



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_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 巖 麗 平

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コヒーレンスは、単一スピンおよび単一スピ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への応用で注目を集めている。通常、半導体では光励起を用いると電子・正孔対が生成されてしまうため、電子スピコヒーレンスがたとえ長くとも電子・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、もし残留スピン分極を形成できれば本来の長い電子スピコヒーレンスを利用できる。このためには残留スピン分極形成ダイナミクスについて、その形成手法も含めて詳細な知見を得ることが必要である。形成手法の1つとしては、光励起を併用し、負の荷電励起子（負のトリオン）を利用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を選択的に共鳴励起することが可能なため、残留電子からは光励起した電子スピンとは逆向きの電子スピが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を用いて、トリオンの再結合時間よりも長い時間領域において残留スピン分極の歳差運動を観測することができる。しかしトリオンの再結合により、電子スピンは残留電子群に戻るが、この過程は残留電子スピン分極の振幅と位相を大きく変調すると考えられる。実際、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。本研究では、このスピン歳差運動の初期位相に着目し、残留電子スピン分極形成ダイナミクスを解明しようとするものである。実験では、これまでに報告例のない負の初期位相シフトを観測し、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た。また CdTe を材料として用いる利点として、核スピがともに $1/2$ で、かつ核スピが 0 でない同位体の天然存在比が小さいことが挙げられる。電子スピコヒーレンスを最終的に制限するのは、核スピ分極ゆらぎであることが精力的に研究されている GaAs, InAs では分かっており、核スピ分極ゆらぎが小さい CdTe では本来の長いスピコヒーレンスの十分な利用が期待できる。このため、実際に核スピ分極を検出し、分極率がどの程度かを光学的に評価した。またその評価に必要な面内・面直の g 因子を核磁場の影響の無い状態で高精度に評価した。

本論文は6章から構成される。以下に各章の概要を述べる。

第1章「序論」では、スピントロニクス研究の経緯を述べ、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する。また残留電子分極の形成ダイナミクスのについて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する。

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、荷電励起子、スピン分極の検出、スピン緩和等の基礎的事項について解説し考察する。

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 CdTe/(Cd, Mg)Te 量子井戸 (QW) の試料構造や発光スペクトル等について述べる。

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の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する。初期位相シフトは残留電子スピン分極の形成ダイナミクスに関する深い知見を与える。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うと共に、実験結果との比較を行う。実験では、これまで報告例の無い負の初期位相シフトを観測したので、コントロールパルスを用いた新規な手法で実験上の間違いではなく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を評価している。また励起エネルギー依存性を測定し、残留電子スピン分極の形成ダイナミクスにおいて、励起子からトリオンへの変換が初期位相シフトに与える影響を評価している。

第5章「動的核スピン分極」では、CdTe では小さいと考えられ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う。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するとともに、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% と大きいことが判明した。また精密な核磁場検出には、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 因子を高精度に評価している。

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る。