

2021年度 TIA 連携プログラム探索推進事業「かけはし」

調査研究報告書(公開版)

【研究題目】酸化亜鉛ナノ構造における新奇量子電子物性解明と量子デバイス応用

【整理番号】TK21-002

【代表機関】東北大学

【調査研究代表者（氏名）】大塚 朋廣

【TIA 内連携機関：連携機関代表者】
物質・材料研究機構 小塚 裕介

【TIA 外連携機関】

【報告書作成者】大塚 朋廣

【報告書作成年月日】2022年3月28日

【連携推進（具体的な連携推進活動内容とその活動の効果等）】

本調査研究では、東北大学と物質・材料研究機構の研究グループが連携し、酸化亜鉛ナノ構造における新奇量子電子物性解明と量子デバイス応用の研究を実施した。具体的には物質・材料研究機構において世界最高品質の酸化亜鉛材料作製技術により材料を作製し、ゲート絶縁膜の形成、微細加工の前段階を行い、東北大学においてナノ構造デバイス作製を行い、精密電子測定技術を活用して電子物性測定と応用の研究を実施した。

オンライン会議を頻繁に開催しながら、材料・試料作製、測定状況について情報を共有することにより、それぞれの連携機関の有する技術、設備を活かして、新しい材料系における試料作製技術開発、および電子物性解明をスムーズに行うことができた。またこの連携の中で、新材料を活用したナノデバイス、量子技術についても議論を深めることができた。

【調査研究内容（実験等中心に背景・課題と実行された課題解決の内容と結果）】

酸化亜鉛は近年その高品質化が進み、高移動度2次元電子系の形成およびそこでの量子伝導現象が観測されるようになってきた。その品質はこれまでの量子デバイスでよく用いられてきた最高品質のガリウム砒素に匹敵するまでになっており、量子デバイス等に向けて、従来材料を凌駕する魅力的な材料候補である。しかしながら現状では量子電子物性、特に酸化亜鉛ナノ構造における量子電子物性はほとんど未開拓である。そこで本調査研究では酸化亜鉛ナノ構造における量子電子物性についての研究を推進し、将来の量子デバイス等へ向けた知見を獲得するためのフィージビリティスタディ、予備研究を実施した。

本年度はまず、高品質な酸化亜鉛材料を用いたナノ構造デバイスの作製技術開発（予備作製）を行った。酸化亜鉛ヘテロ基板に対してフォト、電子線リソグラフィー等の手法を用いることによりオーミックコンタクト、絶縁膜、微小金属電極等の微細構造を形成する技術を開発した。特に物質・材料研究機構における高品質な絶縁膜の成膜や、東北大学における微小金属電極の作製等、それぞれの研究グループの得意とする手法を組み合わせ、ナノ構造デバイスを作製した。これにより、素子間分離やゲート電極リーク電流特性等の良好な高品質な酸化亜鉛ナノ構造デバイスを実現した。

また作製した酸化亜鉛ナノ構造デバイスを用いて、酸化亜鉛材料における量子電子物性解明（予備測定）や量子デバイスの検討を進めた。まず量子効果の観測に必須となる極低温環境においても、良好なオーミック特性を得られることを確認した。また微小金属電極を用いて電界制御型の量子ポイントコンタクト構造を形成し、その電気伝導特性を評価した。さらに微小金属電極を用いて0次元的に電子を閉じ込める量子ドット構造を形成し、酸化亜鉛ヘテロ材料において量子ドット特性を世界で初めて観測した。これらの結果をもとに、量子ビット等の応用を目指した多重量子ドットデバイス等の量子デバイスの検討を進めた。

【今後の活動予定】

本年度の活動により、高品質な酸化亜鉛材料を用いたナノ構造デバイスの作製技術の開発や、酸化亜鉛材料における量子ポイントコンタクトや量子ドット等のナノ構造についての量子電子物性に関する重要な知見を得ることができた。今後はこれらを活かし、引き続き酸化亜鉛ナノ構造における量子電子物性解明や量子デバイス応用の検討を進め、酸化亜鉛材料を活用した既存材料の限界を超える有用な量子デバイスの創出を狙っていく。また得られた成果をもとに、大型競争的資金への獲得等につなげていきたい。

【SDGs17 目標について、調査研究成果について、貢献ができると思われる項目があれば、最大3つまで☑をご記載下さい。】

研究成果に関連する SDGs 目標がある。

関連する SDGs 目標は無い

1 <input type="checkbox"/> 貧困をなくそう	2 <input type="checkbox"/> 飢餓をゼロに
3 <input type="checkbox"/> すべての人に健康と福祉	4 <input type="checkbox"/> 質の高い教育をみんなに
5 <input type="checkbox"/> ジェンダー平等を実現しよう	6 <input type="checkbox"/> 安全な水とトイレを世界中に
7 <input type="checkbox"/> エネルギーをみんなに、そしてクリーンに	8 <input type="checkbox"/> 働きがいも経済成長も
9 <input checked="" type="checkbox"/> 産業と技術革新の基盤を作ろう	10 <input type="checkbox"/> 人や国の不平等をなくそう
11 <input type="checkbox"/> 住み続けられるまちづくりを	12 <input type="checkbox"/> つくる責任、つかう責任
13 <input type="checkbox"/> 気候変動に具体的な対策を	14 <input type="checkbox"/> 海の豊かさを守ろう
15 <input type="checkbox"/> 陸の豊かさを守ろう	16 <input type="checkbox"/> 平和と公正をすべての人に
17 <input type="checkbox"/> パートナリシップで目標を達成しよう	

以上