

光電場によるグラフェン中の電流制御

樋口卓也

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), Germany

takuya.higuchi@fau.de

物質中の電子をどれだけ短時間の中に制御できるのか。これは物性研究の究極の問いの一つである。その限界に迫る試みが極短パルスレーザーを用いることで進められている。極短パルスレーザーを用いると次の2つの重要な性質を持った電場を生成することができる。1つは極短パルスではその尖頭値が大きくなるために非常に強い電場 (>1 V/nm)を比較的容易に生成でき、物質中で電子が感じている電場をも超える強さの電場を物質に印加できるということである。こういった強い電場が物質に加わると、もともとの系にあったエネルギースケール(例えばバンドギャップエネルギーなど)の逆数よりも短い時間スケールで電子が運動するようになる [1]。もう1つはキャリアエンベロープ位相(CEP)という位相を制御することで、電場波形の定まったパルスを生成できるという点である。この波形の制御は光の1サイクルの時間(例えば波長 800 nm の場合 2.7 fs)よりも短い精度で行うことができ、光のパルス幅よりもずっと短い時間スケールで印加する電場の強度を調整することができることを示している。

本講演ではこの高強度、かつ電場波形の制御された極短パルスレーザーを用いた電子制御の例として、グラフェン中にレーザー電場波形によって制御された電流を生成した結果[2]について発表する。一般に良導体に光を照射するとそのキャリアが電場をスクリーニングしてしまうために、良導体内の電子に強い光電場を印加することは難しい。しかしグラフェンは良導体であるもののキャリア密度が低く、また2次元的な形状を持つために、強い光電場をグラフェン中の電子に印加できる。そこでグラフェンのリボンに2サイクル、波長 800 nm のレーザーパルスを照射したところ、レーザーの電場波形を決める CEP に依存する電流がリボン中に流れることを発見した。特にリボンの向きに並行な直線偏光の場合、ピーク電場強度を 1 V/nm から 3 V/nm へと強めていくと、CEP に依存した電流の向きは反転した。そして円偏光の場合も CEP に依存した電流は観測されたものの、その向きの反転は観測されなかった。リボンに直交した偏光の場合にはこの電流は観測されなかった。これらの結果は、グラフェン中の電子を物質波として扱い、そのコヒーレントな運動を考えたモデルで良く説明できることを明らかにした。特に振動電場中で電子がグラフェンのディラック点近傍を何度か横切る際に起きる干渉効果 (Landau-Zener-Stückelberg 干渉) の有無によって、直線偏光照射と円偏光照射の質的な違いを説明できることが明らかになった。電子を光の1サイクルよりも短い時間で制御することが可能になったことで電子を量子力学的でコヒーレントな波として扱う操作ができるということを示しており、光電場による物質制御や、物質のバンド構造の新たな決定法、そして光周波数で駆動できるエレクトロニクスデバイスといった広い展開が期待される。

[1] T. Higuchi, M. I. Stockman and P. Hommelhoff, "Strong-Field Perspective on High-Harmonic Radiation from Bulk Solids," *Phys. Rev. Lett.* 113, 213901 (2014).

[2] T. Higuchi, C. Heide, K. Ullmann, H. B. Weber and P. Hommelhoff, "Light-field driven currents in graphene," *arXiv:1607.04198* (2016).