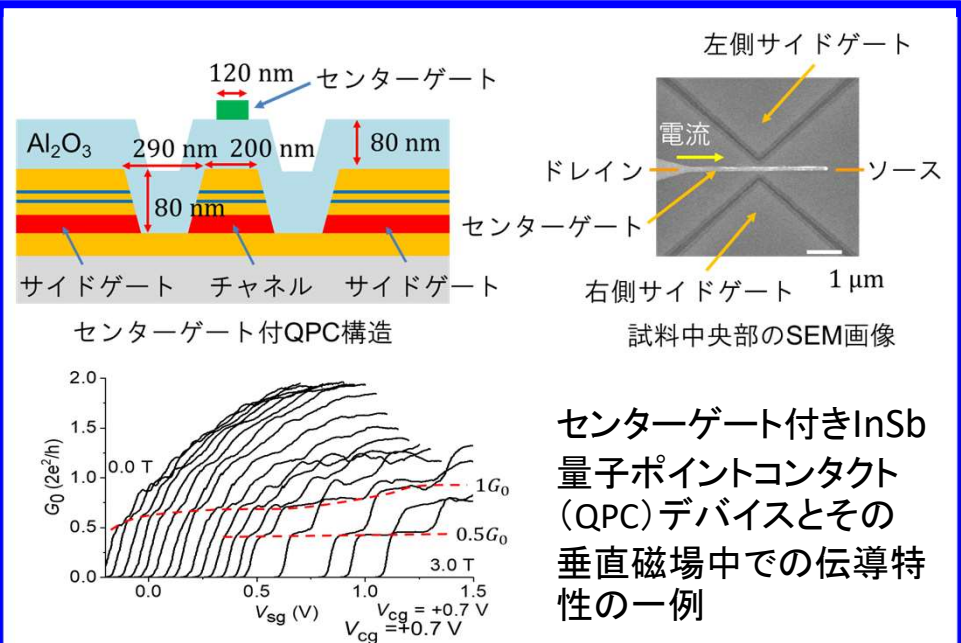


研究プロジェクト名: 半導体ナノ構造の量子輸送とスピンが関係した現象の研究

概要: スピンが関係した現象が期待される半導体や新規材料の量子ナノ構造の輸送現象を明確にすることを目的として、研究に適したナノデバイスを作製し、量子輸送の研究を行う。さらに、スピン物性の計測手法の一つとして、それぞれの材料や構造に適した抵抗検出NMRを開拓する。

コアメンバー: 平山(東北大CSIS)、橋本、柴田(東北大理)、新田、好田(東北大工)、柴田(東北工大)、羽田野(日大)、福田、寺澤(兵庫医科大)、鈴木(福岡工大)、Santos(米オクラホマ大)、Austing(カナダNRC)

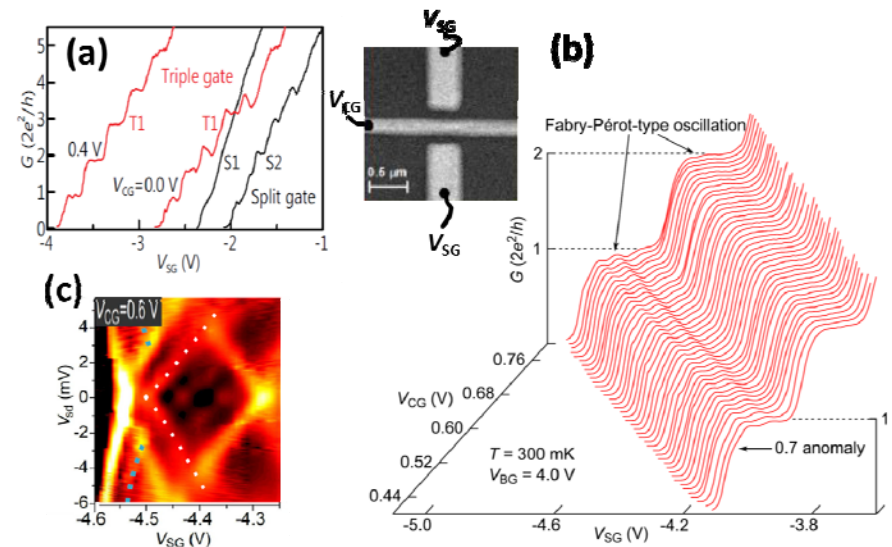
期待される研究成果: スピン軌道相互作用が大きく新しいフェルミオンの出現も期待されるInSbを含む新規材料のスピン伝導特性の理解が進む。また、従来のGaAs系の量子ポイントコンタクト(QPC)に関しても強磁場領域での新しい電子相関、スピン相関の研究が進展する。これらの系への抵抗検出NMR技術の導入も進め、ナノ量子構造のスピンが関連した輸送現象やその制御に関して新しい知見を得て、新規スピントロニクスデバイスの創製につなげることが期待される。



研究プロジェクト名: 半導体ナノ構造の量子輸送とスピンの関係した現象の研究

概要: 半導体を中心にした量子ナノ構造の輸送現象にスピンが及ぼす効果を明確にすることを目的として、スピンが関連した輸送特性の研究に適したナノデバイスを作製し、スピンが関係した量子輸送の研究を行う。さらに、ナノ構造におけるスピンの振る舞いを抵抗検出核磁気共鳴を用いて明らかにする。

研究成果(実施状況): 量子ナノ構造の基本である量子ポイントコンタクト(QPC)の研究をGaAs系、InSb系の両方で推進し、GaAs系ではセンターゲートを有するトリプルゲートQPCを用いることで、比較的低移動度でも量子化特性がきれいに見えること、さらに、ファブリー・ペロー共鳴も明瞭になることを確認した。InSb系ではトレンチ・ゲートタイプのQPCを試作した。



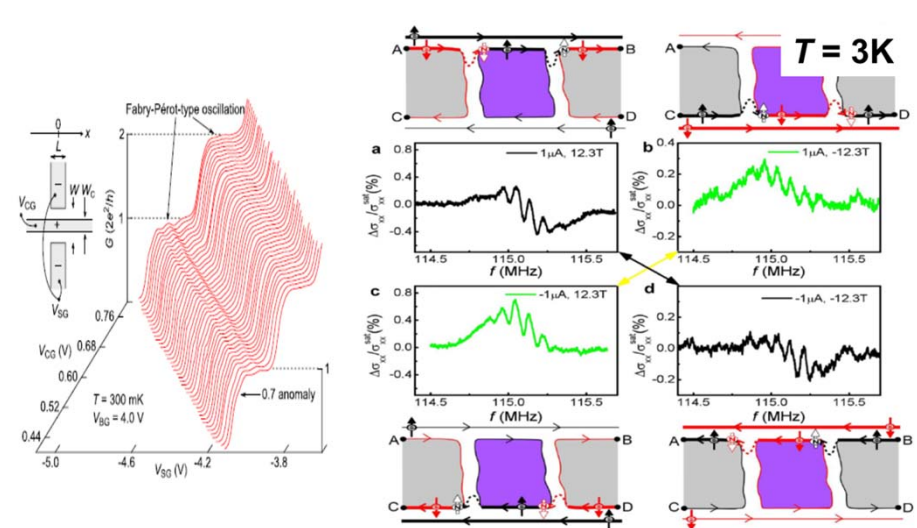
トリプルゲートQPCの(a)伝導特性、(b)ファブリー・ペロー共鳴の出現、(c)ソース・ドレイン間にバイアスを印加した時の特性。(Appl. Phys. Lett. 2016)

主要発表論文等: [1] S. Maeda *et al.*, "Fabry-Perot interference in a triple-gated quantum point contact", Applied Physics Letters, 109, 143509 (2016).

研究プロジェクト名: 半導体ナノ構造の量子輸送とスピンの関係した現象の研究

概要: 半導体を中心にした量子ナノ構造の輸送現象にスピンが及ぼす効果を明確にすることを目的として、スピンが関連した輸送特性の研究に適したナノデバイスを作製し、スピンが関係した量子輸送の研究を行う。さらに、ナノ構造におけるスピンの振る舞いを抵抗検出核磁気共鳴を用いて明らかにする。

研究成果(実施状況): 量子ナノ構造の基本である量子ポイントコンタクト(QPC)の研究をGaAs系、InSb系の両方で推進した。また、InSb二次元系の特徴を活かした、量子ホール状態に生じるドメイン構造を用いた核スピン偏極と抵抗検出NMRにおいて、バルクとエッジの役割を分離し、カイラルエッジが抵抗検出NMRに及ぼす役割をクリアにした。この成果はInSb量子ポイントコンタクトの抵抗検出NMRによる研究に応用できる可能性がある。



(左)トリプルゲートGaAs系量子ポイントコンタクト(QPC)の伝導特性の一例、(右) InSb二次元系の量子ホール強磁性で測定された抵抗検出NMR特性の相反性。カイラルエッジチャンネルの重要性を明瞭に示している。

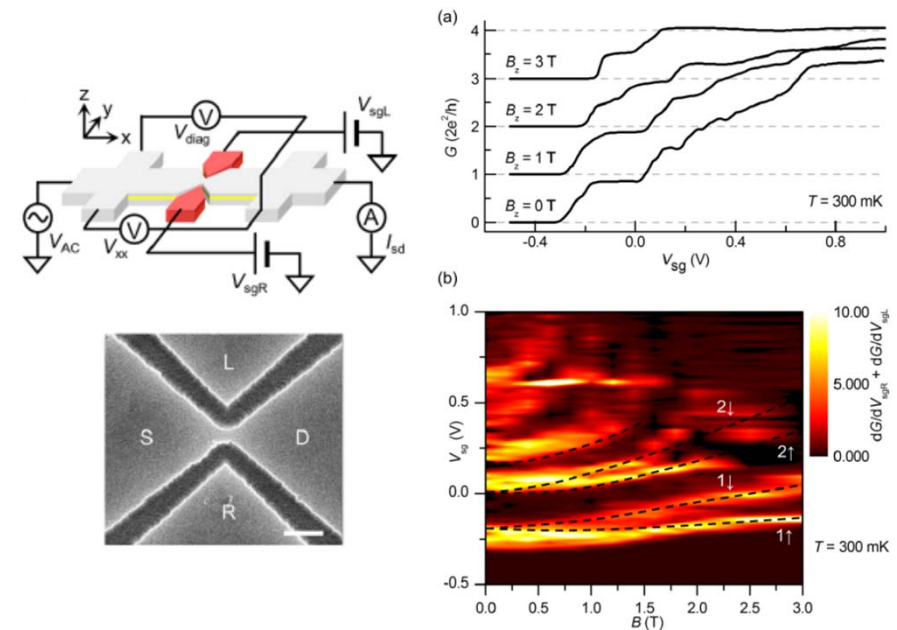
主要発表論文等: Kaifeng Yang, Katsumi Nagase, Yoshiro Hirayama, Tetsuya D. Mishima, Michael B. Santos, and Hongwu Liu, "Role of chiral quantum Hall edge states in nuclear spin polarization", Nature Communications 8:15084, pp.1-7, doi: 10.1038/ncomms15084 (2017).

研究プロジェクト名: 半導体ナノ構造の量子輸送とスピンが関係した現象の研究

概要: 半導体を中心にした量子ナノ構造の輸送現象にスピンが及ぼす効果を明確にすることを目的として、研究に適したナノデバイスを作製し、スピンが関係した量子輸送の研究を行う。さらに、様々な新規材料の量子構造に研究を拡張し、スピン物性の計測手法の一つとして、それぞれの材料や構造に適した抵抗検出NMRを開拓する。

研究成果(実施状況): スピン軌道相互作用が大きく新しいフェルミオンの出現が期待され、抵抗検出NMRも実現されているInSbに関して、トレンチゲート型量子ポイントコンタクトを実現し、まだ十分とは言えないが量子化コンダクタンスを確認した。また、未解明なパラレルチャネルの存在も明らかにした。さらに、大学間国際共同研究としてGaSb系二次元系の磁気伝導特性を測定するとともに、InGaAs系や原子層二次元系の輸送特性の測定にも着手した。

エ

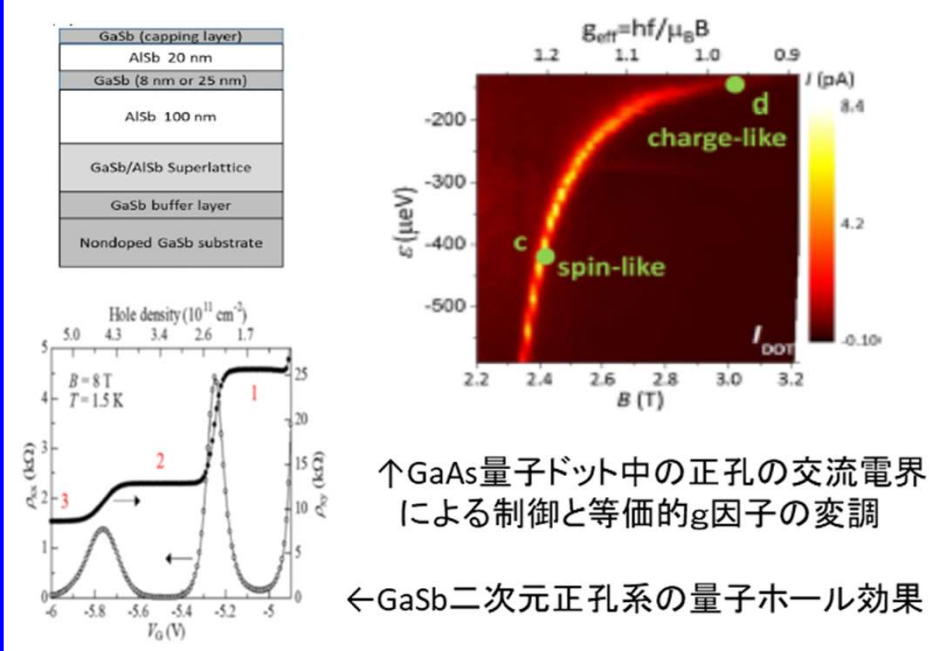


主要発表論文等: [1] T. Masuda, K. Sekine, K. Nagase, K. S. Wickramasinghe, T. D. Mishima, M. B. Santos, and Y. Hirayama, "Transport Characteristics of InSb Trench-Type In-Plane Gate Quantum Point Contact", Appl. Phys. Lett. 112, 192103 (2018).

研究プロジェクト名: 半導体ナノ構造の量子輸送とスピンが関係した現象の研究

概要: 半導体を中心にした量子ナノ構造の輸送現象にスピンが及ぼす効果を明確にすることを目的として、研究に適したナノデバイスを作製し、スピンが関係した量子輸送の研究を行う。さらに、様々な新規材料の量子構造に研究を拡張し、スピン物性の計測手法の一つとして、それぞれの材料や構造に適した抵抗検出NMRを開拓する。

研究成果(実施状況): 東北工大、スイスのグループとの共同研究でGaSb量子井戸中に蓄積された正孔の特性を明らかにした。また、様々な材料のエッジチャネルの可視化に使用可能な非平衡状態と走査ナノゲートを組み合わせた新しいイメージング手法を提案、実証した。さらに、カナダNRCのグループと共同でGaAs量子ドット中の正孔の交流電界でのスピン操作に関して新しい知見を得た。



主要発表論文等: [1] K. Shibata *et al.*, Appl. Phys. Lett. 114, 232102 (2019).
[2] S. Studenikin *et al.*, Communication Physics, 2, 159 (2019).

研究プロジェクト名: 半導体ナノ構造の量子輸送とスピンが関係した現象の研究

概要: スピンが関係した現象が期待される半導体や新規材料の量子ナノ構造の輸送現象を明確にすることを目的として、研究に適したナノデバイスを作製し、量子輸送の研究を行う。さらに、スピン物性の計測手法の一つとして、それぞれの材料や構造に適した抵抗検出NMRを開拓する。

研究成果(実施状況): 量子ポイントコンタクト(QPC)の大きなゼーマン分離を測定(兵庫医科大学と共同)するとともに、ランダムポテンシャルがQPCの輸送特性に与える影響を理論的に解明した(茨城大と共同)。特に、QPCの長さを長くしても、実効的なデバイス長はむしろ短くなる可能性があることがわかった。また、東北工大、スイスのグループと共同でGaSb量子井戸中に蓄積された正孔のランダウファンを測定し、二次元に閉じ込められた正孔の等価的質量などを評価した。

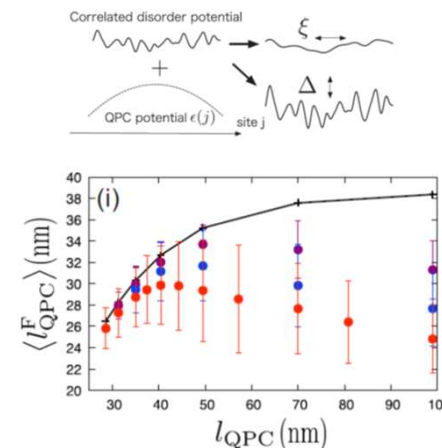


図1 ランダムポテンシャルを含むQPCの等価的QPC長の計算値。QPC長が長くなると等価的QPC長がむしろ減少する傾向が見られる。

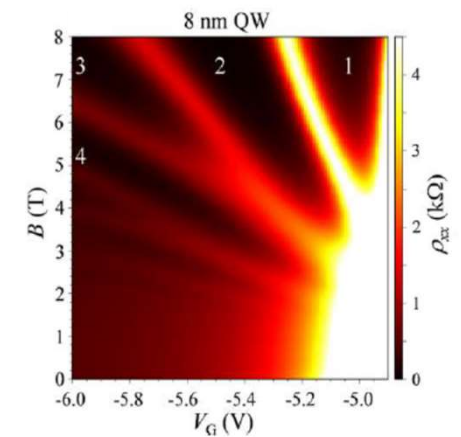


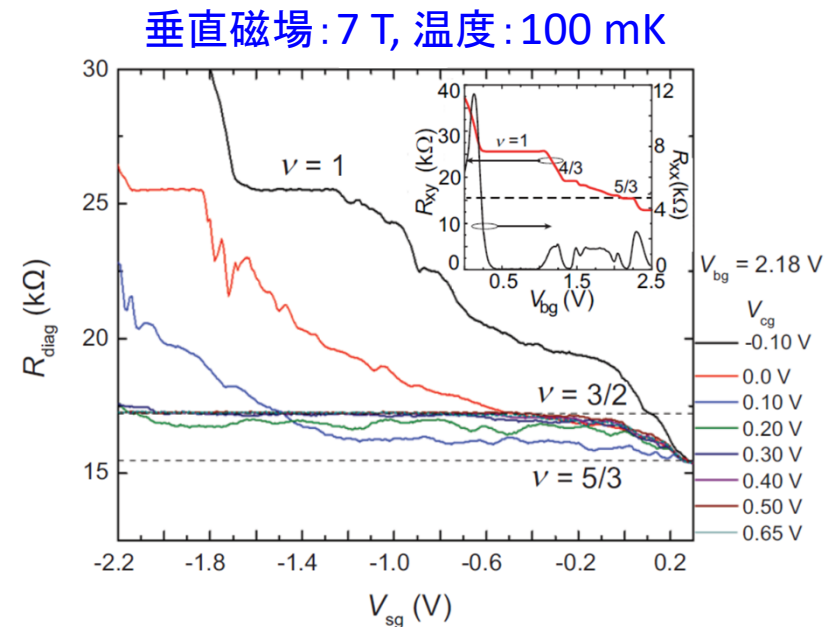
図2 AlSbに挟まれた8nmGaSbで測定された二次元正孔ガスのランダウファンダイアグラム。

主要発表論文等: [1] T. Aono *et al.*, Phys. Rev. B102, 045305 (2020).
[2] K. Shibata *et al.*, Phys. Rev. Research 2, 033383 (2020).

研究プロジェクト名: 半導体ナノ構造の量子輸送とスピンの関係した現象の研究

概要: スピンが関係した現象が期待される半導体や新規材料の量子ナノ構造の輸送現象を明確にすることを目的として、研究に適したナノデバイスを作製し、量子輸送の研究を行う。さらに、スピン物性の計測手法の一つとして、それぞれの材料や構造に適した抵抗検出NMRを開拓する。

研究成果(実施状況): 研究に使用する量子ポイントコンタクト(QPC)の輸送特性を調べる中で、(超高移動度ではなく)通常の高移動度の数百nmの量子構造で偶数分母量子状態が出現することを発見した。具体的には通常の高移動度AlGaAs/GaAs二次元系上に作製したセンターゲート付きQPCにおいて、周囲を5/3状態にして、QPCを狭窄した場合、センターゲートに正のバイアスを印加することで右図に示したように3/2量子状態の出現を示唆する抵抗状態に安定なプラトーが出現することを確認した。



主要発表論文等: Y. Hayafuchi *et al.*, "Even-denominator fractional quantum Hall state in conventional triple-gated quantum point contact", Applied Physics Express 15, 025002 (2022).