



## <研究紹介・自己紹介>

研究項目 A02: 計画研究エ

「周期構造を利用した光メタマテリアルの作製と物理」

研究分担者 大野 誠吾 (東北大学)

計画研究エにて石原先生のもとで研究分担者をいたしております大野と申します。私は 2006 年東北大学で博士課程を修了後、3 年間、理化学研究所 (仙台) で研究員として働きました。2009 年から東北大学の光物性物理研究室に勤め始め、現在に至ります。自己紹介としてこれまでどんなことを行なってきたか振り返り、研究紹介として現在興味を持っている点をあげてみたいと思います。学生のころは齊官清四郎先生のもと、レーザーを用いた誘導ブリルアン分光装置の開発とそれを用いて結晶中の超音波減衰 (フォノン・フォノン散乱) について研究しておりました。ブリルアン散乱は物質中の音響フォノンによる非弾性光散乱でそのスペクトル線幅から減衰率の情報が得られます。結晶中の超音波 (~10 GHz) の減衰を議論するには、高いスペクトル分解能 (~10 kHz) と測定感度が必要で、レーザーの周波数取得方法や変調方法などレーザー分光の手法を駆使し、誘導ブリルアン分光装置を開発しました。常温では結晶中を伝わる音響フォノンはほとんど伝搬せず、シンプルなローレンツ関数で近似できるブリルアンスペクトルですが、低温では音響フォノンの伝播距離が長くなり、音波のエネルギー伝播方向の情報やサンプル形状、レーザービーム形状などマクロな情報がスペクトル形状に大きく影響を与えます。このようなスペクトルの変化はブリルアン分光法の精度が高くなって見えてきた変化です。波の伝搬とスペクトルの関係について研究していたことが私の中ではメタマテリアルでの変わった波の伝搬への興味につながっているのかもしれませんが。

理化学研究所では伊藤弘昌先生が率いるテラヘルツ光源研究チームにて研究を行い、レーザーの下方変換技術を元にしたテラヘルツ光源の開発とその応用がチームの主なテーマでした。私は、有機非線形光学結晶 DAST 中の差周波発生によりテラヘルツ光を発生させる光源 (DAST-DFG 光源) の開発と応用に携わりました。DAST-DFG 光源の特徴は励起用の赤外線 2 波長を独立に選び、DAST 結晶に入射することで 1-40 THz の間で好きな波長のテラヘルツ光を出力できることです。また、その波長は、励起光の繰り返しパルスごとに切り替えることができます。これらの特徴を半導体ウエハのキャリア密度分布評価に



活かすことが私に与えられたミッションでした。見た目にはなんの変わりの無いウエハー表面でもキャリア密度の面内分布によってテラヘルツ帯のスペクトルが変わって見えるのは私にとって衝撃的でした。また、副次的な研究でしたが DAST-DFG 光源からテラヘルツ光出力特性とにらめっこしているうちに、出力スペクトルの形状が DAST 結晶自身の情報を含んでいて、そこからテラヘルツ帯の光学特性（屈折率スペクトル、吸収率スペクトル）が抽出できることもわかりました。このことは DAST-DFG 光源という装置の特色があつてこそ、見えてきた特性でした。学生の頃と研究の目的は大きく変わりましたが、こうして振り返ってみるとなにか新しい特徴をもった装置を開発するとそれにより、これまで見えなかったものが見えてくるという点では学生の頃の研究スタイルと同じでそれが性に合っていたのだと思います。

現在、石原照也先生のもとで、メタマテリアルの研究に携わっております。石原グループがこれまで研究してきた人工構造における光誘起起電力に基づき、私は金属誘電体メタマテリアルのもつ非線形光学応答について研究をしております。特にメタマテリアルからのテラヘルツ光発生、及び、そのプロセスの解明が目指すところです。これまで、光誘起起電力の時間応答はナノ秒のパルスレーザーに追従することが明らかになっており、それがどこまで速く応答するか、もしフェムト秒レーザーのパルス幅に追従すると空間を伝わるテラヘルツ波のモードと結合しうるのではないかと、というのが興味深い点です。現在までのところ数値シミュレーションにより、非対称金属グレーティング構造内のできる電磁場分布を求め、そこから計算される分極からテラヘルツ光の出力特性を調べたところ、0-50 THz の範囲で良好な出力特性が期待できることがわかっております。

テラヘルツ光を発生させるのに、様々な手法が取られておりますが、いずれも発生させる材料の影響で広帯域にフラットな出力特性を実現するのは難しいようです。このことはテラヘルツ帯特有の問題で、この帯域は、物質固有の振動モードを持つことから多岐に渡る分野への応用が提案されておりますが、逆にテラヘルツ帯全域にわたってフラットな特性を示す物質はダイヤモンドなど一部の材料を除いて殆どありません。メタマテリアルという人工的にデザインできる系でテラヘルツ光が発生させられれば、それらの影響を乗り越えられるかもしれません。

メタマテリアルとテラヘルツ光というキーワードでは、テラヘルツ帯の構造

---



は光波帯に比べてスケールが大きく作製が容易という点に着目されており、私もその恩恵にあずかって研究している一人です。一方で、テラヘルツ帯の光源の研究に携わった立場からメタマテリアルに期待する点として、光学素子の拡充があります。テラヘルツ光を測定のプローブとして活かそうとした場合、そのための光学素子が不足しております。メタマテリアル（もしくはより広義に人工構造）は新しい光学素子の材料として期待されておりますが、光波帯よりもその役割が大きいのがこの帯域だと感じております。