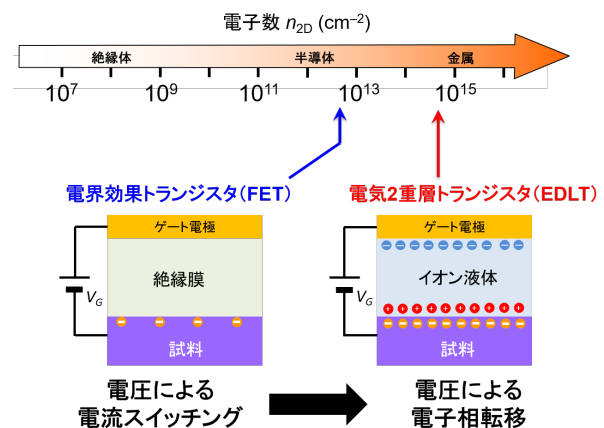


図3 イオン液体による電界効果