

2025年第86回応用物理学会秋季学術講演会シンポジウム報告

シンポジウム名: 二次元物質量子エレクトロニクス

日時: 2025年9月9日(S102会場)

司会者: 守谷 賴(東京大学)、森山 悟士(東京電機大学)

2025年9月9日に開催された、応用物理学会秋季学術講演会のシンポジウム「二次元物質量子エレクトロニクス」では、二次元物質における最新の研究動向と、量子エレクトロニクス応用への展望について議論されました。

このシンポジウムでは、主に以下の5つのテーマに関する発表が行われました。

1. 非相反輸送現象と量子幾何効果

非相反輸送とは、電流や熱等の流れが方向によって異なる現象を指します。岩佐義宏氏(理研CEMS)は、空間反転対称性の破れた系で観測される非相反輸送現象について講演しました。具体的には、面内反強磁性体である二層 CrSBr における光電流が、層ごとに逆方向へ流れる現象を報告しました。また、ワイル半金属 TaAs の表面で、表と裏の整流性が逆になることを示し、非相反測定が表面伝導を捉える上で有効な手法であることを明らかにしました。

田中未羽子氏(東大物性研)は、ツイスト二層グラフェン(TBG)の超伝導相における超流動スティフェスを測定しました。この値が、従来の理論予測の10倍程度大きいことを発見し、バンド分散だけでなく量子幾何効果に起因する項が支配的であるという理論予測を裏付ける結果を示しました。これは非従来型超伝導体の解明に重要な知見を提供しました。

2. 滑り強誘電体の物性

安田憲司氏(コーネル大学)は、ファンデルワールス物質強誘電体を人工的に設計する新しい手法について紹介しました。非強誘電性材料である窒化ホウ素(h -BN)や遷移金属ダイカルコゲナイト(TMD)の二層系では、層間の積層角を調整して積層することで強誘電性を誘起する事が可能です。これは滑り強誘電体と呼ばれています。講演では滑り強誘電体電界効果トランジスタ(FeFET)がナノ秒の高速スイッチング動作が可能であり、かつスイッチングの耐久性優れている結果を報告しました。滑り強誘電体をトンネルバリアに用いた分極依存トンネル抵抗素子や、滑り強誘電体による二次元物質のバンド構造制御についても報告しました。

3. 二次元物質のテラヘルツオンチップ伝送と動的界面エンジニアリング

吉岡克将氏(NTT 物性研)は、オンチップ THz 分光法を応用することで、二次元物質グラフェンや黒鱗における超高速光電流応答の時間分解測定に成功しました。それぞれ 220 および 260 GHz という高速のバンド幅を示すことを初めて示しました。さらにグラフェンにプラズモンを電気的に発生させ、伝搬を制御し、リアルタイムで計測することに成功しました。これにより、電気的に発生されたプラズモン波束としては史上最短の 1.2 ピコ秒のパルス幅を実現し、その速度や振幅をゲート電圧で制御できることを示しました。

藤井瞬氏(慶大理工)は、動的歪みによる TMD の超高速界面エンジニアリングについて発表しました。表面弹性波(SAW)を用いることで、TMD の結晶構造を高速かつ動的に変調し、光物性を制御するプラットフォームを提案しました。時間・空間・スペクトルを同時に分析可能な光計測を実現し、TMD の励起子物性のダイナミクスを可視化することに成功しました。

4. ファンデルワールス量子井戸エレクトロニクス

木下圭氏(東大生研)は、複数層の遷移金属ダイカルコゲナイト(TMD)を天然の量子井戸として活用し、ファンデルワールス(vdW)二重量子井戸デバイスを作製しました。このデバイスは、量子井戸

間の共鳴トンネルにより負性微分抵抗(NDR)を伴う電流ピークを示しました。そして vdW 共鳴トンネルデバイスとして過去最高のピーク・バレー電流比 $PVR=64$ を達成しました。また、ツイスト角を調整することで電流ピークの位置が変調される「ツイスト量子井戸」の可能性も示しました。

5. モアレ物質のメソスコピック物理

岩切秀一氏(物材機構)は、超伝導のツイスト二層グラフェン(TBG)を用いたリング型デバイスで観測された量子干渉効果について報告しました。静電的に誘導したリング構造で、超伝導リングにおける Little-Parks 振動と、常伝導リングにおける Aharonov-Bohm 振動を観測し、それぞれの電子のコヒーレンス長から散乱機構を議論しました。さらに、空間分解能とツイスト角分解能を併せ持つ新しい計測手法、「量子ツイスト顕微鏡」を紹介しました。この顕微鏡は、局所的なねじれ角の変調と輸送応答を同時に測定でき、モアレ超格子のポテンシャル構造やバンド構造の精密測定を可能にします。

これらの発表は、二次元物質が持つ多岐にわたる量子現象を解明し、不揮発性メモリ、超高速信号制御、新しい量子物性測定技術といった次世代量子エレクトロニクスへの応用可能性を示しました。