

田中メタマテリアル研究室

主任研究員 田中 拓男 (D.Eng.)



(0) 研究分野

分科会:工学

キーワード:メタマテリアル、ナノフォトニクス、プラズモニクス、光計測、光学デバイス

(1) 研究背景と研究目標

これまで、物質の電磁気学的な特性は、物質固有のものであり、物質が決まれば自動的に決まってしまうものとされてきました。当研究室では、この物質固有と考えられてきた誘電率や透磁率をナノ構造体を用いることで人工的に制御し、全く新しい光機能性材料とフォトニクスにおけるブレークスルー技術の創出を目指します。これは光周波数の磁場に直接応答する物質や、屈折率がゼロ、負、もしくは何百万といった巨大屈折率物質など、「あり得ない」物質を人工的に作りだすことを意味しており、我々はこれらを総称して「メタマテリアル」と呼んでいます。我々は、この人工物質を用いて、自在に光を制御する新しいフォトニクス技術へ展開してゆきます。

(2) 2019年度成果と今後の研究計画(中長期計画2025年度まで)

フラーレン、カーボンナノチューブ、グラフェン等のナノカーボン系材料は、ユニークな力学的特性及び電気的特性から、その物性制御に向けた合成手法開発が盛んです。一方、合成された材料の物性分析手法の高度化も重要な研究課題ですが、従来の分析技術の多くはその空間分解能の限界ため、ナノ材料のマクロスコピックな平均値を測る事しかできませんでした。そこで本研究では、当チーム独自の先端増強ラマン分光法(TERS)を利用してグラフェンの局所フォノンモードの可視化・分析を行いました。その結果、0.7 nmという世界最高レベルの空間分解能を持つラマン分光顕微鏡を実現しました。

図1(a)(b)は、TERSスペクトル及び強度イメージングと(c) その断面プロットです。無欠陥のグラフェンでは禁制であるDバンドとその結合モードであるD+D'バンドがTERSにて観測されました。

Dバンドは、グラフェン中の欠陥によって活性化されるモードなので(図2(a))、欠陥が無いグラフェンでは禁制なモードです。しかしTERSでは、サブナノスケールに局在化された光スポットによってDバンドの活性化メカニズムが変わって非垂直な遷移が許容となり、極めて強いDバンド由来のラマン散乱光を観察できました。このメカニズムをグラフェン特有の2つの近接するディラックコーンバンド分散を用いて示したのが図2(b)です。この観測事実は、近接場を用いた計測技術が高い空間分解能を持つが故に生じる、近接場計測特有の不確定性原理とも解釈できます。

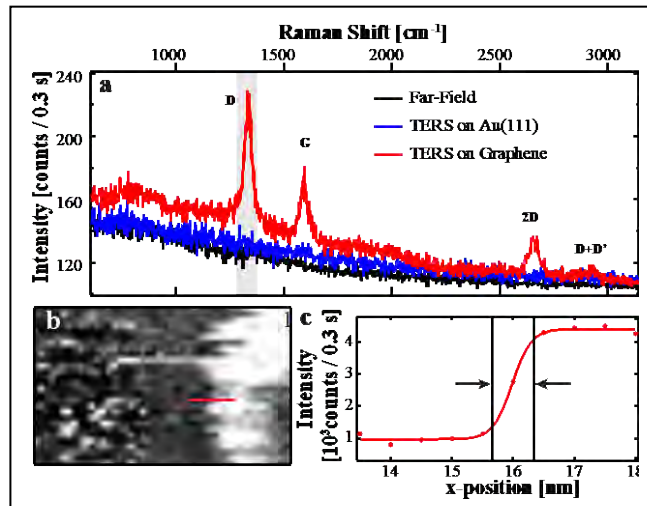


図1(a) 無欠陥グラフェンの先端増強ラマンスペクトルと(b) Dバンドによるイメージング(走査範囲: 23 nm x 14 nm)。(c)は赤線部の断面プロット。

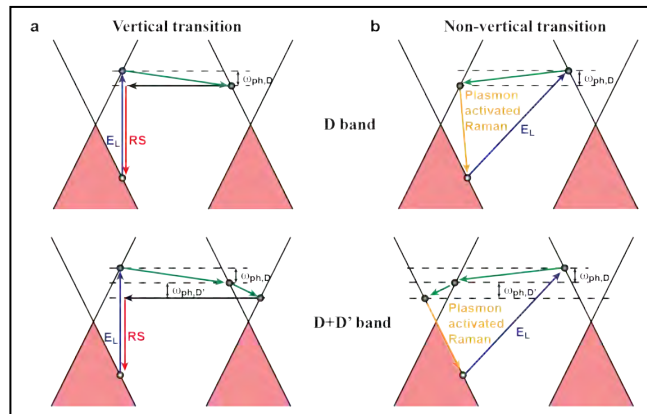


図2(a)格子欠陥がある場合の垂直遷移による従来のラマン活性化過程と(b)今回見いだされたサブナノメートル分解特有の非垂直遷移によるラマン活性化過程。

3) 研究室メンバー

(2019年度)

(主任研究員)

田中拓男

(客員研究員)

横田幸恵、矢野隆章、Che-Chin Chen、
Renilkumar Mudachathi、雨宮智宏、
竹澤晃弘

(研修生)

松方妙子、前川昌平、小出久美子、
岡田大誼、原太一、藏田あかり、
伊勢川知久、堀川万泰、勝俣翔平、
小田義貴、八木智子

(アシスタント)

Yi-Jung Liang

(4) 発表論文等

1. “Ultrasensitive and Selective Gas Sensor Based on a Channel Plasmonic Structure with an Enormous Hot-spot Region,” D.-S. Su, D. P. Tsai, T.-J. Yen, and T. Tanaka, *ACS Sensors* **4** (2019) 2900-2907.
2. “Selection and Visualization of Degenerate Magnetic and Electric Multipoles up to Radial Higher Orders by Cathodoluminescence,” T. Matsukata, N. Matthaikakis, T. Yano, M. Hada, T. Tanaka, N. Yamamoto, and T. Sannomiya, *ACS Photonics* **6** (2019) 2320-2326.
3. “3D Conical Helix Metamaterial based Isotropic Broadband Perfect Light Absorber,” R. Mudachathi and T. Tanaka, *Opt. Express* **27** (2019) 26369-26376.
4. “Visualization of subnanometric local phonon modes in a plasmonic nanocavity via tip-enhanced Raman spectroscopy in ambient,” M. V. Balois, N. Hayazawa, S. Yasuda, K. Ikeda, B. Yang, E. Kazuma, Y. Yokota, Y. Kim, and T. Tanaka, *NPJ 2D Mater. Appl.* **3** (2019) 38.
5. “Strengthen of magnetic anisotropy of Au/Co/Au nanostructure by surface plasmon resonance,” Y. Kikuchi and T. Tanaka, *Sci. Rep.* **9** (2019) 8630.

Supplementary



Laboratory Homepage

<https://www.riken.jp/research/labs/chief/metamaterials/index.html>

http://metamaterials.riken.jp/index_j.html