

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2011年6月23日(23.06.2011)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2011/074558 A1

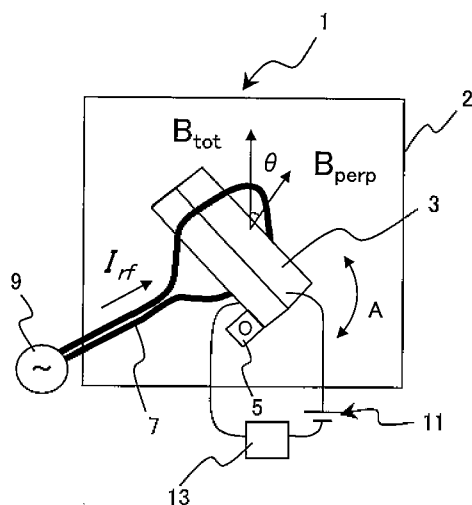
- (51) 国際特許分類:
G01R 33/30 (2006.01) G01N 24/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/072438
- (22) 国際出願日: 2010年12月14日(14.12.2010)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2009-287150 2009年12月18日(18.12.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 独立行政法人科学技術振興機構(JAPAN SCIENCE AND TECHNOLOGY AGENCY) [JP/JP]; 〒3320012 埼玉県川口市本町四丁目1番8号 Saitama (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 劉 洪武 (LIU, Hongwu) [CN/JP]; 〒9800812 宮城県仙台市青葉区片平1-3-34 シルヴァン片平603 Miyagi (JP). ▲楊▼ ▲凱▼▲鋒▼(YANG, Kaifeng) [CN/JP]; 〒9800814 宮城県仙台市青葉区霊屋下19番11-306 Miyagi (JP). 平山祥郎(HIRAYAMA, Yoshiro) [JP/JP]; 〒9800861 宮城県仙台市青葉区川内元支倉 川内住宅4-406 Miyagi (JP).
- (74) 代理人: 池田 憲保, 外(IKEDA, Noriyasu et al.); 〒1000011 東京都千代田区内幸町1丁目2番2号 日比谷ダイビル Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: NUCLEAR-SPIN POLARIZATION DETECTION DEVICE AND NUCLEAR-SPIN POLARIZATION DETECTION METHOD

(54) 発明の名称: 核スピン偏極検出装置および核スピン偏極検出方法

[図1A]



(57) Abstract: Disclosed is a total electrical nuclear-spin polarization device which is applicable to many narrow-gap semiconductor two-dimensional quantum structures such as InSb, the g-factor of which is large, and the mobility of which has a normal value. Specifically, disclosed is a nuclear-spin polarization device (1) which creates a state in which the Landau level separation and Zeeman level separation of a sample are equal in a magnetic field, crosses different spin states, and detects nuclear-spin polarization from resistance variations due to the nuclear-spin polarization at the cross-points.

(57) 要約: 本発明の課題は、g因子が大きく、移動度も普通の値を有する、InSbなどの多くの狭ギャップ半導体二次元量子構造に適用可能な全電氣的な核スピン偏極装置を提供することにある。本発明の核スピン偏極装置1は、磁場中で試料のランダウ準位分離とゼーマン準位分離が等しい状況を作り、異なるスピン状態を交差させ、交差点の核スピン偏極による抵抗変化から核スピン偏極を検出する。

WO 2011/074558 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：核スピン偏極検出装置および核スピン偏極検出方法 技術分野

[0001] 本発明は核スピン偏極検出装置および核スピン偏極検出方法に関する。

背景技術

[0002] 静止している微視的粒子の内部自由度の1つにスピン角運動量がある。多くの原子の原子核もこのスピン角運動量を有する。原子核のスピン角運動量は、50 mK未満の極低温にならない限り、熱平衡下では、通常あらゆる方向に等確率で向いている無偏極の状態にある。

[0003] 多くの原子核は、一定の大きさの核スピンを持つので、核スピンの偏極ができれば、ダイナミクスについてより詳細な情報を得ることができる。

[0004] このため、例えば、核物理等の分野で核スピンの偏極度（核スピンの揃い方の度合い）を上げることが望まれる。

[0005] また、非破壊かつ高精度な分析手法として幅広い分野で活用されている核磁気共鳴（NMR）は他の分析方法に較べて感度が低いため、その高感度化が望まれている。

[0006] このNMRの信号強度は、核スピンの偏極度に依存しているので、核スピンの偏極度を上げることが望まれる。

[0007] さらには、核スピンの応用としてスピンFET（Field Effect Transistor）や量子コンピュータが提案されており、核スピンを制御することが重要となってきた。

[0008] 核スピンの制御方法としては、いわゆる量子ホール効果を利用したものがある。

例えば非特許文献1には、GaAs系二次元量子井戸の二次元面に垂直に磁場を加え、その際に生じる分数量子ホール効果の特性や整数量子ホール効果の特性から核スピン偏極を検出する方法が開示されている（非特許文献1）。

[0009] また、他の核スピンの制御方法としては、円偏光を用いたものがある。

例えば、非特許文献2および非特許文献3には、GaAs二次元系の核スピン制御に円偏光を用いた技術が開示されている（非特許文献2、非特許文献3）。

先行技術文献

非特許文献

[0010] 非特許文献1：Y. Hirayama, G. Yusa, K. Hashimoto, N. Kumada, T. Ota, and K. Muraki, “Electron-spin / nuclear-spin interactions and NMR in semiconductors”, *Semicond. Sci. Technol.* 24, 023001 (2009) [Topical Review].

非特許文献2：D. D. Awschalom, D. Loss, and N. Samarth, *Semiconductor Spintronics and Quantum Computation*, chapter 5 (Berlin: Springer, 2002).

非特許文献3：H. Sanada, Y. Kondo, S. Matsuzaka, K. Morita, C. Y. Hu, Y. Ohno, and H. Ohno, “Optical Pump-Probe Measurements of Local Nuclear Spin Coherence in Semiconductor Quantum Wells”, *Phys. Rev. Lett.* 96, 067602 (2006).

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0011] 非特許文献1記載の技術は、整数量子ホール効果のブレイクダウンを用いて核スピン偏極を検出する方法と、充填率 $2/3$ など分数量子ホール効果領域での量子ホール強磁性によるドメイン構造を用いて、核スピン偏極を検出する方法に大別される。

[0012] しかしながら、整数量子ホール効果のブレイクダウンを用いた核スピン偏極検出方法は、実効的な g 因子の小さいGaAs系の二次元量子構造には有効であるが、 g 因子の大きなInSbなどの二次元量子構造には適用できないという問題があった。

- [0013] 一方、分数量子ホール効果領域を利用した核スピン偏極検出方法も、分数量子ホール効果が高移動度のGaAs系二次元系でしか観測されないため、InSbなどの通常の移動度を示す二次元量子構造には応用できないという問題があった。
- [0014] また、非特許文献2、非特許文献3記載の技術も、光を用いないと核スピンを偏極検出できないという問題があった。さらに、InSbはGaAs等と比較してバンドギャップが狭く、円偏光を用いた制御には波長数 μm という遠赤外光が必要であるため、光源、偏光素子などすべてが通常の波長帯に比して適用が困難である。さらに、円偏光を用いた核スピン制御は、InSb、InAs、InGaAsと材料によって異なる光源が必要になるため、装置が複雑化し、コスト面でも不利である。そのため、円偏光を用いた核スピン制御を、InSbなどの二次元量子構造に適用できたという報告はない。
- [0015] 本発明は上記課題に鑑みてなされたものであり、本発明の目的は、 g 因子が大きく、移動度も普通の値を有する、InSbなどの多くの狭ギャップ半導体二次元量子構造に適用可能な全電氣的な核スピン偏極装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

- [0016] 本発明の第1の態様によれば、二次元量子構造を磁場中で傾斜させてランダウ準位分離とゼーマン準位分離を交差させる交差部と、前記二次元量子構造の核スピンを偏極させる偏極部と、を有し、前記交差部がランダウ準位分離とゼーマン準位分離を交差させた部分の核スピンの偏極を検出することを特徴とする核スピン偏極検出装置が得られる。
- [0017] 本発明の第2の態様によれば、第1の態様に記載の核スピン偏極検出装置を有することを特徴とする核磁気共鳴装置が得られる。
- [0018] 本発明の第3の態様によれば、第2の態様に記載の核磁気共鳴装置を有することを特徴とする量子コンピュータが得られる。
- [0019] 本発明の第4の態様によれば、二次元量子構造を磁場中で傾斜させてラン

ダウ準位分離とゼーマン準位分離を交差させる（a）と、前記二次元量子構造の核スピンを偏極させる（c）と、前記（a）が交差させた部分の核スピンの偏極を検出する（d）と、を有することを特徴とする核スピンの偏極検出方法が得られる。

発明の効果

[0020] 本発明によれば、移動度が普通の値で g 因子が大きい二次元量子構造に適用可能な核スピンの偏極装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0021] [図1A]核スピンの偏極装置 1 を示す概略図である。

[図1B]核スピンの偏極装置 1 の測定対象としての二次元量子構造を示す図である。

[図2]核スピンの偏極装置 1 の動作を示すフローチャートである。

[図3]図 2 の S 1 0 2 を説明するための模式図である。

[図4]図 2 の S 1 0 3 を説明するための図である。

[図5A]ランダウ準位分離とゼーマン準位分離の交差部分の抵抗変化の測定例を示す図である。

[図5B]ランダウ準位分離とゼーマン準位分離の交差部分の抵抗変化の測定例を示す図である。

[図5C]ランダウ準位分離とゼーマン準位分離の交差部分の抵抗変化の測定例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0022] 以下、図面にに基づき、本発明の実施形態を詳細に説明する。

[0023] まず、図 1 A および図 1 B を参照して、本実施形態に係る核スピンの偏極装置 1 の構造について簡単に説明する。

[0024] 図 1 A に示すように、核スピンの偏極装置 1 はチャンバ 2 を有し、チャンバ 2 内には g 因子が大きい二次元量子構造を有する試料 3 を磁場中で保持・傾斜させる公知のアクチュエータ等の傾斜装置 5 が交差部として設けられている。さらに、試料 3 の外側を覆うようにコイル 7 が巻き回されており、コイ

ル7には電源9が接続されている。即ち、コイル7に電源9を用いて交流電流 I_{rf} を流すことで、試料3に交流磁場を印加することができる。

[0025] また、核スピン偏極装置1は試料3に電流を流すための電源11（偏極部）および電流を流した際の抵抗変化を測定するための抵抗測定器13を有している。

[0026] なお、本発明の核スピン偏極装置1はInSb、InAs、InGaAs等のg因子が大きい二次元量子構造の核スピンを偏極する装置であり、二次元量子構造は、例えば図1Bに示すようにAlInSbバリアに挟まれたInSb量子井戸を有する構造である。

[0027] 次に、核スピン偏極装置1を用いた核スピンの偏極および検出方法について図2を参照して説明する。

[0028] まず、図2に示すように、InSb、InAs、InGaAs等の二次元量子構造を有する試料3を核スピン偏極装置1内に配置し、磁場を加える。具体的には、チャンバ2の外側にある図示しない超伝導マグネット等を用いて、直流磁場を図1Aの上下方向に加える。即ち、試料3を磁場中に配置する（S101）。

磁場強度は例えば8T程度である。

[0029] (a) 次に、図2に示すように、試料3を傾斜装置5を用いて磁場中で傾斜させ、ランダウ準位分離とゼーマン準位分離が等しい状況を作り、異なるスピン状態を交差させる（S102）。

[0030] ここで、図3を参照してS102をより詳細に説明する。

[0031] 図3に示すように、ランダウ準位分離は垂直磁場の値のみで決まるのに対し、ゼーマン準位分離は垂直磁場だけでなく、平行磁場も含めた全磁場で決まる。

[0032] そのため、InSb二次元系量子井戸のように、相対的に電子のg因子が大きい構造、例えばInSb（g因子が30以上）のように、GaAs（g因子は0.5程度）よりもg因子が大きい物質を用いた量子構造では、試料3を傾斜させることにより、異なるランダウ準位の異なるスピン状態を交差

させることができる。

[0033] (b) 次に、図 2 に示すように、交差状態の電気的特性を調べ、交差時に異なるスピン状態のドメインが形成されている交差状態を選ぶ (S 1 0 3)。

[0034] 具体的には図 4 に示すように、傾斜角毎の垂直磁場と縦抵抗の関係 (量子ホール効果) を測定し、新たなピークが現れている部分をコンピュータ等の公知の検出装置 (選択部) で検出する。

[0035] 即ち、図 4 では傾斜角度 $58^{\circ} \sim 59^{\circ}$ 付近で 0 番目 (基底状態) のランダウ順位の下向きスピンと一番目のランダウ順位の上向きスピンの交差が生じており、 $\nu = 2$ の領域に現れる新たなピークが、交差点で二つの異なるスピン状態のドメインが形成されていることを示している。

[0036] なお、図 4 における傾斜角は、試料 3 中の二次元電子面が磁場印加方向に垂直な状態での試料 3 の状態を角度 0 度とした場合の傾斜角を意味する (傾斜角度 90° で磁場が二次元面に完全に平行になる)。

[0037] (c) 次に、図 2 に示すように、試料 3 に電源 1 1 を用いて電流を流すことにより核スピンを偏極する (S 1 0 4)。

[0038] 具体的には、通常の量子ホール効果測定に用いる電流の 10 ~ 100 倍の電流を流す。

[0039] (d) 次に、図 2 に示すように、試料 3 の核スピン偏極を読み出す (S 1 0 5)。

[0040] 具体的には、交差点の抵抗値は核スピンの偏極によりわずかに変化するため、この抵抗値の変化を抵抗測定器 1 3 で検出することにより、核スピン偏極を読み出す (検出する)。

[0041] 以上が核スピンの偏極および検出方法である。

[0042] このように、本実施形態によれば、核スピン偏極装置 1 は磁場中で試料 3 のランダウ準位分離とゼーマン準位分離が等しい状況を作り、異なるスピン状態を交差させ、交差点の核スピン偏極による抵抗変化から核スピン偏極を検出している。

[0043] そのため、核スピン偏極装置 1 は二次元量子構造の核スピン偏極を検出可能である。

実施例

[0044] 以下、実施例に基づき、本発明をさらに詳細に説明する。

[0045] 図 1 A に示す核スピン偏極装置 1 を用いて InSb の核スピン偏極の検出を試みた。

具体的な手順は以下の通りである。

[0046] [試料の作製]

まず、核スピン偏極の検出対象として、図 1 B に示すような構造を有する InSb 二次元量子構造を用意した。

[0047] 次に、図 1 B に示した InSb 二次元量子構造にフォトリソグラフィプロセスを用いて幅 $40\ \mu\text{m}$ 、電圧測定端子間の長さ $170\ \mu\text{m}$ のホールバー構造を作製し、これを試料 3 とした。

[0048] [核スピン偏極]

次に、作製した試料 3 を核スピン偏極装置 1 内に載置し、磁場を加えた。本実施例では、磁場を $0\sim 15\ \text{T}$ まで変化させながらチャンバ 2 の外側にある図示しない超伝導マグネット等を用いて直流磁場を図 1 A の上下方向に印加し、傾斜装置 5 を用いて試料 3 を回転させて、傾斜角度を変えては磁場を変化させて、磁気抵抗効果を測定した。

[0049] 次に、上記の実験結果を参考にして、ランダウ準位分離とゼーマン準位分離が等しい状況が傾斜角度 $57.3^\circ\sim 60.8^\circ$ 付近で実現できることを確認し、この範囲で垂直磁場と縦抵抗の関係の詳細（量子ホール効果の詳細）を測定した。なお、測定時の温度は、公知の冷却装置を用いて $100\ \text{mK}$ とした。

[0050] すると、実際に、図 4 に示すように、角度 $58^\circ\sim 59^\circ$ 付近で新たなピークが検出され、 $\nu = 2$ の領域で 0 番目（基底状態）のランダウ順位の downward スピンと 1 番目のランダウ順位の upward スピンの交差が生じており、二つの異なるスピン状態のドメインが形成されていることが分かった。

- [0051] 次に、核スピンを偏極させるため、電源 11 を用いて試料 3 に $1.4 \mu\text{A}$ の電流を流した。
- [0052] 次に、交差点の抵抗変化を抵抗測定器 13 で測定した。
具体的には、試料 3 の外側に巻いたコイル 7 に交流電流を流すことで、 I_n 核ならびに S_b 核の共鳴周波数に対応する振動磁場を試料 3 に加えた。
- [0053] その結果、図 5 A ~ C に示すように、交差点の抵抗値が減少していることが分かった。
- [0054] これは、核スピンの偏極により増大した抵抗値が I_n 核ならびに S_b 核の共鳴周波数に対応する振動磁場を与えたことにより減少したことを意味しており、即ち、核スピンの偏極が検出されたことを示している。この結果と電流を流した時の時間による抵抗値の変化や、共鳴周波数による抵抗変化後のゆっくりした抵抗値の変化を併せて考えることで、抵抗変化が核スピン偏極度を反映していること、逆にいえば、核スピン偏極度が抵抗で検出可能であることを確認できた。
- [0055] また、図 5 A ~ C に示す結果から、 $I_n S_b$ 二次元量子構造において、高感度抵抗検出核磁気共鳴 (NMR) が実現できたことが分かった。
- [0056] 以上の結果より、核スピン偏極装置 1 を用いて $I_n S_b$ の核スピン偏極の検出が可能であることが分かった。

産業上の利用可能性

- [0057] 上述した実施例では $I_n S_b$ 二次元量子構造の核スピンを検出した場合について説明したが、本発明は特にこれに限定されることなく、 $I_n A_s$ 、 $I_n GaAs$ 等の g 因子の大きな二次元量子構造にも当然適用することができる。
- [0058] また、本発明の核スピン検出装置は、NMR や NMR を利用した量子コンピュータ、あるいは半導体のひずみ検出装置に適用できる。

符号の説明

- [0059] 1 核スピン偏極装置
2 チャンバ

3	試料
5	傾斜装置
7	コイル
9	電源
1 1	電源
1 3	抵抗測定器

請求の範囲

- [請求項1] 二次元量子構造を磁場中で傾斜させてランダウ準位分離とゼーマン準位分離を交差させる交差部と、
前記二次元量子構造の核スピンを偏極させる偏極部と、
を有し、
前記交差部がランダウ準位分離とゼーマン準位分離を交差させた部分の核スピンの偏極を検出することを特徴とする核スピンの偏極検出装置。
- [請求項2] 前記偏極部は、
前記二次元量子構造に電流を流すことにより、核スピンを偏極させることを特徴とする請求項1記載の核スピンの偏極検出装置。
- [請求項3] 前記交差部がランダウ準位分離とゼーマン準位分離を交差させた部分のうち、交差時に異なるスピン状態のドメインが形成されている部分を選択する選択部を有し、
前記選択部が選択した部分の核スピンの偏極を検出することを特徴とする請求項2記載の核スピンの偏極検出装置。
- [請求項4] 前記二次元量子構造に電流を流した際の、前記交差部がランダウ準位分離とゼーマン準位分離を交差させた部分の抵抗変化から核スピンの偏極を検出することを特徴とする請求項2または3のいずれか一項に記載の核スピンの偏極検出装置。
- [請求項5] 前記二次元量子構造は、InSb、InAs、InGaAsのいずれかであることを特徴とする請求項1～4のいずれか一項に記載の核スピンの偏極検出装置。
- [請求項6] 請求項1～5のいずれか一項に記載の核スピンの偏極検出装置を有することを特徴とする核磁気共鳴装置。
- [請求項7] 請求項6記載の核磁気共鳴装置を有することを特徴とする量子コンピュータ。
- [請求項8] 請求項1～5のいずれか一項に記載の核スピンの偏極検出装置を有す

ることを特徴とする半導体のひずみ検出装置。

[請求項9] 二次元量子構造を磁場中で傾斜させてランダウ準位分離とゼーマン準位分離を交差させる (a) と、

前記二次元量子構造の核スピンを偏極させる (c) と、

前記 (a) が交差させた部分の核スピンの偏極を検出する (d) と

、

を有することを特徴とする核スピンの偏極検出方法。

[請求項10] 前記 (c) は、

前記二次元量子構造に電流を流すことにより、核スピンを偏極させることを特徴とする請求項9記載の核スピンの偏極検出方法。

[請求項11] 前記 (a) と前記 (c) の間に行われ、前記 (a) がランダウ準位分離とゼーマン準位分離を交差させた部分のうち、交差時に異なるスピン状態のドメインが形成されている部分を選択する (b) をさらに有し、

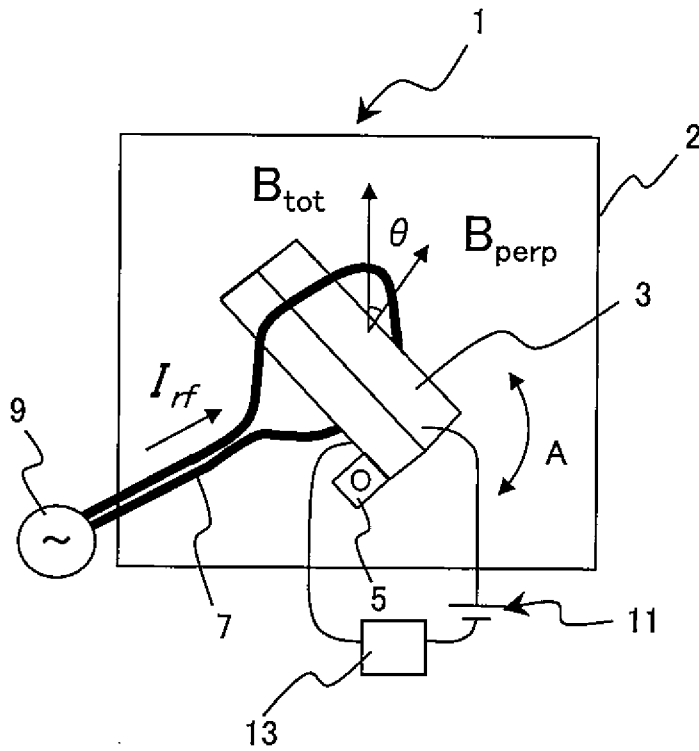
前記 (d) は、前記 (b) が選択した部分の核スピンの偏極を検出することを特徴とする請求項10記載の核スピンの偏極検出方法。

[請求項12] 前記 (d) は、

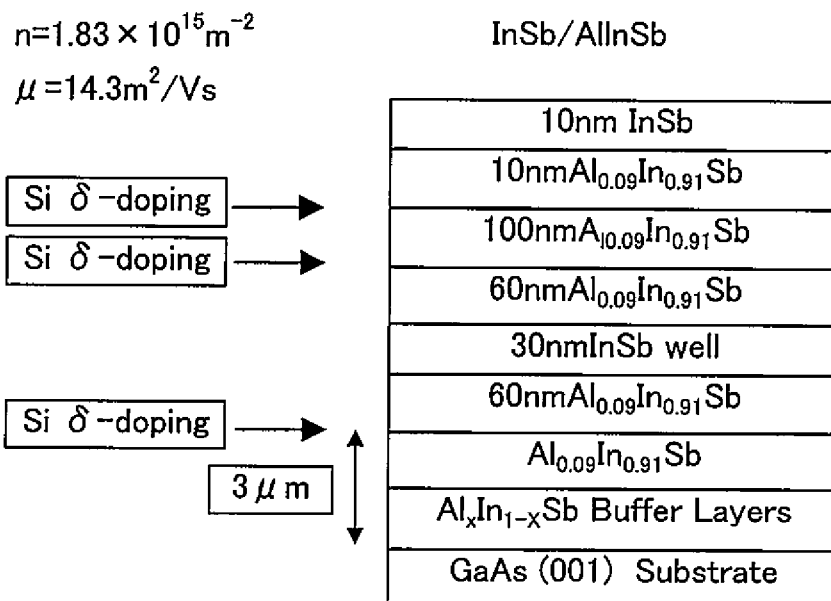
前記二次元量子構造に電流を流した際の、前記 (a) がランダウ準位分離とゼーマン準位分離を交差させた部分の抵抗変化から核スピンの偏極を検出することを特徴とする請求項10または11のいずれか一項に記載の核スピンの偏極検出方法。

[請求項13] 前記二次元量子構造は、InSb、InAs、InGaAsのいずれかであることを特徴とする請求項9～12のいずれか一項に記載の核スピンの偏極検出方法。

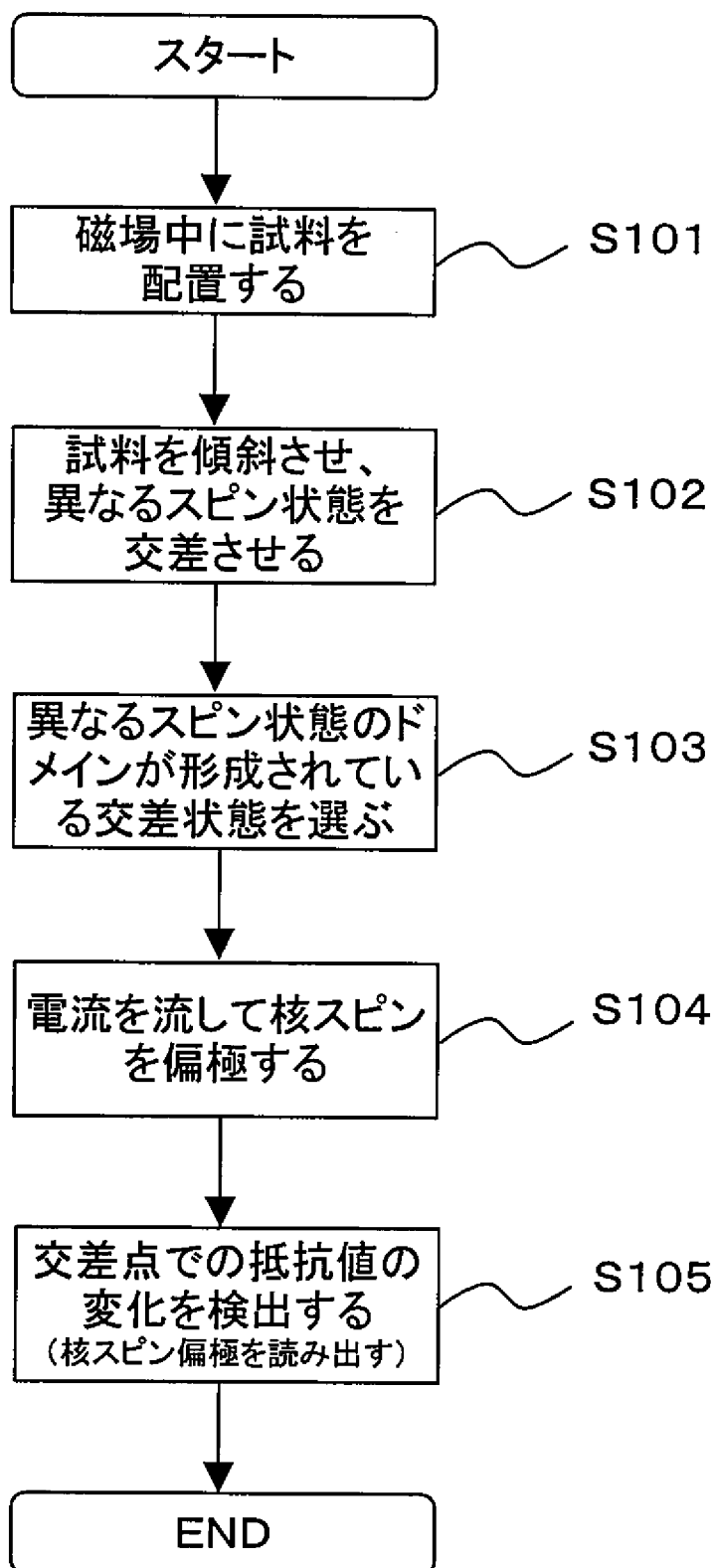
[図1A]



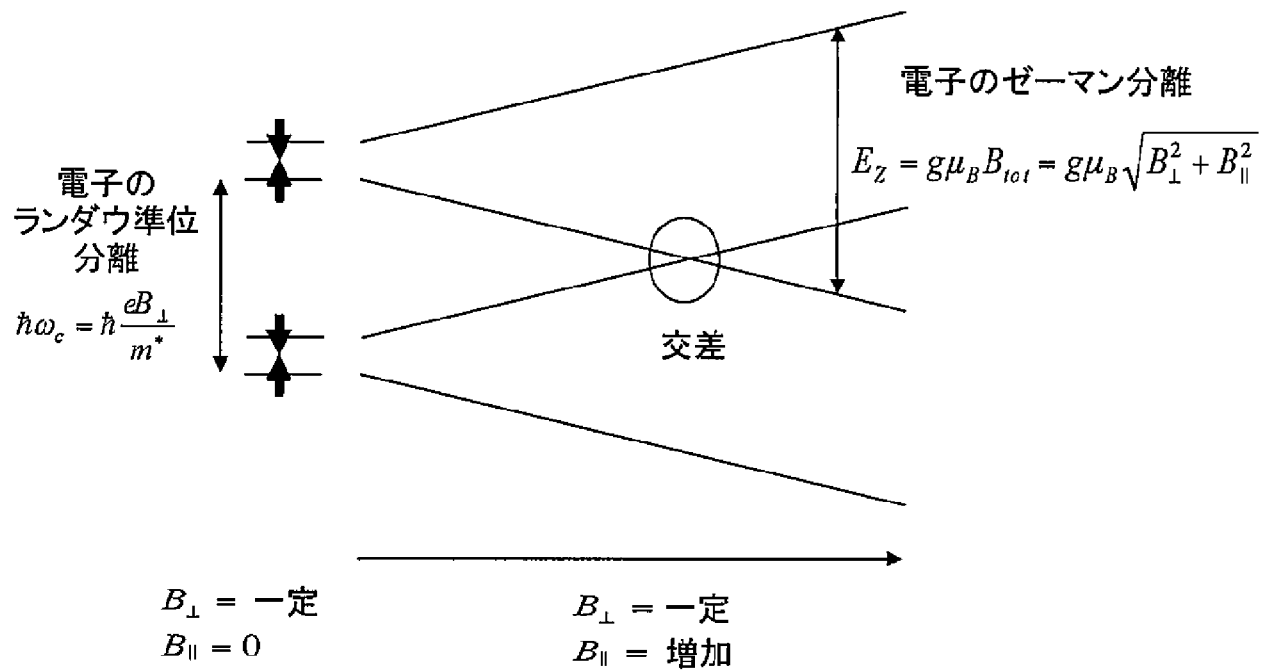
[図1B]



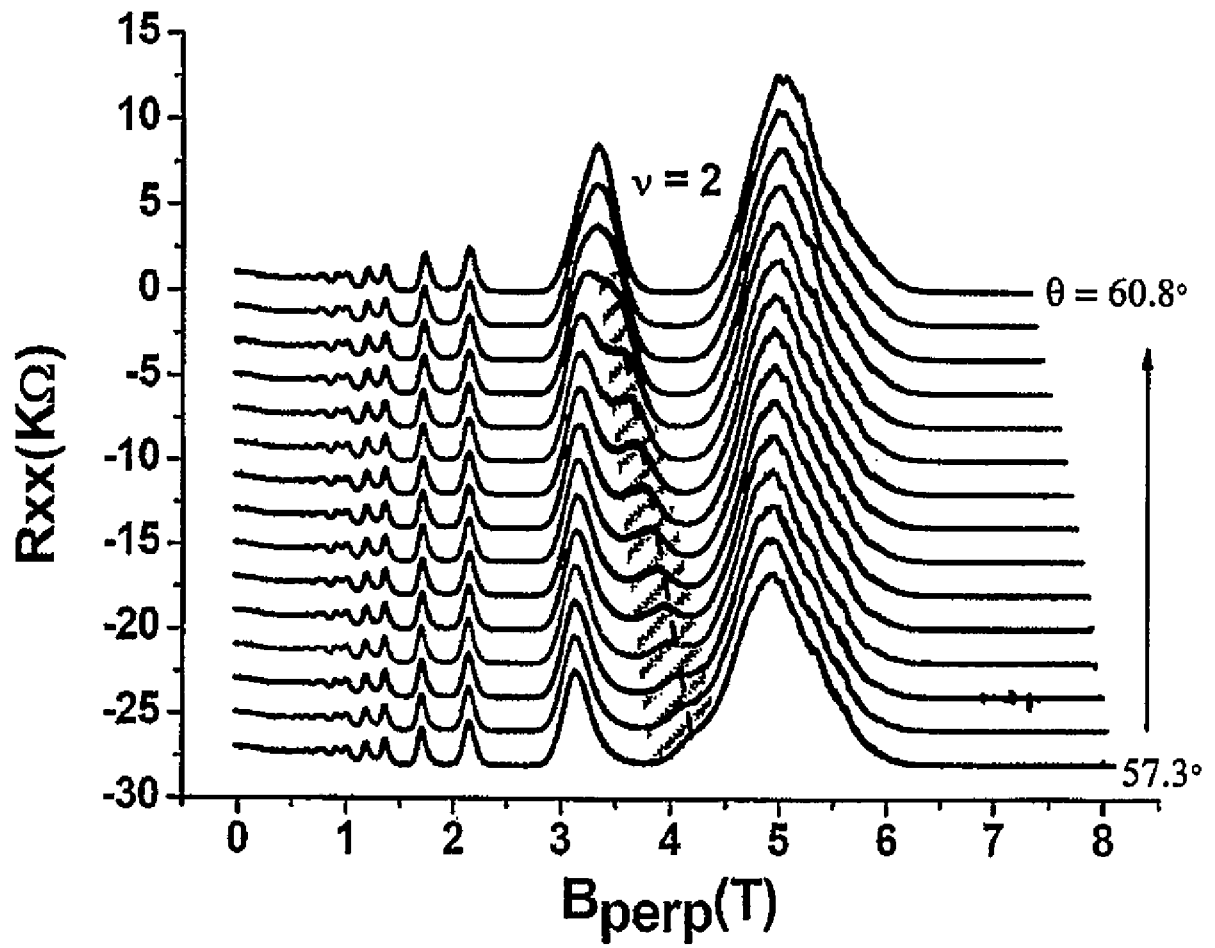
[図2]



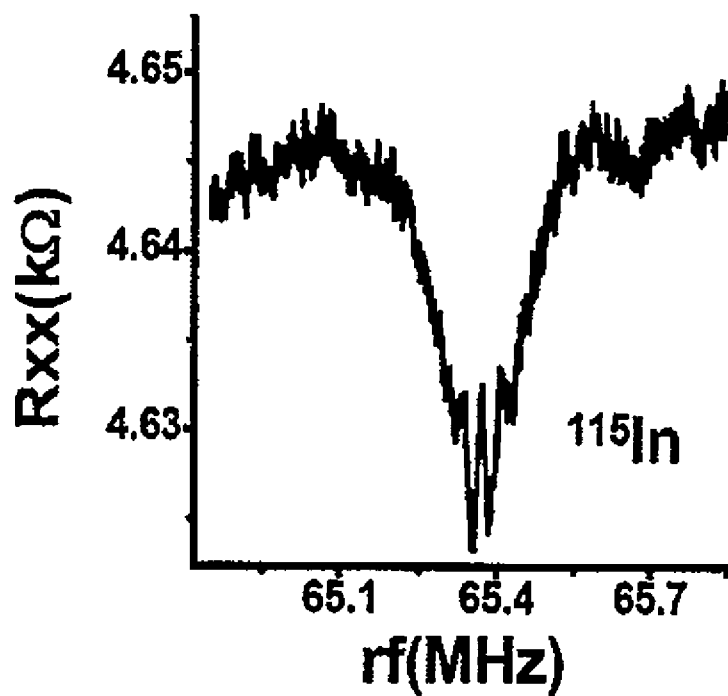
[図3]



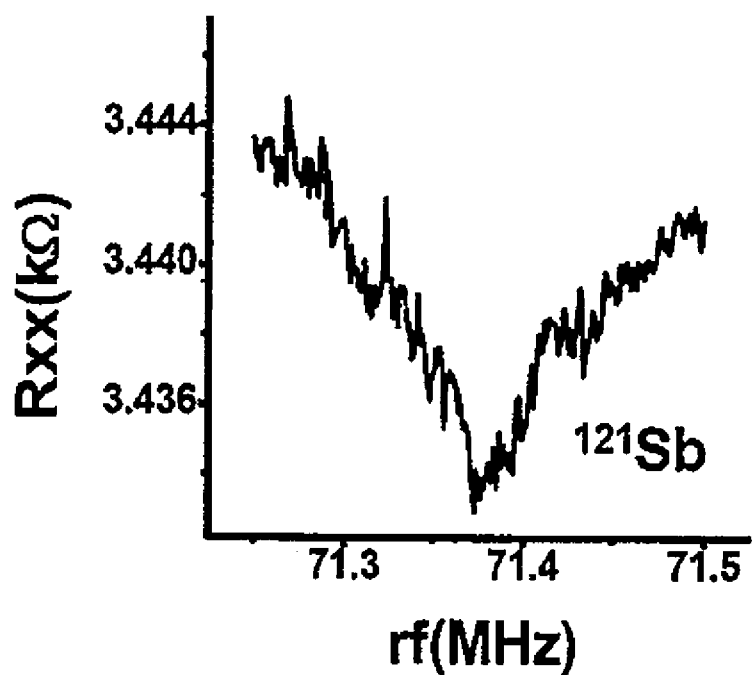
[圖4]



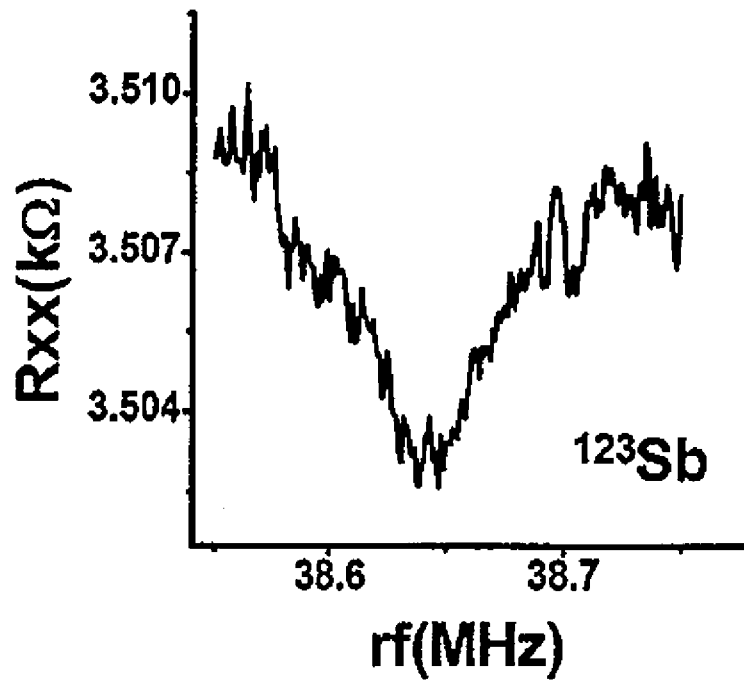
[図5A]



[図5B]



[図5C]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/072438

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G01R33/30(2006.01) i, G01N24/00(2006.01) i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01R33/20-33/64, G01N24/00-24/14		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2011 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) JSTPlus/JST7580 (JDreamII)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2006-66603 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 09 March 2006 (09.03.2006), entire text; all drawings (Family: none)	1-13
A	JP 8-220033 A (Yamagata Technopolis Foundation), 30 August 1996 (30.08.1996), entire text; all drawings (Family: none)	1-13
A	Toshiyuki SATO et al., "Ko Kando Denkiteki Kenshutsu ESR(EDMR) Sochi no Kaihatsu", Reports of Yamagata Research Institute of Technology, 1999.03, no.30, pages 31 to 33	1-13
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 01 March, 2011 (01.03.11)		Date of mailing of the international search report 15 March, 2011 (15.03.11)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/072438

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Y Hirayama et al., Electron-spin/nuclear-spin interactions and NMR in semiconductors, Semicond.Sci.Technol., 2009.02, Vol.24 No.2, pp.1-22	1-13

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01R33/30(2006.01)i, G01N24/00(2006.01)i		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01R33/20-33/64, G01N24/00-24/14		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2011年 日本国実用新案登録公報 1996-2011年 日本国登録実用新案公報 1994-2011年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語) JSTPlus/JST7580(JDreamII)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2006-66603 A (日本電信電話株式会社) 2006.03.09, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-13
A	JP 8-220033 A (財団法人山形県テクノポリス財団) 1996.08.30, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-13
A	佐藤敏幸 他, 高感度電氣的検出ESR (EDMR) 装置の開発, 山形県工業 技術センター報告, 1999.03, No. 30, pp. 31-33	1-13
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 01.03.2011	国際調査報告の発送日 15.03.2011	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 田中 洋介 電話番号 03-3581-1101 内線 3292	2W 3009

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	Y Hirayama et al., Electron-spin/nuclear-spin interactions and NMR in semiconductors, Semicond.Sci.Technol., 2009.02, Vol.24 No.2, pp.1-22	1-13