

カーボンナノチューブを使い室温テラヘルツ波検出器を開発

ー医療や食品・生体の非破壊検査など幅広い応用に道ー

【要点】

- カーボンナノチューブアレイ薄膜を用いたフォトディテクターを開発
- 室温動作のテラヘルツ波検出を実現

【概要】

東京工業大学量子ナノエレクトロニクス研究センターの河野行雄准教授らは、米国ライス大学、同サンディア国立研究所と共同で、カーボンナノチューブを用いたテラヘルツ波（用語 1）検出器の開発に成功した。

カーボンナノチューブをアレイ状に整列させたフィルムを用いてテラヘルツ波を室温で検出した。これは医療用イメージングや空港セキュリティー、食品検査など多岐にわたるテラヘルツ波の応用につながる成果である。テラヘルツ波は食品・生体の非破壊で安全な検査など多くの応用が期待されているが、エネルギーが光に比べて非常に小さいため、効率的に吸収・検出する材料や機構が少なく、検出には新たなアプローチが求められていた。

この研究成果は 5 月 29 日、米国化学会の学術誌「ナノレターズ (Nano Letters)」の電子版に先行掲載されました。

●背景

テラヘルツ波は紙や布など多くの物質を透過する一方で、特定の物質に吸収されやすい特徴を持つ電磁波であり、非破壊で安全な食品・生体検査など多くの応用が期待されている。テラヘルツ技術における特に注目すべき応用として、医療現場で使用されている核磁気共鳴画像法 (Magnetic Resonance Imaging : MRI) に代わるがん検査、病理診断技術がある。テラヘルツ波検出器のサイズや製造コスト、携帯性の向上は革新的な応用につながる可能性を秘めている。テラヘルツ技術を利用することで、リアルタイムでの確な腫瘍の画像化が可能な携帯型テラヘルツカメラの実現可能性がある。

しかしテラヘルツ波は従来の電子工学と光学が適用できる境界の領域に位置

するため、技術開発に多くの課題が残されている。特に、室温で動作する広帯域のテラヘルツ波検出器は今後のテラヘルツ技術の応用に向けて必要不可欠な要素である。今回の研究は室温動作のテラヘルツ波検出器の開発に成功しており、今後のテラヘルツ波応用に向けて重要なステップとなる。

●研究成果

東工大、ライス大、サンディア研の研究チームは、配列されたカーボンナノチューブの薄膜を用いて室温動作のテラヘルツ波検出器を開発した。カーボンナノチューブは、炭素原子のみで構成された細長い筒状の物質である。その直径は1~10 nm 程度であるにもかかわらず、長さは数 cm にも達する。

炭素間の結合は非常に強く、変形をおこしにくい。テラヘルツ領域でのカーボンナノチューブの特性は注目されていたが、従来の研究は理論的な解析やコンピュータシミュレーションによるものが多い。カーボンナノチューブを用いたテラヘルツ波検出に関する研究もいくつか報告されているが、いずれも単体もしくは一本の束状ナノチューブによるものだった。

これまで行われてきた、カーボンナノチューブによるテラヘルツ波検出の大きな課題は、テラヘルツ波の波長が数 10 μm ~数 100 μm と比較的長いため、単体のナノチューブに対してはアンテナの結合が必要であることだった。そこで、同研究チームは、ライス大のロバート・ハーグ (Robert Hauge) 研究員と Xiaowei He 博士学生が開発した高配向カーボンナノチューブ薄膜を利用することで、アンテナを必要としないフォトディテクターを考案した。

この技術は作製方法こそシンプルなものだが、この研究チームの重要な成果の一つである。カーボンナノチューブは「最も黒い材料」と言い表されるように光を効率的に吸収する特性を持っており、この薄膜は非常に優れた光吸収体である。テラヘルツ領域においても、カーボンナノチューブ薄膜は、入射する電磁波を広帯域に吸収することがわかっている。

ライス大の研究チームは、ナノスケールの金属的・半導体的カーボンナノチューブが混在する厚さ数 100 μm から数 mm サイズの薄膜作製技術を培ってきた。本来、ナノスケールの領域に半導体と金属を高密度に集積させることは難しく、従来の材料でこのようなデバイスを作製することは困難であったが、カーボンナノチューブを用いることでそれを実現した。

金属ナノチューブのテラヘルツ波をよく吸収するという特性と、半導体ナノチューブ特有の電気的特性を組み合わせることができるという点でこの技術は大変重要なものであり、既存技術に匹敵する能力を持ちながらもパワーレスで駆動できるフォトディテクターの実現を可能にした。このディテクターは、可視光・赤外光・テラヘルツ波の広大な周波数帯域を一つのデバイスで検出可能である。

●今後の展開

この研究成果によってカーボンナノチューブ薄膜のテラヘルツ波検出能力が明らかになり、テラヘルツ技術に新たな方向性を示した。次の段階としては、テラヘルツ波の検出能力の向上、ナノチューブ薄膜サイズなどのデバイス構造の最適化、集積化技術などが挙げられる。例えば、個々の検出器とテラヘルツ発振器の集積や、システム内の電子回路への組み込み、あるいはカーボンナノチューブの材料としての特性の向上などが応用としては必要となってくるだろう。

●研究サポート

本研究は、東工大、ライス大、サンディア研に加え、「Nano Japan[※]」というプロジェクトに参加する研究者、学生からの協力により達成された。Nano Japan は、日本のテラヘルツ研究における国際インターシップとして、米国の理学部、工学部に所属する大学 1、2 年生が参加する 12 週間の夏期プログラムである。

※ Nano Japan : <http://nanojapan.rice.edu/>

<http://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/THP/NJP/NJP.htm>

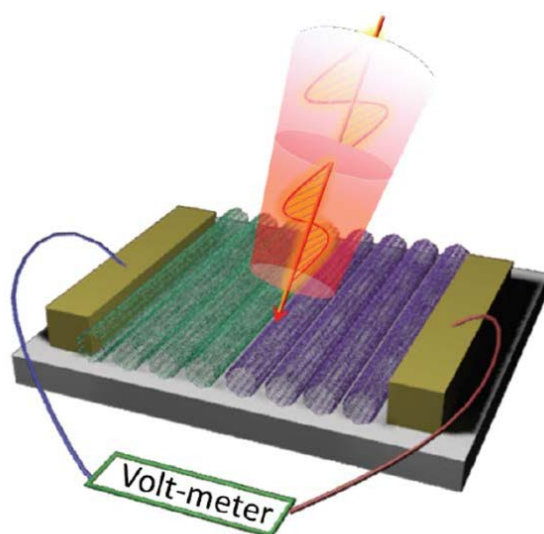


図 1 : カーボンナノチューブ薄膜による室温テラヘルツ波検出の概念図

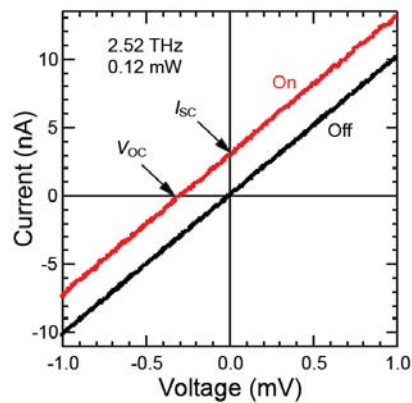


図2：カーボンナノチューブ薄膜の電流－電圧特性とテラヘルツ波照射による変化

【用語説明】

用語1 テラヘルツ波：周波数が 0.1 ~30 THz である電磁波帯のこと。
電波と光の中間に位置し、未開拓電磁波とも呼ばれる。

【論文情報】

著者: Xiaowei He, Naoki Fujimura, J. Meagan Lloyd, Kristopher J. Erickson, A. Alec Talin, Qi Zhang, Weilu Gao, Qijia Jiang, Yukio Kawano, Robert H. Hauge, François Léonard and Junichiro Kono

雑誌名: Nano Lett., Article ASAP

論文タイトル: Carbon Nanotube Terahertz Detector

DOI: 10.1021/nl5012678

【問い合わせ先】

東京工業大学 大学院理工学研究科 電子物理工学専攻
量子ナノエレクトロニクス研究センター准教授 河野 行雄

Email: kawano@pe.titech.ac.jp

TEL: 03-5734-3811

FAX: 03-5734-3811