

グラフェン／半導体接合によるテラヘルツ波変調素子の開発

Terahertz Wave Modulation by Graphene/Semiconductor Junction

H25助自19

代表研究者 川 山 巖 大阪大学 レーザーエネルギー学研究センター 准教授
Iwao Kawayama Associate Professor, Institute of Laser Engineering, Osaka University

While the highly tunable conductivity of charge carriers through gating is one of the attractive features of graphene, it also means that the conductivity of graphene can be adversely affected by accidental doping in a rather uncontrolled fashion. It has been shown that adsorption of environmental gas molecules can drastically affect graphene's DC and optical conductivities. For detection and identification of molecular adsorbates on graphene, it is necessary to develop a versatile and convenient method that probes local conductivity or doping but does not require the fabrication of electrical contacts. In the present study, we demonstrate a new approach to visualize the distribution of molecular adsorbates on graphene using terahertz emission spectroscopy and imaging. We found that the waveforms of terahertz radiation from graphene-coated InP sensitively changed with the type of the atmospheric gas, the laser illumination time. The terahertz waveform change is explained through band structure modifications in the InP surface depletion layer due to the presence of localized electric dipoles induced by adsorbed oxygen. These results demonstrate that terahertz emission serves as a local probe for monitoring adsorption and desorption processes on graphene films and devices, suggesting a novel two-dimensional sensor for detecting local chemical reactions.

研究目的

グラフェンは特異な電氣的、光学的特性を有し、高速トランジスタ、テラヘルツ波光源、広帯域光学変調器など様々な電気・光デバイス材料として有用な材料と考えられている。特に、電子が高い移動度を持つことから、テラヘルツデバイス材料として有望視されており、グラフェンのテラヘルツ帯における電氣的・光学的特性を評価することが精力的に行われている。

一方、テラヘルツ波は、X線に代わる安全なセキュリティシステムや、生体分子の識別および超高速無線通信など、近年様々な分野でそ

の有用性が実証されつつある。そのため、テラヘルツ波の発生、検出および変調素子の開発が精力的に行われている。

本研究の目的は、InP、InAs、GaAsなど様々な半導体とグラフェンとの接合を作製し、フェムト秒パルスレーザー照射によって半導体表面から発生するテラヘルツ波を、グラフェン／半導体界面のポテンシャル変化もしくはグラフェンのフェルミ準位シフトによるテラヘルツ波透過率の変化を利用し、テラヘルツ波を変調するという、新規なテラヘルツ波変調素子を開発することである。上記のような原理でテラヘルツ波を変調することにより、従来にない高い変調率かつ非常に高速にテラヘルツ波振幅

を変調することが可能である。

概 要

グラフェンの特異な電気的特性が明らかになって以降、基礎科学および産業応用の両面から活発な研究開発が行われている。グラフェンにおいて、伝導キャリアやフォノンは理想的な2次元系を形成しており、このことが特異な電気、磁気、光学、熱的、機械的性質の要因となっている。特に、電子が高い移動度を持つことから、高速デバイス材料として有望視されている。一方、テラヘルツ波は、電波の透過性と光の直進性を併せ持つ電磁波(100GHz~30THz程度)であり、従来の高周波半導体デバイスの上限動作周波数に近いことなどから未踏領域とされてきた。しかし、近年、科学技術の進歩により、様々な手法でのテラヘルツ波の発生、検出が実現され、その実用化が期待されている。その中でもフェムト秒レーザーを用いて発生したテラヘルツ波発生を時間領域で検出する方法は広く用いられている。これを応用することによって、生体分子や薬物の検査、電子デバイスの物性評価などが可能である。

本研究の目的は、InPなど様々な半導体とグラフェンとの接合を作製し、フェムト秒パルスレーザー照射によって半導体表面から発生するテラヘルツ波を、グラフェン／半導体界面のポテンシャル変化もしくはグラフェンのフェルミ準位シフトによるテラヘルツ波透過率の変化を利用し、テラヘルツ波を変調するという、新規なテラヘルツ波変調素子を開発することである。半導体表面のポテンシャル変調の手法としては、グラフェン表面に電極を作製し、直接電界をかけることが考えられる。また、グラフェンに分子および原子が吸着する事によっても電気双極子が形成され、グラフェン／半

導体界面のポテンシャルが変化し、発生するテラヘルツ波が変調されることが期待される。グラフェンを用いた高周波発振器や検出器などの高速電子デバイスの特性は、グラフェン上での吸着分子や酸化反応により大きく変化する。そのため、グラフェンにおける局所的な電子状態の計測は、グラフェンデバイスを開発する上で非常に重要な技術である。

今回我々は、グラフェンを堆積した半導体基板から発生するテラヘルツ波の特性からグラフェンの局所的な電子状態を分析およびイメージングする手法を考案した。試料としては、化学気相成長法により銅版上に成長させた大面積グラフェンをInP(100)基板上に転写したものをを用いた。InPなどの半導体に、フェムト秒パルスレーザーを照射すると半導体表面からテラヘルツが放射される。半導体表面からのテラヘルツ波発生に関してはいくつかのメカニズムが提唱されているが、InPなどバンドギャップがある程度大きな(1eVを超える)半導体の場合は、表面にフェムト秒レーザーを照射したときに発生する、表面サージ電流に起因すると考えられている。このような半導体にグラフェンをコートし波長800nmのフェムト秒パルスレーザーを照射すると、グラフェンはレーザー光をほぼ透過するため、半導体表面からテラヘルツ波が発生する。

本研究において、グラフェンを堆積したInP上にフェムト秒パルスレーザーを照射し、発生するテラヘルツ波の波形が、レーザー照射時間によって変化をする事を見いだした。また、このような波形の変化は、雰囲気ガスの種類や紫外光の照射によっても発現する事を確認した。これらの結果は、酸素分子のグラフェンへの吸着によりグラフェンとInPの界面に電気双極子が形成され、その影響でInPの表面バンド構造が変化するためと解釈できる。この現

象を利用することでグラフェンへの酸素の吸着状態をイメージング可能であること実証した。このような現象はテラヘルツ波をプローブとしたグラフェン薄膜およびデバイスの局所状態評価や、局所化学反応を検出可能な2次元センサーとして展開可能である。

－以下割愛－