

自己評価報告書

平成 23 年 5 月 25 日現在

機関番号：82108

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008 ～ 2011

課題番号：20540323

研究課題名(和文) 半導体中の偏極核スピンに関する研究

研究課題名(英文) Studies of hyperpolarized nuclear spins in semiconductors

研究代表者

後藤 敦 (GOTO ATSUSHI)

独立行政法人物質・材料研究機構・ナノ計測センター・主幹研究員

研究者番号：30354369

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性 I

キーワード：半導体物性、スピントロニクス、光物性、核磁気共鳴、光ポンピング、動的核偏極、交差分極

1. 研究計画の概要

固体内の原子核スピンは通常の条件下では無偏極状態にあるが、動的核偏極技術を用いると「超偏極」と呼ばれる非平衡偏極状態を人工的に作り出すことができる。この超偏極は次世代 IT における主要技術である半導体スピントロニクスや固体量子計算機、あるいは次世代先端分析技術である磁気共鳴型走査プローブ顕微鏡や偏極中性子散乱法などに技術革新をもたらすと期待されている。

我々は、これまで半導体用の動的核偏極技術を独自開発してきた。本研究の目的は、この技術により実現した「半導体内の超偏極核スピン系」を舞台に出現する物理現象について、その本質を偏光と多重磁気共鳴技術を用いて明らかにすることである。

2. 研究の進捗状況

(1) システムの構築と手法の開発：

光ポンピングと多重磁気共鳴を同時に、あるいは連続して行うことができる新規システム、「光ポンピング 2 重共鳴システム」を新たに開発した。このシステムでは試料の冷却方法として伝導冷却法を採用した。その結果、高周波タンク回路を真空中におくことが可能となり、高周波放電を完全に抑制することに成功した。これにより、安定した強い高周波パルス照射することが可能となった。また、試料を冷却系に直接接続することで、光により発生する熱を速やかに除去することに成功した。これにより、高強度の光を照

射することが可能となった。

(2) 化合物半導体の超偏極状態における多重共鳴測定：

前項で開発したシステムにより光照射下での偏極過程について研究を行い、以下の成果を得た。

① 光照射下における核スピンの偏極速度の核種依存性を測定し、その結果から、光励起された電子スピンの最初の核スピンを偏極する機構、特にその媒介となる超微細相互作用の特徴を調査した。その結果、いずれも半絶縁性を示す 2 種類の化合物半導体：“Fe-doped InP”と“non-doped GaAs”の間で偏極機構が異なることを見出した。前者では主に局在電子と近隣核スピンとの間のテンソル(双極子)型相互作用、後者では主に浅いドナー準位にトラップされた電子とその波動関数の中に含まれる核スピンとの間のスカラー(フェルミ接触)型相互作用が、偏極機構であることが判明した。

② GaAs を対象に、光照射下で起こる異種核スピン間の偏極転写過程と、その原因となる核スピン-スピン相互作用について研究し、その機構に関する手がかりを得た。詳細については、現在解析中である。

3. 現在までの達成度

② おおむね順調に進展している。

(理由) 必要な装置の開発が進み、目的の測定ができるまでになった。残りの一年間で、当初予定していた測定を完了できる見込みである。

4. 今後の研究の推進方策

現在進行中のGaAsにおける光照射下の異種核間の偏極転写過程について、照射光の波長・偏光性・強度、高周波パルスの条件などを変化させた条件下で測定を行い、その機構を解明する予定である。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件)

- (1) Kenjiro Hashi, Tadashi Shimizu, Teruaki Fujito, Atsushi Goto, Shinobu Ohki, Toshihisa Asano, Shigeki Nimori, Giyu Kido and Jun Kida, "Development of a flux stabilizer for solid-state nuclear magnetic resonance with a hybrid magnet", Chemistry Letters **39**, 1307-1308 (2010), 査読有
- (2) Atsushi Goto, Seiichi Kato, Ivan Turkevych, Shinobu Ohki, Tadashi Shimizu, Kenjiro Hashi, Kanji Takehana, Tadashi Takamasu and Hidefumi Kitazawa, "Temperature dependence of the optical nuclear orientation in InP", Journal of Physics: Conference Series **150**, 022018 (2009), 査読有
- (3) Atsushi Goto, Tadashi Shimizu, Kenjiro Hashi and Shinobu Ohki, "Surface-sensitive NMR in optically pumped semiconductors", Applied Physics A: Materials Science & Processing, **93**, 533-536 (2008), 査読有

[学会発表] (計12件)

- (1) Atsushi Goto, Chieko Takizawa, Seiichi Kato, Shinobu Ohki, Kenjiro Hashi, Tadashi Shimizu, Naoki Ikeda and Yoshimasa Sugimoto, "Controlling hyperpolarized nuclear spins in optically pumped semiconductors", The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem), Dec. 15~20, 2010, Honolulu, Hawaii, U.S.A. (Invited).
- (2) 加藤誠一、後藤 敦、瀧澤智恵子、池田直樹、杉本善正「ポーラスアルミナ

をマスクに用いた InP のドライエッチング」2009 年秋季第 70 回応用物理学会、2009 年 9 月 8 日~11 日、富山大学 (富山市)

- (3) 後藤 敦、清水 禎、端健二郎、大木 忍、瀧澤智恵子、加藤誠一、北澤英明「半導体における動的核偏極技術の開発」日本物理学会第 64 回年次大会、2009 年 3 月 27 日~30 日、立教大学 (東京都)
- (4) 後藤 敦、清水 禎、端健二郎、大木 忍、瀧澤智恵子「半導体における動的核偏極技術の開発」第 47 回 NMR 討論会、2008 年 11 月 12 日~14 日、筑波大学 (茨城県つくば市)
- (5) Atsushi Goto, Seiichi Kato, Ivan Turkevych, Shinobu Ohki, Tadashi Shimizu, Kenjiro Hashi, Kanji Takehana, Tadashi Takamasu and Hidefumi Kitazawa, "Temperature dependence of the optical nuclear orientation in InP", 25th International Conference on Low Temperature Physics, August 6~13, 2008, Amsterdam (Netherlands)
- (6) 後藤 敦、清水 禎、端健二郎、大木 忍、瀧澤智恵子「InPにおける核スピンの偏極と偏極移動」第43/8回固体NMR・材料フォーラム、2008年5月12日、東京大学 (東京都)

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称: 陽極酸化用治具とナノ加工法

発明者: 加藤誠一、後藤 敦、瀧澤智恵子

権利者: 独立行政法人物質・材料研究機構

種類: 特許権

番号: 特願 2009-167739,

出願年月日: 2009 年 7 月 16 日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ

http://samurai.nims.go.jp/GOTO_Atsumi-j.html