

訪問日 2015年8月3日

東京大学 大学院 工学系研究科 電気系工学専攻 八井 崇 准教授

研究題名：ドレスト光子フォノンによるダイヤモンド紫外光源の開発

### 東京大学・八井崇先生を訪ねて

八井先生の研究室はドレスト光子（D P）工学を主要テーマに掲げており、D Pとは何かを応用例である表面平滑化技術を通じて分かりやすく、また話題毎に新しいパワーポイント資料をパソコンから開かれ、ご説明いただきました。

通常、光子は質量を持たず自由空間を飛んでいきます。それがナノ寸法の構造に照射されると、本来フリーな光子が材料中の電子、ホール、フォノン（格子振動）と結合し、この状態をD Pと呼んでいます。物質にナノサイズの角があると、そこで電子の動きが制限され、その部分だけ他の場所とエネルギーの状態が変わります。微粒子の寸法に応じた共鳴、プラズモンとは異なります。プラズモンも電子と光子のカップリングですが、プラズモンは実在する場であるのに対して、D Pは仮想光子です。仮想とは、ここはD Pがいる確率の場であって、電子と相互作用する場合もしない場合もあります。また、プラズモンはエネルギーは変わりませんが、D Pの場合は局在する場（10数 nm 程度）では、不確定性原理によって、短時間であればエネルギーは大きくなりえるとのこと。従って、本来普通の光では反応しないような化学反応を起こすことができます。

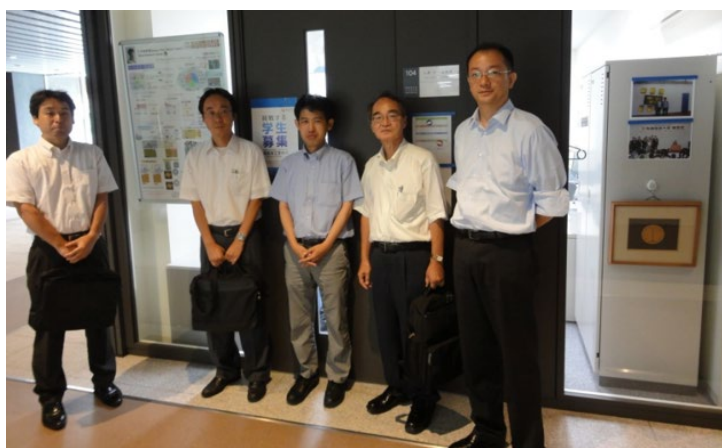
どういう場でそれが実現できるのか、例として表面平滑化の研究を通じて説明してもらいました。表面に凹凸があればD Pが発生し、エネルギー状態が高くなります。ガラスの研磨には通常プラズマで塩素ガスをラジカル化して削ります。D Pの場合、塩素雰囲気中で光を当てると、突起部だけD Pが発生し、そこだけ塩素ガスがラジカル化し、突起を削ることができ平滑化されます。平坦のレベルは0.1 nm 以下です。用いるガスは材料を溶かす性質を持ち、塩素の吸収端波長が400 nm ですので、それより長波長の光を用いることで、ガス雰囲気中のガスは反応せず、D Pが発生した所だけ溶解します。ガスと波長の組み合わせは多様です。最近、ダイヤモンドの平滑化に取り組んでいるとのこと。ダイヤモンドの場合は酸素ガスを用い、酸素ガスの吸収端波長（242 nm）より長波長の光を当てますと、D Pが発生した所だけ削れます。ダイヤモンド基板にD Pエッチングをすると100 nm 以下の周期を持つうねりが選択的に削れます。酸素を分解するのに吸収端波長より短波長の光を当てますと、100 nm 以上の周期を持つうねりが多く削れます。大きい凹凸を削ろうとするときは短波長の光を使いますが、突起部だけでなく全体が削れます。ハードディスクの基板を平滑にする研究では、ハードディスクの側面を削り、2.5インチを7秒で処理し、研磨前の100 nm が3.5 nm の表面粗さになりました。レアアースのセリウムを使うと5.5 nm になり、レアアース代替プロジェクトとして実施したそうです。段差のあるものの側面を削ることもでき、ダイヤモンドでも段差に対して加工ができます。ダイヤモンドは積層でp nを作るのが難しいので、p n接合の界面を混ざらずにしっかり作るには、側面の段差にn型を側面だけに選択成長させることをします。ドライエッチングを使うので、側面が非常に粗くなり、n型を成長させる前にDP処理すると綺麗なp n接合ができます。LED作製でもこういう表面処理が重要とのこと。

近接場光の情報記録への応用として、先端の突起に光を集中させる近接場光フライングヘッドとして大容量の光ストレージへの検討、また磁気ストレージとして、記録時に磁気媒体の保持力を低減するための極小領域の加熱源として検討されています。炭酸ガスの分解にも使え、炭酸ガスは166 nmの光を当てないと分解しませんが、ナノ構造を作り先端にD Pを作ると長波長の光でも分解できます。また光水分解では、酸化チタンでは400 nm 以下の光を当てないと分解しませんが、D Pを使えばもっ

と長波長でもでき、赤色光でも分解できたそうです。よく指摘されるのは2光子吸収との違いです。2光子吸収はDPに比しエネルギー強度的に10桁以上の光を入れないと起こりませんので、フェムト秒レーザーのようにフェムト秒レベルのパルス幅にエネルギーを圧縮させる必要があります。

LEDで深紫外光を出すにはInGaNのInをAlに替える必要があります。AlGaNは非常に不安定で寿命が短く高価です。そこでDPによるダイヤモンド紫外光源の開発に至り、今回の助成研究となりました。間接遷移半導体であるSiでも赤、青、緑のLEDは作れますが、深紫外波長では効率が低くなってしまいます。ダイヤモンドを使うのは深紫外で透明な材料を使うのが高効率になるからです。余談ですが、窒素欠陥センターを含むダイヤモンドが電子励起により室温で単一光子を発生することから、量子コンピュータとして期待されているとのこと。

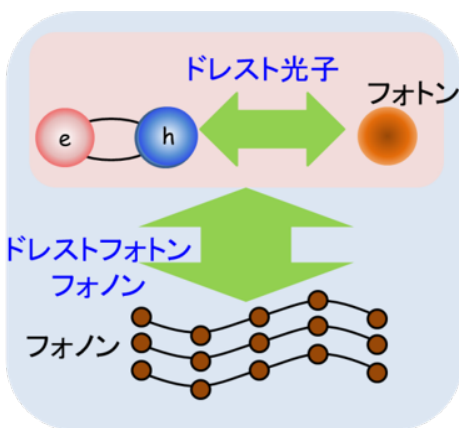
光学、場の理論、凝縮系物理の融合の概念と言われる「ドレスト光子」の可能性を垣間見ました。  
(2015年8月3日訪問、技術参与・飯塚)



中央が八井先生

近接場光:ドレスト光子

光が物質の衣をまとった状態  
Dressed Photon (ドレスト光子)



ドレスト光子によるÅ平坦化

化学機械研磨(CMP)  
400年の伝統

vs

DPPエッチング

