

波多野 睦子

東京工業大学 大学院理工学研究科
教授

「炭素系ナノエレクトロニクスに基づく革新的な生体磁気計測システムの創出」

§1. 研究実施体制

(1)「東工大」グループ

- ① 研究代表者:波多野 睦子 (東京工業大学大学院理工学研究科、教授)
- ② 研究項目
ダイヤモンドデバイス及びセンサ微弱信号検出技術
 - (1) 高感度センサアレイデバイス
 - (2) 高品質ダイヤモンド試料の作製
 - (3) センサ微弱信号検出技術

(2)「阪大」グループ

- ① 主たる共同研究者:水落 憲和 (大阪大学大学院基礎工学研究科、准教授)
- ② 研究項目
NV センタ評価技術及び電気検出技術
 - (1) 高品質窒素ドーパダイヤモンド試料の評価
 - (2) スピン情報の電気検出に向けた要素技術

(3)「京大」グループ

- ① 主たる共同研究者:原田 慶恵 (京都大学物質細胞統合システム拠点、教授)
- ② 研究項目
超高感度磁気センサナノアレイデバイスを使った生物試料への応用
 - (1) (細胞用 2 次元磁性)計測系設計

(4) 「産総研」グループ

① 主たる共同研究者: 牧野 俊晴

(独立行政法人産業技術総合研究所エネルギー技術研究部門、上級主任研究員)

② 研究項目

センサデバイス性能向上及びプロセス基盤技術

- (1) 電子スピン位相緩和時間の向上の理論的検討
- (2) 単一イオン注入による単一センタ規則配列技術の構築
- (3) デバイス設計及び作製プロセスの構築

(5) 「ルネサス」グループ

① 主たる共同研究者: 波多野 雄治

(ルネサスエレクトロニクス株式会社 第1事業本部 新コア推進事業部・シニアエキスパート)

② 研究項目

NV センタを用いた計測システムの性能向上

- (1) 信号処理システム概念設計
- (2) 受発光素子評価

§2. 研究実施の概要

ナノエレ技術を活用し、生物・医療などでニーズが高い、常温で動作し、高い感度と空間分解能を有する 2 次元センサモジュールを開発することが本研究の目標である。初年度である平成 25 年度は、5 年間半の研究期間における研究戦略の基盤として、光検出磁気共鳴イメージング (ODMR) における磁気感度向上に必要な NV センタの基本物性の明確化を図った¹⁾。

磁気感度向上にはまず NV センタのアンサンブル化が必要である。一般に NV センタの N-V 軸 (不純物 N 原子と隣接する空孔(V)の結合軸)はダイヤモンド結晶の立方晶系の 4 方位が有り得るが、高感度計測には同一方位のものが高密度に存在する必要がある。しかし従来、N-V 軸の制御技術は未確立であった。今回(111)ダイヤモンド基板上に CVD 法でホモエピタキシャル成長することにより、ほぼ 100%で N-V 軸を(111)方向に揃えることに成功した⁴⁾。

試料の顕微鏡写真を図 1(a)に示す。励起レーザー光は 532nm、200 μ W である。輝点が NV-センタであることは同図(e)フォトルミネッセンスで確認した。同図(b)は試料中の単一の NV センタの ODMR スペクトルである。磁場を[111]軸方向に印加したところ、 $|M_s\rangle=|0\rangle\leftrightarrow|-1\rangle$ 、 $|M_s\rangle=|0\rangle\leftrightarrow|1\rangle$ 遷移のピークが確認される。このピーク位置は同図(c)に示す、磁場と NV 軸が平行($B \parallel NV$)な場合のスペクトル計算結果と

よく一致する。もし NV 軸が [100][010][001]のどれかを向いているとすると磁場と NV 軸が 109.47°となるはずであり、その場合には同図(d)のスペクトルを示す。(b)のピーク位置が(c)と一致していることから、NV センタが[111]軸を向いていることが確認された。単一 NV センタが観測できる試料において、NV センタの方位を 100 個 ODMR 信号を測定したところ、全て同じ方向に揃っていることが確認できた。

4 軸が揃うことによる ODMR 信号増加で、センサでは従来比で 4 倍の感度向上が可能となり、高感度化に重要な技術である。上記1軸に揃える技術を含む、高感度化センサアレイデバイスに関して、材料、デバイス、システムにわたる基本概念特許を出願した。

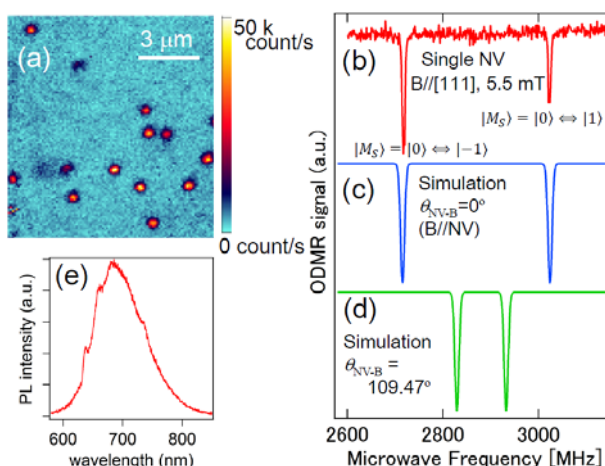


図 1 (a) 試料の顕微鏡写真。励起レーザー光は 532nm、200 μ W。輝点が単一 NV-センタであることは(e)フォトルミネッセンスで確認。(b) 試料中 NV センタの ODMR スペクトル。磁場を[111]軸方向に印加。 $|M_s\rangle=|0\rangle\leftrightarrow|-1\rangle$ 、 $|M_s\rangle=|0\rangle\leftrightarrow|1\rangle$ 遷移のピーク確認。(c) $B \parallel NV$ 時スペクトル計算結果。(d) B と NV 軸の角度が 109.47° の場合の計算結果。 B が [100][010][001]に相当。

§3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

論文詳細情報(国内)

1. 白石賢二, “ワイドバンドギャップ半導体界面の第一原理計算による研究”, 表面科学, vol. 35, No.2, pp.108-113, 2014 (DOI: <http://dx.doi.org/10.1380/jsssj.35.108>)

論文詳細情報(国際)

2. T. Iwasaki, J. Yaita, H. Kato, T. Makino, M. Ogura, D. Takeuchi, H. Okushi, S. Yamasaki, M. Hatano, “600 V Diamond Junction Field-Effect Transistors Operated at 200 °C”, IEEE Electron Device Lett. 35, pp.241-243, 2014 (DOI:10.1109/LED.2013.2294969)
3. K. Sato, T. Iwasaki, H. Kato, T. Makino, M. Ogura, S. Yamasaki, S. Nakamura, K. Ichikawa, A. Sawabe, M. Hatano, “Analysis of Selective Growth of n-Type Diamond in Lateral pn Junction Diode”, Jpn. J. Appl. Phys., in press.
4. T. Fukui, Y. Doi, T. Miyazaki, R. Miyamoto, H. Kato, T. Matsumoto, T. Makino, S. Yamasaki, R. Morimoto, N. Tokuda, M. Hatano, Y. Sakagawa, H. Morishita, T. Tashima, S. Miwa, Y. Suzuki, N. Mizuochi, “Perfect selective alignment of nitrogen-vacancy center in diamond”, Appl. Phys. Express. accepted.

(3-2) 知財出願

- ① 平成 25 年度特許出願件数(国内 1 件)
- ② CREST 研究期間累積件数(国内 1 件)