単層・2 層・3 層グラフェンにおけるサイクロトロン共鳴の観測

Observation of cyclotron resonance in mono-, bi-, and tri-layer graphene

東大生産研 [1]，物材機構 [2]，CREST-JST[3] ○荒井美穂 [1]，井上尚子 [1]，小野寺桃子 [1]，浅川友太 [1]，
増渕覚 [1]，渡邊賢司 [2]，谷口尚 [2]，町田友樹 [1, 3]

IIS, Univ. of Tokyo [1], NIMS [2], CREST-JST [3], ○Miho Arai[1], Naoko Inoue[1], Momoko Onodera[1],
Yuta Asakawa[1], Satoru Masubuchi[1], Kenji Watanabe[2], Takashi Taniguchi[2], and Tomoki Machida[1, 3]

E-mail: marai@iis.u-tokyo.ac.jp

グラフェンは低温・強磁場下においてランダウ準位を形成し量子ホール効果を示す。ランダウ準位のエネルギーは、半導体二次元電子系では磁場 B に比例するが、単層グラフェンではキャリアがディラックフェルミオンであるため $\sqrt{B}$ に比例する。2 層グラフェンのランダウ準位は B に対して線形であるが、trigonal warping の存在により電子—ホール対称性が崩れている。3 層グラフェンでは mono-layer 的な準位と bi-layer 的な準位の組み合わせとなっている。様々なスピン/谷自由度の組み合わせのランダウ準位交差が生じ、同じ index のランダウ準位間ではランダウ準位反交差によるギャップが形成される[1]。グラフェン量子ホール系のランダウ準位は複雑であり実験的に未解明の部分も多い。一方、グラフェンに中赤外光を照射するとサイクロトロン共鳴吸収によって光起電力が生じる[2]。電気伝導測定ではフェルミエネルギー近傍の情報が得られるのに対して、サイクロトロン共鳴ではランダウ準位間の遷移を直接的に観測することができる。本研究では、グラフェンにおける複雑な量子ホール系の物理をサイクロトロン共鳴吸収によって解明していく。

各層数のグラフェンを h-BN で挟んだファンデルワールス積層構造を作製し、低温において波長 9.2 ~ 10.8 μm の CO_2 レーザー光を照射した。電流を流さずバックゲート電圧 V_{BG} と磁場 B を掃引しながら電圧を観測したところ、特定の磁場 B および V_{BG} において光電圧応答を観測した。ランダウ準位間での遷移が起き、光起電力が生じていることを示している。3 層グラフェンで面直磁場に加え面内に磁場を印加してサイクロトロン共鳴吸収の測定を行った結果についても議論する。

[1] Y. Asakawa, S. Masubuchi, N. Inoue, S. Morikawa, K. Watanabe, T. Taniguchi, and T. Machida, Phys. Rev. Lett. **119**, 186802 (2017).

[2] S. Masubuchi, M. Onuki, M. Arai, T. Yamaguchi, K. Watanabe, T. Taniguchi, and T. Machida, Phys. Rev. B **88**, 121402(R) (2013).

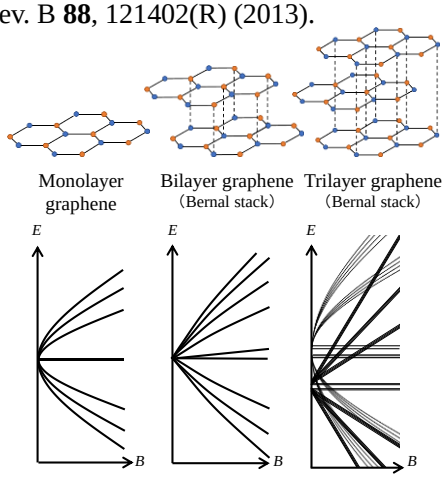

Fig. 1 Crystal structure and Landau level of mono-layer (left), bi-layer (center), and tri-layer (right) graphene.

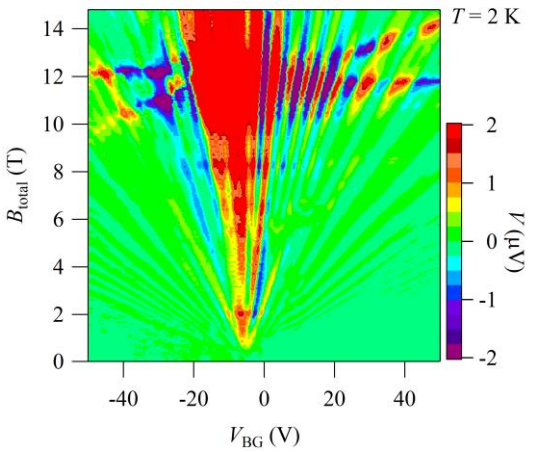

Fig. 2 Color-scale plot of photo voltage in tri-layer graphene as a function of V_{BG} and B_{total} at θ_{tilt} = 45°.