

平成16年度COE特別研究奨励費研究計画調書

(ふりがな) 氏名	にしむら じゅん	所属	資格
	西村 潤	物理学 専攻	博士3年
研究課題	40文字以内で記入すること。 原子レベル制御した強相関酸化物ヘテロ接合界面における電子の量子輸送現象の研究		
研究指導者	職名	氏名	15年度奨励費採択の有無
	教授	村上 洋一	有

研究目的	募集要領の趣旨に沿った目的を簡条書きで具体的に記入すること。
<p>強相関電子物質はスピン電荷軌道と多様な自由度を持った電子が主役を担う興味深い物質である。天然に存在するこの物質の電子秩序状態を放射光や中性子によって調べることで多くの情報を得ることができた。最近では原子レベル制御した薄膜を人工的に設計することにより、電子物性をさらに深く理解することが重要となってきた。そこで、原子レベル制御した強相関酸化物ヘテロ界面を利用した電子デバイスを作成することで界面の電子を外部から電界によりコントロールし、その電子秩序状態を放射光で観察することを目的とする。以下に本研究の目的を簡条書きにする</p> <p>①相関電子酸化物としてホール濃度によって磁性、電気、光の物性が劇的に変化する Mn ペロブスカイトや高温超電導体にもなる Cu ペロブスカイトに格子整合性の良い絶縁層を堆積し電界をかけることにより、人工的にホール濃度を変化させることを試みる。電荷スピン軌道の秩序状態を電界により制御できれば天然で起こる現象を直接的に証明することができる。また、秩序状態の変化を放射光 X 線散乱による逆空間の変化としてリアルタイムで観察することができれば電子物性研究にとって非常に興味深い。</p> <p>②強相関電子酸化物の基本物質であるペロブスカイト酸化物 SrTiO₃ は元来、量子常誘電体であるが電子ドーピングにより n 型半導体、少数キャリア超伝導と多様な物性を持った物質である。この SrTiO₃ を半導体として扱い GaAs/AlAs のような二次元電子ガスをヘテロ界面により創製することで通常の強相関電子系では考えられなかったような、量子輸送現象を観察することを目的とする。</p>	

研究計画

研究経費との関連も含めて、何をどこまで明らかにしようとするかがわかるように焦点を絞り、箇条書きで記入すること。
また、設備備品費又は旅費が90%を超える場合は、研究計画の特殊性ないし特殊事情について記入すること。

レーザーMBE法により、世界でもトップレベルの薄膜作製技術を駆使して、原子レベルで制御した強相関酸化物電子デバイスを創製する。薄膜作成方法はパルスレーザー堆積法を用い、基板として強相関酸化物薄膜と相性の良いSrTiO₃(001)を用いる(薄膜作製時にパワーメータが必要)。二つの研究目的に対してそれぞれ研究計画を箇条書きで示す。

①強相関電子系物質であるMnやCu系ペロブスカイトを用いた電界効果の実験を行う前の段階として、少数のキャリア変調で物性が大きく変化するSrTiO₃をチャンネル層としたトップゲート型オールエピタキシャル電界効果デバイスの作製を行う。効率の良い電界効果デバイスを作製する上で重要なパーツは絶縁層、チャンネル層、電極層の三つである。それぞれのパーツに適切な材料を後述する。

○絶縁体材料の候補として、バンドギャップ3.2eVのSrTiO₃に対して格子整合性の良いバンドギャップ5.5eVのペロブスカイト構造LaAlO₃を用いる。LaAlO₃/SrTiO₃薄膜の研究報告例はいくつかあり、膜厚70nm位までは基板に対してコヒーレントな成長を行うが、それより厚い薄膜では剥離を起こすという問題がある。多層膜や混晶の絶縁体を用いることでこの問題を解決していく(ターゲット作製に酸化物粉末、るつぼ、管状炉用の管などが必要)。

○チャンネル層のキャリア制御に関しては絶縁層とチャンネル層の界面エンジニアリングが重要である。陽イオンの形式電荷の異なる2つのペロブスカイト酸化物の界面では、しばしば数原子層にわたる電荷移動が起こる。そこで2つのバンド絶縁体(SrTiO₃:Eg=3.2eVとLaAlO₃:Eg=5.5eV)からなる急峻な界面において、原子配列を一原子層以内で作り分け、界面電荷移動の制御を試みる。A・Bサイトの違いに注目すると、SrTiO₃/LaAlO₃の界面原子配列は、TiO₂/(LaO)⁺とSrO/(AlO₂)⁻の2種類が考えられる。前者はTiO₂面で終端されたSrTiO₃(100)を基板としてその上にLaAlO₃薄膜をレーザーMBE法により作製することで得られる。一方、後者は反射高速電子線回折装置(RHEED)を用いて界面にSrO一層を原子レベルで堆積することで得られる。キャリア濃度をSrO被覆率でコントロールした界面をチャンネルとして用いる。

○電極材料の選択に関しては、電子の散乱を抑えることやゲート電極とのリークを抑えるためにエピタキシーが必要である。また、埋め込み電極を用いてリードで発生する直列抵抗を最小限に抑える。しかし、ケミカルドーピングしたSrTiO₃の電極を用いると表面空乏層を生じてしまうことが知られていて界面にバリアを形成するため電極としては向かない。そこでカチオンサイトに欠陥が入る事によりキャリア補償が起こりやすいケミカルドーピングではなくてSrTiO₃とLaTiO₃の超格子を用いる。超格子はGaAsで用いられているような反射高速電子線回折の強度振動を利用して、原子層レベル制御した超格子を作製する。

これらの薄膜技術を用いて、SrTiO₃基板を用いた電界効果デバイスを作製する。放射光を用いて電界をかけた時に起こるTiサイトの電荷や軌道の変調を観察する。(物性測定を行うためにPPMSholder,SEMholderが必要)

②①で確立したデバイス技術を応用し、ヘテロ界面における二次元電子の研究を行う。

○GaAsに対して格子整合性が良く急峻なヘテロ界面を形成するAlAsのような材料をSrTiO₃に対して探索する。表面平坦なSrTiO₃基板の最適化、その上に堆積する格子整合性の良いペロブスカイト絶縁層またはキャリア供給層の探索がメインになる。このような最適化によりその界面の電子移動度を10⁴[cm/Vs]以上にすることでGaAsで起こっているような二次元電子ガスを観測する。

二次元電子ガスを形成したInsulator/SrTiO₃界面に①で完成させたデバイスを適応し、キャリアを制御することによってSrTiO₃のフェルミオロジーや有効質量を見積もることを試みる。また、希釈冷凍機を用いて極低温の状態にした状態でキャリアを制御することでランダウ量子準位を形成し、酸化物では考えられなかった量子ホール効果の観測を行う。また、SrTiO₃は少数キャリアで超伝導体になる物質として知られているのでキャリアを電界で制御し、超伝導状態のまま二次元に閉じ込めた時に起こる量子現象の研究が行えれば今までに見られなかった量子現象が期待される。