

励起で探る量子ホール効果のエッジ状態

本論文では、2次元電子系基板表面に配置したコプレーナ型導波路を用いたマイクロ波透過率の測定およびマイクロ波加熱による熱起電力の測定が行われ、整数量子ホール効果のエッジ状態に励起されるエッジ・マグネトプラズモンの観測がなされている。エッジはゲート電極により静電的に導入され、観測された励起周波数のゲートバイアス依存性は、エッジの位置およびエッジ状態内の電子濃度分布の変化に対応するものであることが明らかにされている。

2次元電子系に強い磁場を印加することにより現れる現象で最もよく知られたものは量子ホール効果であろう。整数量子ホール効果は、ある磁場（あるいは電子濃度）範囲にわたり対角抵抗がゼロとなり ($R_{xx}=0$)、ホール抵抗は高い精度で基礎物理定数のみで決まる値の整数分の1の一定値となる ($R_{xy}=R_K/p, p=1,2,3,\dots, R_K=h/e^2=25812.807\ \Omega$ はフォン・クリッツィング定数)現象である。後者は抵抗標準として利用されている。この現象には、試料内部（バルク）が局在状態（絶縁体）となり、試料端にのみ1次元的な無散逸伝導チャンネル（エッジ状態）が形成されることが重要な役割を果たしている。エッジ状態は、後方散乱無く電荷やスピンを伝播させ得るチャンネルとしても注目され、応用を視野に入れた研究もなされている。バルクとエッジの関係が示唆する通り、整数量子ホール効果は、近年爆発的に研究されているトポロジカル絶縁体の、最も歴史の古い一形態とみなすことも出来る。

磁場中2次元電子系の高周波での実験的研究法の一つとして、コプレーナ型導波路を用いる手法がある。コプレーナ型導波路とは同軸ケーブルを平面に切り開いたようなもので、半導体2次元電子系の基板表面に設置された導波路を伝播するマイクロ波と基板に埋もれた2次元電子系との相互作用を通して2次元電子系の情報を得る。これまでに高周波伝導率の測定や、ウィグナー結晶を含む磁場下2次元電子系で形成される種々の電子固体相の振動モード（ピニングモード）等、多体状態を励起する研究に用いられてきた。

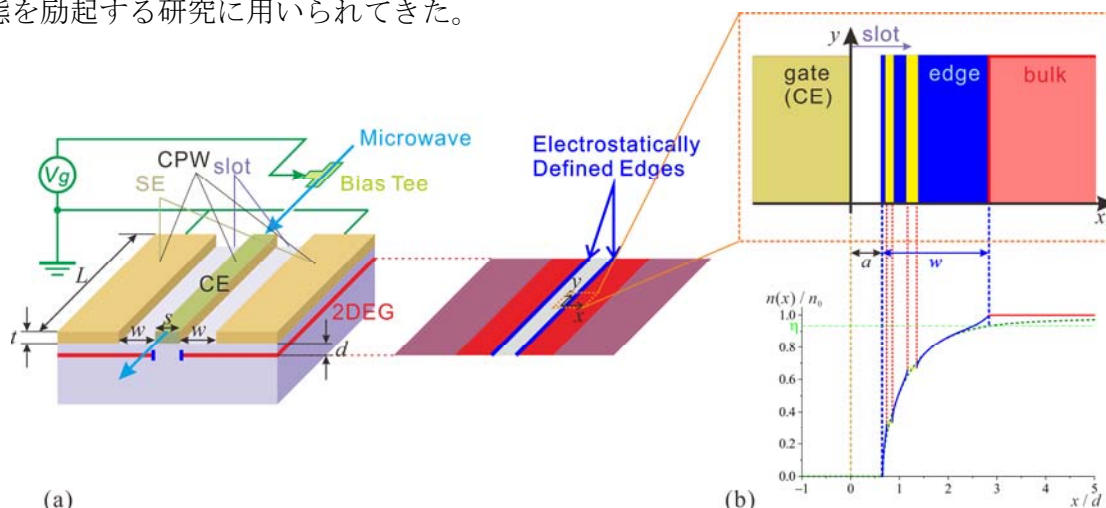


図 1. (a) 試料と測定法の概略。2DEG: 2次元電子系、CPW: コプレーナ型導波路、CE: 中央電極、SE: 側電極。CE に負バイアスを印加しスロット部にエッジを導入する。マイクロ波透過率および (図示されていない) オーミック電極間に発生する熱起電力を測定する。(b) エッジ付近の拡大図。平面図 (上図) と電子濃度 $n(x)$ の位置 x 依存性 (下図)。

最近、東京大学物性研究所ナノスケール物性研究部門の研究グループは、コプレーナ型導波路を

用いた測定法を量子ホール効果のエッジ状態の研究に適用し、エッジでのプラズマ振動励起（エッジ・マグネトプラズモン）の観測に成功した。この測定法は、導波路の中央電極と側電極の間隙（スロット部）直下の2次元電子系への感度が高いが、中央電極を同時に電子濃度変化のためのゲート電極としても利用し、スロット部へエッジを導入する独自の手法でエッジ状態の高感度測定が行われている。励起周波数を解析することにより、エッジの位置、エッジ状態内の電子濃度分布に関する情報を得ることが出来ることが明らかにされた。この成果は、日本物理学会が発行する英文誌 *Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)* の 2018 年 6 月号に掲載された。

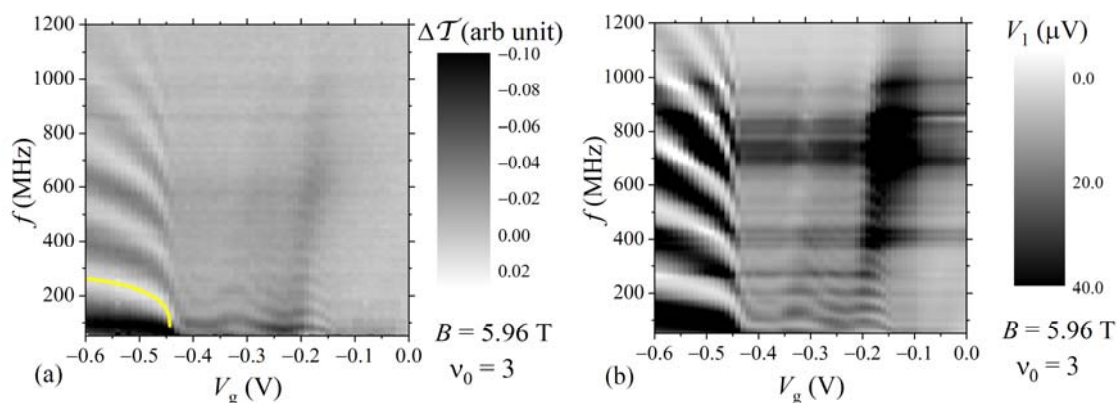


図 2. ランダウ準位充填率 $\nu_0 = 3$ 整数量子ホール効果でのゲートバイアス V_g - 周波数 f 依存性の測定結果。(a) マイクロ波透過率 ΔT 。黄色い太線は計算から求めたプラズモン励起周波数の V_g 依存性。(b) 熱起電力 V_1 。

ゲート電極に負バイアス V_g を印加することによりゲート下の電子濃度は減少する。負バイアス V_g が閾値を超えると ($V_g < V_{dpl}$) ゲート下の電子はいなくなり、スロット部へエッジが導入されることになる。さらに大きな負バイアスを加えていくと、エッジはゲートから遠ざかり、端から徐々に増加していく電子濃度分布の形状も変化していく。本研究では、こうした変化に従いプラズモンの周波数も変化すること、励起周波数は静電的な計算で求めたエッジ位置、電子濃度分布から導出される値と定量的に良く一致することが明らかにされている。こうしたエッジ付近の変化は、先に述べた量子ホール効果の抵抗値には影響を与えないが、プラズモンの伝播速度を変化させる。本研究の成果は、抵抗測定では得られない量子ホールエッジ状態に関する基礎的な知見をもたらすとともに、「プラズモニクス」としてデバイス応用が考えられているプラズモンの制御への指針を与えることが期待される。

原論文

[Frequencies of the Edge-Magnetoplasmon Excitations in Gated Quantum Hall Edges](#)

Akira Endo, Keita Koike, Shingo Katsumoto, and Yasuhiro Iye, *J. Phys. Soc. Jpn.* 87, 064709 (2018).

問合せ先：遠藤 彰（東京大学物性研究所）

勝本信吾（東京大学物性研究所）