



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Formation dynamics of resident electron spin polarization and ensemble spin coherence in CdTe single quantum well [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	巖, 麗平
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11878号
Issue Date	2015-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/58581
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Yan_Liping_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 巖 麗平

審査担当者 主 査 教 授 足立 智
 副 査 教 授 森田 隆二
 副 査 教 授 戸田 泰則

学位論文題名

Formation dynamics of resident electron spin polarization and ensemble spin coherence in CdTe
single quantum well

(テルル化カドミウム単一量子井戸における残留電子スピン分極の形成ダイナミクスと集合スピン
コヒーレンス)

残留電子スピン分極とその集合スピンのコヒーレンスは、単一スピンとそのコヒーレンスと同様に、スピントロニクスデバイスや量子情報処理分野で注目を集めている。通常、半導体において光励起を用いると電子だけでなく正孔も必ず生成されてしまい、スピンのコヒーレンスが例え長くとも電子・正孔の再結合時間により制限されてしまう。一方、僅かに不純物ドーピングすることによりサンプル内に残留する電子 (残留電子) は、再結合消滅がないため、もし残留電子スピン分極を形成できれば長いスピンのコヒーレンスが期待できる。このためには残留電子スピン分極形成ダイナミクスを詳細に検討する必要がある。1つの方法として、光励起を併用し、負の荷電励起子 (負のトリオン) を形成する方法が挙げられる。光学遷移の選択則と束縛エネルギー差を利用して、正孔スピンの揃った負のトリオンのみを選択的に共鳴励起することが可能なため、残留電子群からは同じスピンのトリオン形成に使用され、残留スピン分極を形成することができる。実際、時間分解カー回転法により、トリオンの再結合時間よりも長い時間領域において、電子スピン分極の歳差運動が実験的に観測されている。しかしそのスピン歳差運動の初期位相は、磁場強度、トリオン再結合時間、およびトリオン内の正孔スピン緩和時間の関数として、複雑なシフトを見せる。逆に言えば、初期位相シフトは残留電子スピン分極形成ダイナミクスの解明に重要な手がかりを与える。本論文では、これまでに報告例のない負の初期位相シフトを観測しており、種々の外部パラメータに対する依存性を取得すると共に、構築したモデルに基づいた数値シミュレーションとの比較を行い、その発生メカニズムを考察している。また試料として用いている CdTe 量子井戸では、核スピンの $1/2$ または 0 で、核スピン $1/2$ の同位体の天然存在比が小さいことから、良く用いられる InAs や GaAs に比較して核スピン分極ゆらぎが小さく、より長いスピンのコヒーレンスが期待できる。このため実際にどの程度小さいか、時間分解カー回転法による検出を試みるとともに、必要な面内・面直の g 因子測定を高精度で行っている。

本論文は 6 章から構成されており、以下に各章の要旨を示す。

第 1 章「序論」では、スピントロニクス研究経緯を述べ、本研究で用いる CdTe および残留電子分極を用いる利点を記述している。また残留電子分極を形成ダイナミクスの特に注目する点について述べ、本論文の目的と意義を明らかにしている。

第 2 章「半導体でのスピンの基礎」では、半導体スピン物性に関する光学データを読み解く上で考慮すべきバンド構造、スピン選択励起、スピン分極の検出、スピン緩和等の基礎的事項について記

述している.

第3章「試料構造と実験方法」では, 本研究で用いた時間分解カー回転分光測定系および回転電磁石を紹介し, 使用した $\text{CdTe}/(\text{Cd}, \text{Mg})\text{Te}$ QW の試料構造や域発光スペクトル等について述べている.

第4章「残留電子スピン分極の初期位相シフト」では, 残留電子スピン分極の形成ダイナミクス of 概論を述べるとともに, 注目する初期位相シフトについて説明している. トリオン共鳴励起および励起子共鳴励起の場合について, 初期位相シフトが発生するダイナミクスモデルを構築し, ブロッホ方程式によるシミュレーションを行い, 実験結果と比較している. これまで報告例の無い負の初期位相シフトを観測しており, 新規な手法で本質的な現象であることを確認している. その他, 初期位相シフトの励起強度依存性, 磁場強度依存性を観測し, 構築したモデルによる計算結果との比較を行い, 正孔スピン緩和時間等を評価している.

第5章「動的核スピン分極」では, CdTe では小さいと期待できる核スピン分極について, 時間分解カー回転分光法による測定を行い, 斜め磁場配置において, 磁場の試料に対する印加角度を変化させることにより, 磁場と平行な残留電子スピン分極成分が核スピン分極を誘起することを確認している. 観測された核スピン分極は磁場に換算して 7 mT 程度と小さいが, 核スピン分極率としては 12% と大きいことを示している. また精密な核スピン分極には, QW の面内および面直の g 因子を正しく評価することが必要であり, 核スピン分極を形成しない状況でそれらの g 因子を評価している.

第6章「結論」では, 本論文の総括を行うとともに今後の展望について述べており, 荷電励起子を用いた残留電子スピン分極形成ダイナミクスとスピニコヒーレンス制御に新たな知見を与える研究であると位置付けしている.

これを要するに, 本研究は半導体量子構造における残留電子スピン分極形成ダイナミクスを時間分解カー回転分光を駆使して明らかにした研究であり, 量子情報処理および固体光物性の発展に寄与するところ大なるものがある. よって著者は, 北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める.