

光エレクトロニクス研究室

光と物質のハイブリッド「ポラリトン」を探究する

山下兼一 教授
[電気電子工学系]



[経歴]
1999年04月- 日本学術振興会 特別研究員
2002年04月- 京都工芸繊維大学 助手
2007年04月- 京都工芸繊維大学 助教
2013年04月- 京都工芸繊維大学 准教授
2016年04月-2017年03月 英国ケンブリッジ大学 キャンペディッシュ研究所 客員研究員
2017年01月- 京都工芸繊維大学 教授

[研究分野]
レーザー, 太陽電池, 有機デバイス, ポラリトン

研究室探訪

光エレクトロニクス研究室

[研究概要]

性能の良い光電子デバイスを実現するには、物質中での光と電子の相互作用を理解・制御することが重要になります。本研究室では有機半導体やペロブスカイト半導体を持つ特徴的な電子物性に着目し、これを従来の光波制御の技術と組み合わせることにより、光・電子間の相互作用を効果的に制御することを考えています。

今や私たちの暮らしに広く浸透しているLEDやレーザー、太陽電池。これらは光電子デバイス的一种であり、電子を光に、あるいは光を電子に変換する技術が用いられています。こうした光電子デバイスの高機能化とともに、次世代量子デバイスの研究にも挑む山下兼一先生にお話を伺いました。

大きな可能性を秘めた「ポラリトン」その量子コンピュータへの応用を探る

「世界的に関心が持たれている研究に取り組む、最先端を知る。研究者にとっては、それが良い成果を出すこと以上に価値あるものだと考えています」。そう語るのは、光エレクトロニクス研究室で光電子デバイスグループを率いる山下兼一先生。どのような先端研究に取り組んでいるのか、詳しくお話を伺いました。「現在メインテーマとしているのは『ポラリトン』の研究です。Nature誌やScience誌といったトップジャーナルにもたくさん記事が載るような、非常にホットな分野です」。ポラリトンとはいったい、どのようなものなのでしょうか。先生は次のように説明します。「一言で言うと、光と電子（物質）のハイブリッドにあたる量子状態です。光には質量がありませんが、電子は質量を持つ物質です。ポラリオンはその複合体であり、質量のある粒子でありながら、光の性質も併せ持っています。これまで、光と電子を分けて考えてきたのですが、それらが混ざったポラリオン状態に学者として強い興味を持ち、原理や物性にまで立ち戻って研究を行っています」。光と電子を別々に捉え、それぞれを橋渡しする研究は昔から行われてきたといいます。具体例として、LEDやレーザー、太陽電池を挙げながら、先生はこう話してくれました。「これらの光電子デバイスは長い研究の積み重ねがあり、すでに製品化・実用化も進んでいます。今取り組んでいるポラリオンの研究は、そのもう一歩先にある量子を使った演算や通信を見据えたものとなっています」

量子を用いて演算を行う「量子コンピュータ」の研究は、現在世界中で盛り上がりを見せています。今のコンピュータは電子を用いて「0」と「1」の組み合わせによって情報を処理するのに対して、量子コンピュータでは「0でもあり1でもある」という重ね合わせの状態を使って処理する点が特徴です。それにより、現在のコンピュータでは難しい、大規模で複雑な計算を高速・高精度で実行できると期待されています。量子にはさまざまな種類があり、ポラリオンもその一つです。山下先生は、ポラリオンに着目した独自のアプローチで、量子コンピュータが抱える課題の解決に挑んでいます。「量子コンピュー

タ自体は研究開発が進み、世にも出てきていますが、マイナス200度以下の極低温でないと動かせないという弱みがあります。今後の実用化を考えた際、極低温に冷却する必要があるとなると、エネルギー問題もある中で持続的に使っていけるかは疑問です。この課題をクリアするために、私の研究室では室温下でのポラリオン状態の形成に取り組んできました。そして、『鉛ハライドペロブスカイト半導体』という材料を使うことによって、室温で形成可能であることを発見しました。ペロブスカイトは、シリコンに替わる太陽電池の先端材料として近年大きな注目を集めてきた材料です。研究室でも以前からペロブスカイトの研究を行っており、ポラリオン状態の形成に適用したところ、ちょうどいい性質を持っていることが判明。最先端を追い続けてきたことが、画期的な発見につながりました。

光電子デバイスのさらなる高機能化を目指して

ペロブスカイトを用いたポラリオン状態の室温形成を中心に、研究室では光電子デバイスの高機能化に関する研究も展開しています。その一つが「広帯域有機波長可変レーザー」の開発です。その内容について、先生はこう説明してくれました。「光には色があり、レーザーにもいろんな色があります。その色を自由に換えられるレーザーがあれば使い勝手がよいのでは、というコンセプトで行っている研究です。コンパクトな装置を開発できれば、血液検査やガス検知などを簡便に実施できるようになります。その実現に向けて、赤から紫まで幅広い波長の光を出し、かつ実際にレーザー発振を起こせる物質を探してきました。学生たちが何代にもわたって研究を重ねてきて、最近ついに適当な材料が見つかりました。グラフェン量子ドットと呼ばれるもので、グルコースに処理を加えることで手軽に手に入る物質です。ある学生がこの物質に目を付けて、実験してみたところ、求めていた性能が得られました」。研究室では、自分の専門領域以外の論文もたくさん読むよう指導しているという山下先生。それにより、学生たちは広い視野と洞察力が磨かれ、この成果に結び付いたのです。

そしてもう一つ、「ペロブスカイト太陽電池」

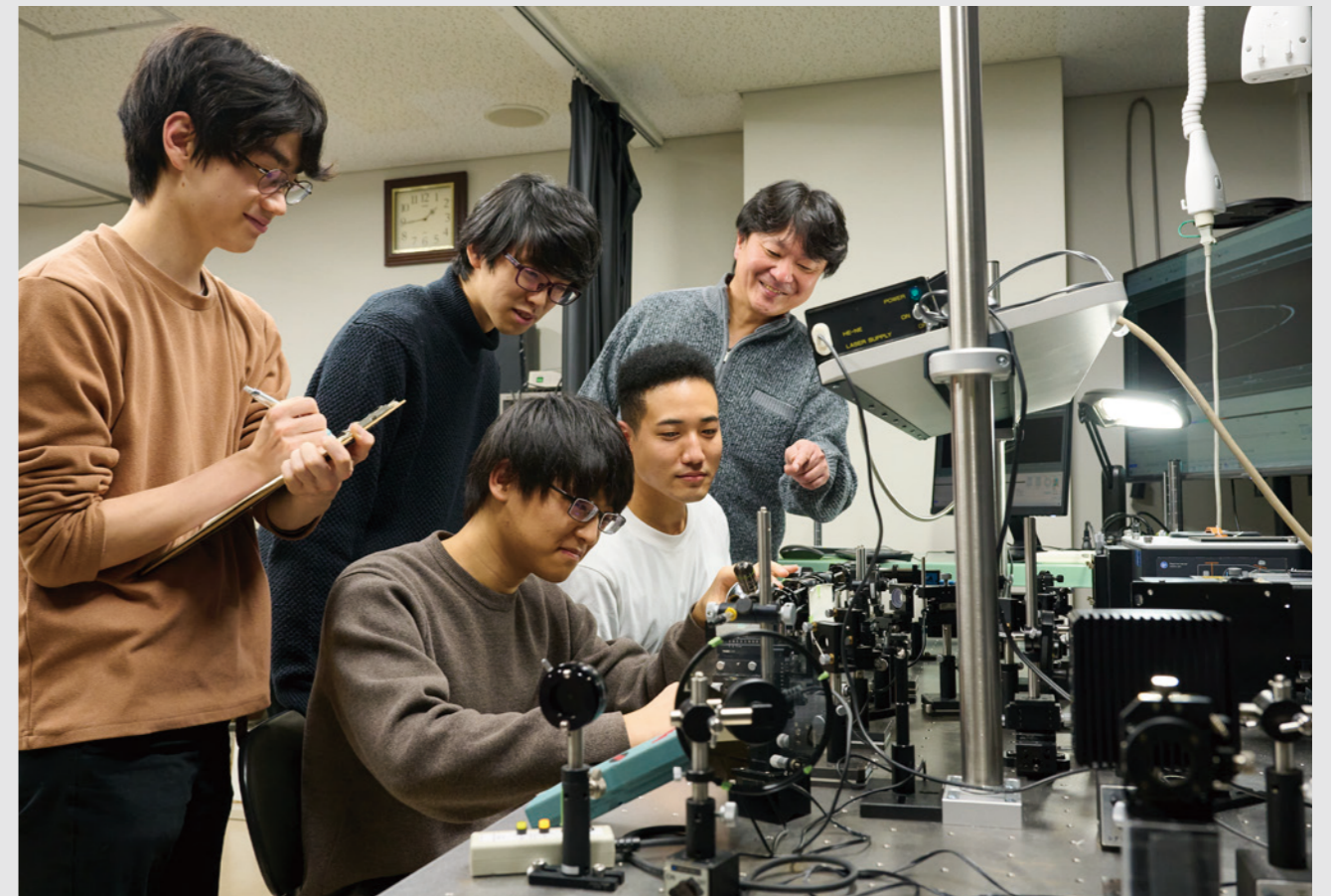


Fig.1——光学測定によるデバイス評価実験

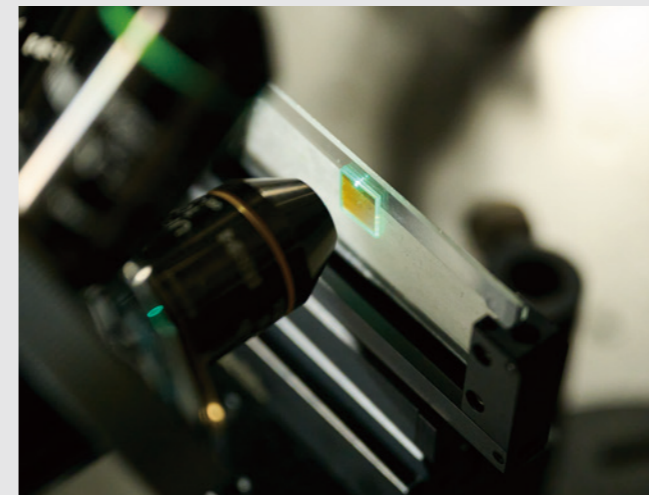


Fig.2——ポラリオンデバイスが発光している様子



Fig.3——実験サンプルの作製工程

に関する研究も行っています。ペロブスカイト太陽電池は研究者が多く、非常に競争の激しい分野。山下先生は視点を変えたアプローチで、技術の発展に貢献しようとしています。「太陽電池の性能の良しあしは、材料だけでは決まらないことを示そうとしています。太陽電池は複数の層で構成されており、光を電気に変えるペロブスカイトの層を挟むようにして、発電した電気を取り出すキャリア抽出層があります。私は脇役であるキャリア抽出層に着目し、適した成膜方法や温度環境を探ることで、主役であるペロブスカイトの性能を最大限に引き出そうと考えています。これまでの研究で、ペロブスカイトの

層を薄く被覆するように、10nmの厚さで膜を塗るのが最適だと分かっています」

ポラリオンの未知なる可能性を開放していく

今後の研究の展望について尋ねると、先生は次のように語ってくれました。「ポラリオンの持つ力をどこまで発揮させられるのか、それが大きなテーマです。現在、世の中のさまざまな場面で使われているレーザー技術も、元はアインシュタインが1900年代初頭に提唱したもので、それ以降の人間が研究を重ねてここまで発展してきました。そしてアインシュタインは、ポラリオンの生

成に関するボーズ・アインシュタイン凝縮というアイデアも提起していました。レーザーがそうであったように、ポラリオンについても今後どんどん研究が進んでいくでしょう。その中で、ポラリオンの可能性をどこまで解放してあげられるかが、私の研究の焦点となります」。そして最後に、先生はこう付け加えました。「宇宙の始まりといわれるビッグバンが起きた時にさまざまな粒子が生まれ、最終的に残った粒子が光と物質でした。現在の世界の構成要素である光と物質、そのハイブリッドであるポラリオンを使って何かをなそうという今の研究は、ロマンに満ちた非常に魅力あるものです」