

固体ワンチップによる広帯域テラヘルツ分光器の開発

研究代表者

河野行雄 東京工業大学大学院理工学研究科



1. 研究の背景と達成目標

本研究は、通常の半導体とは異なる特異な電子状態・物性を有するグラフェン(炭素結晶の単原子層)を用いた、THz(テラヘルツ)帯域のデバイス創出を目的とする。具体的には、磁場中のグラフェン素子を用いて、遠赤外～中赤外の超広帯域にわたる固体ワンチップ THz 分光器を開発する。

達成目標 : グラフェンデバイスの THz 分光特性の評価

まず、グラフェンによる THz 分光デバイスの特性評価を行う。THz 光伝導(THz 光のサイクロトロン吸収による電気伝導度変化)の分光特性を調べる。次に、グラフェン中のポテンシャル分布を探ることで、空間的な特性を評価する。以上から、デバイス創製に向けた設計や動作条件に関する指針を得る。

達成目標 : 広帯域 THz 分光システムの構築

磁石を半導体基板上に付置し、磁場最大点から距離を離しながら複数のグラフェン素子をアレイ上に配置することで、ワンチップによる周波数チューニングを可能にする。さらに低振動ステージやコンピュータ制御された計測系を構築し、自動スケジュール測定可能な分光システムを開発する。

2. 主な研究成果と社会、学術へのインパクト

成果 : グラフェンデバイスによる広帯域周波数可変 THz 検出の達成

成果 : 広帯域 THz 分光システムの構築

幅広い分野での活用が期待されている THz 技術の中で、THz 分光は、対象となる試料のエネルギー構造を直接的に決定できることから、試料中の未知物質を特定し、その特性を調べるための強力な計測手段である。本成果により、短パルスレーザーや干渉計等、高価で複雑な機器を必要とせず、THz 分光を行うことが現実となってきた。さらに、グラフェンの新たな素子応用を実証した点でも、グラフェン研究分野にインパクトを与える成果である。本技術は、最近、米国特許への登録が認可され、今後の産業応用に向けて有利な立場にいる。

3. 研究成果

THz 光照射によるグラフェンの電圧変化の磁場依存性を測定した。1.6THz, 4.2THz, 33THz の電磁波照射に対して明瞭な共鳴応答信号が得られた。今回測定した磁場範囲 0-5T におけるランダウ準位間エネルギーを考慮すると、これらの結果は、ディラックフェルミオンの THz 共鳴吸収(ランダウ準位間遷移)による光伝導現象であることが分かった。この実験は、遠赤外～中赤外の広帯域で周波数を選択しながら検出可能であること(チューナブル検出)を実証している。さらに、グラフェン素子におけるポテンシャル分布の観測を行ったところ、特徴的な空間パターン構造を見出した。これが THz 応答と関連性を持っていることを突き止めた。

4. 今後の展開

本研究の大きな成果は、グラフェン素子単体で THz 波の周波数チューニング検出が達成されたことである。従来の THz 分光では、短パルスレーザーや干渉計等、高価で複雑な機器を必要としたが、本研究成果により、安価で簡便な THz 分光計測への道が開けた。しかも、本技術は 1.6-33THz という広範囲でのチューニングが可能であり、測定の周波数帯域を大幅に広げることができた。今後は、検出周波数帯域の拡大(0.8~80THz 程度)と、グラフェンアレイ化により磁場スweepなしに分光できる素子の開発を行う。

本研究のもう一つの大きな価値は、グラフェンの新たな素子応用を実証したことである。グラフェンは新奇な電子材料として大きな注目を集めているが、いまだ実用化された例はない。本研究が突破口の1つとなることが期待される。

5. 発表実績

論文

1. Y. Kawano, "Terahertz Sensing and Imaging Based on Nanostructured Semiconductors and Carbon Materials", Laser & Photonics Reviews (Wiley-VCH, Berlin), Vol. 6, pp. 246-257, 2012 年 (**Review**)
2. Y. Kawano and K. Ishibashi, "Spatial mapping of potential fluctuation in GaAs/AlGaAs and graphene by a scanning nanoelectrometer", Journal of Physics: Conference Series, Vol. 334, pp. 012018-1-5, 2011 年
3. Y. Kawano, "Highly Sensitive Detector for On-Chip Near-Field THz Imaging", IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Vol. 17, No. 1, pp. 67-78, 2011 年 (**Invited paper**)
4. Y. Kawano, "Scanning Electrometer: Mapping of Electric Potential and Its Fluctuation", Japanese Journal of Applied Physics, Vol.49, No. 8, pp. 08LA02-1-8, 2010 年 (**Review paper**) (**SPOTLIGHTS: Editors' Choice に選定**)
5. Y. Kawano and K. Ishibashi, "Scanning nanoelectrometer based on a two-dimensional electron gas transistor with a probe-integrated gate electrode", Applied Physics Letters, Vol. 96, Issue 14, pp. 142109-1-3, 2010 年

著書

1. Y. Kawano, "Terahertz nano-devices and nano-systems", "Handbook of Terahertz Technology for Imaging and Sensing, and Communications", Woodhead Publishing Ltd., UK, 2012 年出版予定
2. Y. Kawano, "Terahertz Technology Based on Nanoelectronic Devices", "Integrated Microsystems: Electronics, Photonics, and Biotechnology", Taylor & Francis Group, USA, pp. 289-308, 2011 年

招待講演

1. Y. Kawano (**Keynote**), "Terahertz Sensing and Imaging Based on Nano-Carbon Devices", 36th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (Houston TX USA, October 2011).

他24件

特許登録

米国特許登録:Y. Kawano(90%)and K. Ishibashi(10%), US7947955B2 "Apparatus and method for detecting terahertz wave" (2011)

新聞・一般誌による紹介

1. 日経サイエンス(2012年7月号)「フロントランナー挑む」
2. 日経産業新聞(2012年1月5日)「先端人」"高解像度呼んだ探求心"
3. 日刊工業新聞(2010年12月9日) "次世代素子計測へ~カンチレバーに半導体~"

受賞

1. 東工大挑戦的研究賞・学長特別賞
2. Sir Martin Wood Prize
3. 日本 IBM 科学賞(エレクトロニクス分野)