

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 16 日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25390066

研究課題名(和文) 光励起によるスピン偏極電子の新注入法の確立

研究課題名(英文) New injection way of spin-polarized electrons by photon excitation

研究代表者

金 秀光 (Jin, Xiuguang)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・加速器研究施設・特別助教

研究者番号：20594055

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：申請者はSi、Ge材料への注入を目指して、新しいGaAs/GaAsP歪み補償超格子構造の設計、作製を行った。今までの歪み超格子構造では超格子の井戸層のみに歪みを印加することに対して、歪み補償構造では井戸層と障壁層にそれぞれ同じ大きさで、逆方向の歪みを導入する。そのため、各層には歪みを印加したまま、超格子全体の歪み量はゼロになり、超格子の品質の向上ができる。新しく作製したGaAs/GaAsP歪み超格子構造では欠陥の低下や、界面の急峻性の向上が確認された。その結果、世界最高である92%のスピン偏極度の電子ビームの生成、注入に成功した。

研究成果の概要(英文)：In order to inject the spin-polarized electron into Si and Ge materials, a new GaAs/GaAsP strain-compensated superlattice was designed and fabricated. In the strain-compensated superlattice, an opposing strain is introduced in the barrier layers to offset the strain in the quantum well layers so that no critical thickness limitation exists on the overall thickness of the SL structure. As a result, compared to the conventional strained superlattice, the crystal quality was much improved using the strain-compensated SL structure. In addition, a highest spin polarization of 92% was also achieved.

研究分野：電子デバイス

キーワード：スピン電子 超格子

1. 研究開始当初の背景

半導体中の電荷の移動に基づくエレクトロニクスに、スピンの自由度を導入し、情報を画期的に増大させるスピントロニクスは、21世紀の情報産業革命として強い注目を集めている。半導体におけるスピン利用デバイスは、スピントランジスタより始め、さまざまなアイデアが提唱されているが、まだ実用的なデバイスの実現には至っていない。スピンデバイスの実現のためには、スピンの注入、輸送、操作、検出など種々の要素技術を確認することが必要である。とりわけスピン寿命が長いと期待される軽元素非磁性半導体へスピンの揃った電子を注入するスピン注入は重要な課題となっている。

2. 研究の目的

申請者は、スピントロニクス候補材料であるシリコン(Si)、ゲルマニウム(Ge)、グラファイト、グラフェンなどでの、スピン偏極電子の注入、輸送、緩和などの現象を徹底的に調べ、最終的にスピンを融合させた新たな機能を持つデバイスの実現を目指す。

3. 研究の方法

スピン偏極電子を生成する半導体超格子構造を、スピントロニクス候補材料上に作製し、光励起により生成するスピン偏極電子を測定用材料に注入する(図1)。今まで主流である強磁性体から候補材料へのスピン電子の注入は、二つの材料の格子不整合により良質な界面が形成しにくく、スピン電子の注入効率が低い。それに対して、 II-VI 族半導体では100%に近いスピン偏極電子ビームの生成が可能であり、候補材料に格子整合する材料系が選択できる。そのため、良質な界面が形成しやすく、減偏極を最小限にすることができる。

4. 研究成果

申請者はSi、Ge材料への注入を目指して、

新しいGaAs/GaAsP歪み補償超格子構造の設計、作製を行った。今までの歪み超格子構造では超格子の井戸層のみに歪みを印加することに対して、歪み補償構造では井戸層と障壁層にそれぞれ同じ大きさで、逆方向の歪みを導入する。そのため、各層には歪みを印加したまま、超格子全体の歪み量はゼロになり、超格子の品質の向上ができる。新しく作製したGaAs/GaAsP歪み補償超格子構造では欠陥の低下や、界面の急峻性の向上が確認された。その結果、世界最高である92%のスピン偏極度の電子ビームの生成、注入に成功した。

5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計10件)

1. "Effect of crystal quality on performance of spin-polarized photocathode"

X.G. Jin, B. Ozdol, M. Yamamoto, A. Mano, N. Yamamoto, Y. Takeda,

Appl. Phys. Lett., **105** (2014) #203509.

2. "Spin-polarized low energy electron microscopy"

T. Koshikawa, M. Suzuki, T. Yasue, E. Bauer, T. Nakanishi, X.G. Jin, Y. Takeda,

J. Vac. Soc. Jpn., **57** (2014) 382-390.

3. "Stain mapping at nanometer resolution using advanced nano-beam electron diffraction"

B. Ozdol, C. Gammer, X.G. Jin, P. Ercius, C. Ophus, J. Ciston, A. Minor,

Appl. Phys. Lett., **106** (2015) #253107.

4. "Analysis of electron emission from GaAs (Cs, O) by low energy electron microscopy"

X.G. Jin, Jpn. J. Appl. Phys., **54** (2015) #101201.

5. "The boersch effect in a picosecond pulsed electron beam emitted from a semiconductor photocathode"

M. Kuwahara, Y. Nambo, K. Aoki, K. Sameshima, X.G. Jin, T. Ujihara, H. Asano, K. Saitoh, Y. Takeda, N. Tanaka,

Appl. Phys. Lett., **108** (2016) #013108.

6. "Improvement of quantum efficiency in

transmission-type spin-polarized photocathode"
X.G. Jin, F. Ichihashi, A. Mano, M. Suzuki, T. Yasue, T. Koshikawa, Y. Takeda,
 Int. J. Mater. Sci. and Appl., **5** (2016) 178-182
 7. "Analysis of quantum efficiency improvement in spin-polarized photocathode"
X.G. Jin, S. Ohki, T. Ishikawa, A. Tackeuchi, Y. Honda,
 J. Appl. Phys., **120** (2016) #164501.
 8. "New photocathode using ZnSe substrates with GaAs active layer"
X.G. Jin, Y. Takeda, S. Fuchi,
 Jpn. J. Appl. Phys., **56** (2017) #036701.
 9. "Recovery of quantum efficiency in spin-polarized photocathodes"
X.G. Jin, M. Suzuki, T. Yasue, T. Koshikawa, Y. Takeda,
 Ultramicroscopy, Accepted for publication.
 10. "One hundred picosecond spin relaxation in GaAs/GaAsP strain-compensated superlattice as highly spin-polarized electron source"
 S. Ohki, X.G. Jin, T. Ishikawa, T. Kamezaki, K. Yamada, S. Muto, A. Tackeuchi,
 Appl. Phys. Lett., Accepted for publication/

[学会発表](計 14件)

1. "Nano-scale characterization of GaAsP/GaAs strained superlattice structures by nano-beam electron diffraction"
 ○X.G. Jin, H. Nakahara, K. Saitoh, N. Tanaka, Y. Takeda, 17th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy, Mo116, Warsaw, Poland, August 11-16, 2013. (Poster)
 2. "High performance spin-polarized Photocathode using GaAs/GaAsP train-compensated superlattice"
 ○X.G. Jin, N. Yamamoto, A. Mano, M. Yamamoto, Y. Takeda
 The 2013 International Workshop on Polarized Sources, Targets & Polarimetry, The University of Virginia, Charlottesville, USA, September

9-13,2013.
 3. "Novel development of very high brightness and highly spin-polarized electron gun with compact 3D spin manipulator for SPLEEM"
 T. Koshikawa, T. Yasue, M. Suzuki, K. Tsuno, S. Goto, X.G. Jin, Y. Takeda
 IVC-19/ICSS-15 AND ICN+T, Paris, France, September 9-13, 2013.
 4. "Highly polarized beam generation with High QE based on a transmission type cathode"
 ○N. Yamamoto, X.G. Jin
 ECFA Linear Collider Workshop 2013, Hamburg, Germany, May 27~31, 2013.
 5. "High QE and High polarization photocathode"
 ○N. Yamamoto, X.G. Jin
 POSIPOL 2013, Argonne National Laboratory, USA, September 4~6, 2013.
 6. "LEEM and AES study of negative electron affinity GaAs photocathode degradation process"
 ○X.G. Jin, A. Cotta, G. Chen, A. N'Diaye, A. K. Schmid, Y. Takeda
 9th International Symposium on Atomic Level Characterization for New Materials and Devices, 03P26, Sheraton Kona, Hawaii, USA, December 2~6, 2013. (Poster)
 7. "Development of Temporal Response Measurement System for Transmission-type Spin Polarized Photocathodes"
 ○T. Inagaki, N. Yamamoto, Y. Kajiura, T. Konomi, Y. Okano, M. Adachi, X.G. Jin, M. Hosaka, Y. Takashima, M. Katoh,
 5th International Particle Accelerator Conference, MOPRI034, Dresden, Germany, June 15~20, 2014.
 8. "Photoemission from III-V semiconductor cathodes"
 ○S. Karkare, L. Cultrera, X.G. Jin, I. Bazarov, Y. Takeda
 5th International Particle Accelerator Conference,

Dresden, Germany, June 15~20, 2014.

9. " Development of High QE and High polarization photocathode"

○N. Yamamoto, X.G. Jin, A. Mano, Y. Takeda
POSIPOL2014, New library of Ichinoseki city,
Iwate, Japan, August 27-29, 2014.

10. "Effect of crystal quality on performance of spin-polarized photocathode"

○X.G. Jin, N. Yamamoto, T. Inagaki, A. Mano, B. Ozdol, Y. Takeda,
LEEM/PEEM-9, P-II-03, Berlin, Germany,
September 14-18, 2014.

11. "Quantum efficiency improvement of polarized electron source using stain-compensated superlattice photocathode"

○N. Yamamoto, X.G. Jin, T. Miyauchi, A. Mano, Y. Takeda,

6th International Particle Accelerator Conference,
Richmond, VA, USA, May 3-8, 2015.

12. "Improvement of quantum efficiency in high spin-polarization photocathode"

○X.G. Jin, N. Yamamoto, T. Miyauchi, A. Mano, Y. Takeda,

FEL2015, MOP022, Daejeon, Korea, August 23-28, 2015.

13. "Time response measurements for transmission-type GaAs/GaAsP superlattice photocathodes"

○N. Yamamoto, X.G. Jin, K. Yamaguchi, M. Hosaka, Y. Takashima, M. Katoh,

7th International Particle Accelerator Conference,
Busan, Korea, May 8-13, 2016.

14. "One hundred picoseconds spin relaxation in GaAs/GaAsP strain-compensated superlattice for highly spin-polarized electron source"

○S. Ohki, X.G. Jin, M. Asakawa, T. Ishikawa, A. Tackeuchi,

Compound Semiconductor Week, Toyama, Japan,
June26-30, 2016.

{ 図書 } (計 0 件)

{ 産業財産権 }

○出願状況 (計 1 件)

名称 : 高輝度電子発生素子及びその作製方法
発明者 : 金 秀光、竹田美和、山本将博、
神谷幸秀
権利者 : 金 秀光、竹田美和、山本将博、
神谷幸秀
種類 :
番号 : 2016-81955
出願年月日 : 2016 年 4 月
国内外の別 : 国際

○取得状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
取得年月日 :
国内外の別 :

{ その他 }
ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究代表者

金 秀光 (Jin, Xiuguang)
大学共同利用機関法人高エネルギー
加速器研究機構・加速器研究施設・
特別助教
研究者番号 : 20594055

(2)研究分担者

()

研究者番号 :

(3)連携研究者

山本尚人 (Yamamoto, Naoto)
名古屋大学工学研究科・助教
研究者番号 : 60377917

鳥養映子 (Torikai, Eiko)

山梨大学・医学工学総合研究部・教授
研究者番号 : 20188832

(4)研究協力者

()