大きな可能性を秘めた「ドーナッツビーム」ナノ構造で光を制御しものづくりや生命科学の発展に貢献を

将来を担う女性研究者を工学分野に増やしたい

平成28年度文部科学大臣表彰「若手科学賞」を受賞した北村恭子講師。この賞は萌芽的な研究、独創的視点に立った研究等、高度な研究開発能力を示す顕著な業績を上げた40歳未満の若手研究者を対象とし、先生は「長焦点深度かつ微小集光可能な半導体レーザーに関する研究」での受賞でした。「とても光栄です。こういうことがひとつのきっかけとなって、工学系に興味を持ってくれる女性、やってみようと思ってくれる女性が一人でも出てきてくれたらうれしいなと思います。」。

先生は平成27年、本校において、卓越した研究業績を擁する研究者が集う「大学戦略推進機構系グローバルエクセレンス」の開設を機に、京都大学の研究室から移籍。現在、先生のもとには、女子学生も2人、研究に励んでいます。「1人の学生は、私が女性の研究者であるということに興味を持って入ってくれました。今ではすっかり光の世界に魅了されているようです」、と先生。移籍から1年を経て、「自分の研究室をゼロから作り上げていくことに楽しさと充実感を覚えています」。

研究に打ち込みながら、特に女性研究者の裾野を広げるべく、講演活動など将来を見据えた活動も積極的に行っています。

フォトニック結晶が可能にする高出力のレーザビーム

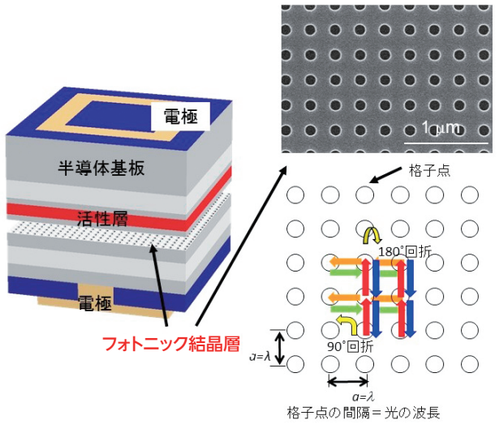
先生の研究テーマは「フォトニック結晶レーザ」で、今回受賞した内容はその中のひとつの分野。

「フォトニック結晶レーザは、私の学生時代の指導教員でもある、京都大学の野田進先生が発明された、我が国発の半導体レーザです。まず、通常のレーザがどういうものかといえば、鏡と鏡の中にある媒質に刺激を与えることで光が発生し、光が鏡の間を繰り返し往復することで増幅して、ある1色の強い光が出てくるというものです。フォトニック結晶レーザでは、その鏡の役割をするのが、格子点と呼ばれる半導体基板中に作製された空気の孔（フォトニック結晶）です」。フォトニック結晶レーザは、1mm角以下の小さな半導体レーザの一種。「半導体に、ナノスケールの空気の孔を作製します。その孔の間隔は、半導体の中に存在する光の波長（媒質内波長）に合わせて周期的に配置されています。これをフォトニック結晶と呼びます。このフォトニック結晶を通常の半導体レーザ構造の光を発生する層（活性層）の近くに埋め込みます。電源のスイッチを押すと、活性層で光が発生し、その一部がフォトニック結晶に染みだして、半導体の中を伝搬して、空気孔と半導体が異なる屈折率をもつために回折や反射を起こします。ちょうど鏡と空気の間で光が反射するのと同じです。回折したり反射したりを繰り返して、増幅し、レーザとして発振にいたります。半導体に空気の孔という微小な鏡がたくさん並んでいるというイメージです。しかもこのフォトニック結晶は、大きな面積で作製しても、1色の光をきちっと出すことができたり、孔の並べ方で、いろいろな形のレーザビームを出すことができるのが特徴です。」

英国から来た共同研究者とディスカッション

大学戦略推進機構系グローバルエクセレンス
北村 恭子 講師

将来的な応用例としては、「たとえば、高出力なレーザという観点では、自動車の板金加工などに使えると思います。現在、自動車の板金加工には炭酸ガスレーザと呼ばれるものが使われていて、金属を溶かして加工しています。これを数センチ程度のフォトニック結晶レーザで置き換えることができれば、自動車産業の重要な部分を小型化することができます」。



フォトニック結晶レーザの構造模式図とフォトニック結晶内での光の増幅

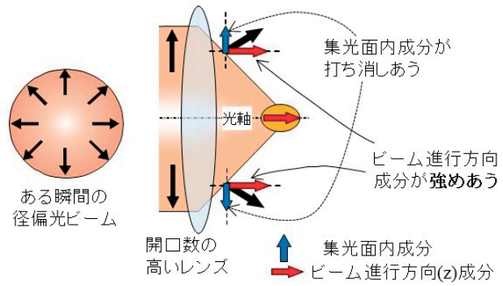
ドーナッツ状のレーザビームを用い生命科学分野に革命を

特に先生が注目しているのは、フォトニック結晶レーザのさまざまなレーザビームを出せるという特長のほう。「今までは高出力を目指して研究が進められてきましたが、高精度・高機能という付加価値の高いレーザが作れないだろうかと思っています。そこで着目したのが、フォトニック結晶のビームパターンのひとつ、ドーナッツ状のレーザビームです。これを使うと、より“小さな集光点”を作ることができます」。

「集光点が小さい」とはどういうことなのでしょうか。例としてCDやDVDは、ドライブの中に半導体レーザとレンズがあり、レーザビームを集光して、ディスク（反射板）に照射されます。ディスクには、たくさんの突起があり、その突起での反射を利用して、検出器で検出され、0と1のデータを作っています。ここで、集光点が小さいほど、同じ面積のディスク上に多くの突起を作れる、つまり、多くの情報を読み書きできます。また生命科学で使われるレーザ顕微鏡は、通常の白色の光を使った顕微鏡よりも、小さな集光点を作ることができるので、もっと小さなところまで映像で見ることのできる顕微鏡です。それだけではなく、どこまでいってもぶれないレーザ、すなわち「長焦点深度かつ微小集光可能な半導体レーザに関する研究」が、先生の力を入れている分野というわけです。「小学生のときに顕微鏡を覗いて調整し、パッと焦点が合っても少し動かすと途端にぼける、という経験が誰にでもあると思います。ピントの合っている範囲が焦点深度。小さな集光で深い焦点深度が実現すればCD等々の容量は増大しますし、先ほど触れたレーザ加工においても、深部まで精度高く加工することができますので、とても重要だと考えます。」

さて、ドーナッツビームには、色々な種類がありますが、「径偏光」と呼ばれるドーナッツビームが小さな集光点を作ることができます。偏光（ベクトル）が、ドーナッツの中心から放射状に揃っているようなビームです。このビームがレンズを通ると、中心の特異点から放射線状の方向に偏光した成分と、ビームが進む方向に偏光した成分に分解して考えることができます。焦点の近くでは、それらが合成されることで、ビームが進む方向に偏光した成分は、倍の強さ、倍の長さになり、実際の波長よりも半分以下の小さな焦点を結ぶことができます。またドーナッツビームのリングを薄くするほど、焦点近くでの位相ずれも制御できるので、長焦点深度かつ微小集光が可能になるそうです。

先生は今、レーザ光源から、集光するレンズまでを1チップに集積化したような小さな顕微鏡の開発を目指しています。「そもそもドーナッツビームの光源は、これまで大掛かりな光学系が必要でしたが、フォトニック結晶レーザを使うことで、1mm以下の小さな光源が出来ます。さらに、ドーナッツビームの集光特性や、フォトニック結晶レーザの面発光特性を利用することで、どんな人でもスイッチを押すだけで、今まで見たこともないような小さな世界の映像を、見ることができるようなレーザを開発したいと思っています。」「人は、最先端や、ここにしかない、というところに集まります。自信をもって最先端を目指していれば、自ずと男性も女性も国籍も問わず、多様な人材は集まるはずです。学生さんには、そのような心持ちでのグローバルな感覚を養ってもらいたいと思っています。」



径偏光ビームの集光概念図