

高感度遠赤外光検出系を用いた 量子ホール系非平衡電子の空間分布観察

東京大学大学院総合文化研究科 河野行雄、小宮山進

Imaging of nonequilibrium electrons in quantum Hall devices by using a high-sensitive FIR detector

Y. Kawano and S. Komiyama

Department of Basic Science, University of Tokyo

量子ホール系における電気伝導には、バルク状態の電子局在やエッジ状態に絡んだ非局所的な伝導など、多彩でかつ重要な物理が盛り込まれていることが知られている反面、基本的な部分で未だに理解の進んでいない問題も依然として残っている。従来は、この電気伝導現象を探究する実験手段として、電気抵抗測定が圧倒的に多かったが、得られる情報が間接的であるという不満が常につきまとった。この状況に対して、液体ヘリウム超流動の噴水効果を利用した熱分布測定や、AFM や SET などを用いた高分解能な静電ポテンシャル分布測定など、工夫を凝らした実験がいくつか試みられてきたものの、電気伝導の担い手となる非平衡電子そのものの空間分布を観察した実験例は皆無であった。

そこで、我々は、非平衡電子がランダウ準位間でエネルギー緩和するのに伴って生じるサイクロトロン発光(遠赤外光)に着目し、その空間分解測定を用いて量子ホール系における非平衡電子分布を視覚的に観察するという新しい手法を確立した。サイクロトロン発光測定は、ランダウ量子化された二次元電子系だけから生じるものを観測することになるため、電極中の散逸も含んでしまう熱散逸測定とは質的に異なっており、二次元電子系内の非平衡電子の振る舞いを直接的にプローブするためのほぼ唯一の手段となる。実際の測定では、伝導体の各位置から生じる光は極めて微弱であるため、高感度な遠赤外光検出器が必要となる。そこで、我々は、検出器として、同じく量子ホール効果素子のサイクロトロン共鳴光吸収を利用したものを開発した。この検出器は、市販のものよりも高感度で、さらに光応答スペクトルが狭帯域(波長選択性が高い)という特徴を有するため、余計な散逸を含まないサイクロトロン発光のみを検出し、量子ホール電子系内の純粋な非平衡電子分布だけを抽出することが可能となった。

図1に、この測定系を用いて得られたサイクロトロン発光強度の空間分布(非平衡電子の局所的密度分布)が示されている。 $I=70 \mu\text{A}$ (量子ホール効果状態)では、電子が注入されるコーナー、電子が抽出されていくコーナーの2箇所非平衡電子分布が生成していることが分かる。さらに電流を増大させていくと($I=250 \mu\text{A}$, $I=400 \mu\text{A}$)、新たな別の分布が電子注入端子側においてのみ広がっていくのが見て取れる。この新たに広がった分布は、 $I-V$ 測定との比較から、量子ホール効果ブレークダウンによって出現する有限の縦抵抗の領域に正確に一致していることが見い出された。

以上の結果は、量子ホール効果の発見以来、基本的だが未解決の問題として放置されてきた、電流端子が抵抗量子化/崩壊に与える影響についての明確な解答を与えるものである。ポスター講演では、非平衡電子分布が、(ホール電場は同じでも)ホールバーの幅の変化に応じて著しく異なっていくことを示唆する実験結果についても揭示し、伝導体内の電場分布には単純に従わない伝導電子の非局所的な振る舞いについて議論したい。

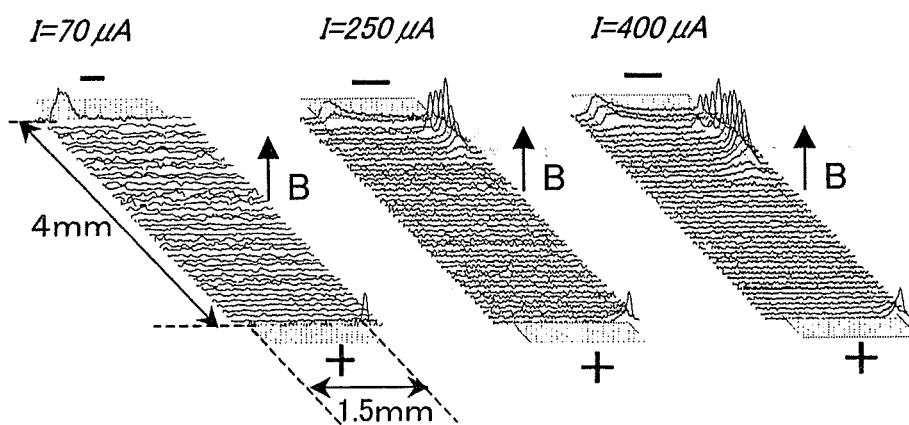


図1 サイクロトロン発光の空間分布。
用いた試料は、長さ4mm、幅1.5mmのホールバーで、印加している磁場は $B=6\text{T}$ (ランダウ準位の占有数2に相当)。3つの分布図は、電流値のみが異なっている。