

平成 26 年 6 月 2 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760310

研究課題名(和文)低エミッタンス・短パルス半導体フォトカソードの開発

研究課題名(英文)Development of low emittance and short pulse photocathode

研究代表者

金 秀光 (Jin, Xiuguang)

名古屋大学・高等研究院・特任助教

研究者番号：20594055

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：速い応答性を得るためには、フォトカソードに内部電界を印加し、電子のトランジスタを速くする方法がある。申請者は活性層をAl_{0.2}Ga_{0.8}As層よりGaAs層まで、5つのステップに分けて、Alの組成を下げた。隣接した活性層にはバンドギャップの違いにより、界面に電界が生じる。

傾斜型AlGaAs試料のデールはバルクAlGaAsのそれより明らかに短くなった。この効果は、拡散モデルに内部電界を組み合わせることで説明できる。523 nm励起光において、傾斜型AlGaAsの量子効率13%であり、バルクAlGaAsの8%の量子効率に比べ明らかな向上である。

研究成果の概要(英文)：Photoemission from several types of AlGaAs based photocathodes has been studied. Graded AlGaAs photocathode with an internal electric field showed short response time and high quantum efficiency. Diffusion model combined with electron drift was developed to describe electron transport in graded AlGaAs layers. Our result demonstrated that the internal electric field is effective to control electron transport. The effect of the band structure on the emittance of the electron beam was also investigated. In the graded AlGaAs photocathode, the emittance was dependent on the topmost active layer

研究分野：工学

科研費の分科・細目：結晶工学

キーワード：半導体フォトカソード

1. 研究開始当初の背景

次世代放射光源計画として、ERLの研究開発が世界数カ国で競争的に進められている。従来型の蓄積リングでは電子ビームを多数回周回させることに対して、ERLでは電子ビームを一回のみ周回させる。そのため、ERLに利用される電子ビームは、常に電子源から供給されたばかりのフレッシュな電子ビームであり、従来の蓄積リングより2-3桁高い輝度の放射光が得られる。ERLプロジェクトの成否を左右するのは、ERL用の電子源の開発である。その電子源として、 0.1π .mm.mrad以下の低エミッタンス、20 ps以下の短パルス(一つパルス当たり7.7 pC以上の電荷量)電子ビームの生成が求められている。

2. 研究の目的

申請者は、エネルギー回収型リニアック(ERL)用の低エミッタンス・短パルス半導体フォトカソードの開発を目的にする。本グループでは、超格子半導体フォトカソードを開発して、成功的に電子ビームの低エミッタンスを実現している。本研究では超格子構造をベースに、電子ビームの短パルスを目指す。短パルスの実現には、電子の速い拡散速度と電子を効率的に真空に取り出すことが必須である。申請者は、半導体超高速デバイスと半導体発光デバイス分野でのアイデアを半導体フォトカソードに生かして、低エミッタンス・短パルス半導体フォトカソードの実現を目指す。

3. 研究の方法

励起光により伝導帯に励起された電子は、表面まで拡散し、その後負の電子親和力(NEA)表面により真空に取り出される。従来型のフォトカソードでは以下の問題点がある。(i)励起された電子はその密度差により表面に拡散するため、移動速度が非常に

遅い。(ii)表面準位にトラップされた電子は障壁ポテンシャルを形成し、後続電子が取り出しにくくなる。現状では20 psパルス当たり1 pC以下の非常に低い電荷量しか得られない。これらの問題点の解決として、申請者は、電子の拡散速度が速く、表面準位にトラップされた電子を有効的に除去する新しいフォトカソードの設計・作製を行う。

4. 研究成果

傾斜型 AlGaAs 試料のデールはバルク AlGaAs のそれより明らかに短くなった。この効果は、拡散モデルに内部電界を組み合わせることで説明できる。内部電界は活性層の界面に生じ、界面での励起電子の分布を前に進ませる。前向きの電子分布は電子の拡散に有効であり、応答性が速くなる。内部電界は量子効率にも有効である。523 nm 励起光において、傾斜型 AlGaAs の量子効率は13%であり、バルク AlGaAs の8%の量子効率に比べ明らかな向上である。

5. 主な発表論文等

(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 9件)

1. "Mean Transverse Energy Measurement of Negative Electron Affinity GaAs-based Photocathode"

S. Matsumura, Y. Honda, X.G. Jin, T. Miyajima, M. Yamamoto, T. Uchiyama, M. Kuwahara, Y. Takeda, Jpn. J. Appl. Phys., **51** (2012) #046402.

2. "Analysis of thickness modulation in GaAs/GaAsP strained superlattice by TEM observation"

X.G. Jin, H. Nakahara, K. Saitoh, T. Saka, T. Ujihara, N. Tanaka, Y. Takeda, J. Cryst. Growth, **353** (2012) 84.

3. "Fourfold increase of quantum efficiency in

highly spin-polarized transmission-type photocathode”

X.G. Jin, F. Ichihashi, A. Mano, N. Yamamoto, Y. Takeda, Jpn. J. Appl. Phys., **51** (2012) #108004.

3. “30-kV spin-polarized transmission electron microscope using a GaAs-GaAsP strained superlattice photocathode”

M. Kuwahara, S. Kusunoki, **X.G. Jin**, T. Nakanishi, Y. Takeda, K. Saitoh, T. Ujihara, H. Asano, N. Tanaka, Appl. Phys. Lett., **101** (2012) #033102.

4. “High performance spin-polarized photocathodes using a GaAs/GaAsP strain-compensated superlattice”

X.G. Jin, A. Mano, F. Ichihashi, N. Yamamoto, Y. Takeda, Appl. Phys. Express, **6** (2013) #015801.

5. “Effect of compressive strain relaxation on surface morphology in GaAsP growth on GaP substrate”

X.G. Jin, S. Fuchi, Y. Takeda, J. Cryst. Growth, **370** (2013) 204.

6. “Picosecond electron bunches from GaAs/GaAsP strained superlattice photocathode”

X.G. Jin, S. Matsuba, Y. Honda, T. Miyajima, M. Yamamoto, T. Utiyama, Y. Takeda, Ultramicroscopy, **130** (2013) 44-48.

7. “Temporal Response Measurements of GaAs-Based Photocathodes”

Y. Honda, S. Matsuba, **X.G. Jin**, T. Miyajima, M. Yamamoto, T. Uchiyama, M. Kuwahara, Y. Takeda, Jpn. J. Appl. Phys., **52** (2013) #086401.

8. “Phase-locking of oscillating images using laser-induced spin-polarized pulse TEM”

M. Kuwahara, Y. Nambo, S. Kusunoki, **X.G. Jin**, T. Nakanishi, K. Saitoh, H. Asano, T. Ujihara, Y. Takeda, T. Nakanishi, N.

Tanaka, Microscopy Advance Access, **62** (2013) 607-614.

9. “Nano-scale characterization of GaAsP/GaAs strained superlattice structure by nano-beam electron diffraction”

X.G. Jin, H. Nakahara, K. Saitoh, N. Tanaka, Y. Takeda, Appl. Phys. Lett., **104** (2014) #113106.

[学会発表] (計 11件)

1. “Effect of compressive strain relaxation on surface morphology in GaAsP growth on GaP substrate”

○**X.G. Jin**, S. Fuchi, Y. Takada
16th International Conference on Metal Organic Vapor Phase Epitaxy, TuP-74, Paradise Hotel, Busan, Korea, May 20~25, 2012.

2. “Effects of mis-orientation of crystal planes on thickness modulation in GaAs/GaAsP strained superlattice”

○**X.G. Jin**, H. Nakahara, K. Saitoh, T. Saka, H. Katruno, N. Tanaka, Y. Takeda
16th International Conference on Metal Organic Vapor Phase Epitaxy, WeP-61, Busan, Korea, May 20~25, 2012.

3. “Initial emittance and temporal response measurement for GaAs based photocathodes”

○S. Matsuba, Y. Honda, T. Miyajima, T. Uchiyama, M. Yamamoto, **X.G. Jin**, Y. Takeda.
International Particle Accelerator Conference 2012, MOPPP035, Ernest N. Morial convention Center, New Orleans Louisiana, USA, May 20-25, 2012.

4. “High performance spin-polarized photocathode for microscopy”

○**X.G. Jin**, F. Ichihashi, A. Mano, N. Yamamoto, M. Suzuki, T. Yasue, T. Koshikawa, N. Tanaka, Y. Takeda
14th Joint Vacuum Conference, EMP-O41, Libertas Rixos Hotel, Dubrovnik, Croatia, June 4~8, 2012.

5. “Development of high performance photocathodes for microscopy and accelerator”
○X.G. Jin, F. Ichihashi, A. Mano, N. Yamamoto, Y. Takeda, M. Yamamoto, T. Miyajima, Y. Honda, T. Uchiyama, S. Matsuba
Photocathode Physics for Photoinjectors (P3), Cornell University, Ithaca, NY, USA, October 8-10, 2012.

6. “High performance spin-polarized photocathode using strain compensated superlattice”

X.G. Jin, A. Mano, F. Ichihashi, N. Yamamoto, ○Y. Takeda
8th international workshop on LEEM/PEEM, Regal Kowloon Hotel, Hong Kong, November 11-15, 2012.

7. “Picosecond electron bunch from GaAs/GaAsP strained superlattice photocathode”

○X.G. Jin, S. Matsuba, T. Miyajima, Y. Honda, M. Yamamoto, T. Uchiyama, Y. Takeda
8th international workshop on LEEM/PEEM, Regal Kowloon Hotel, Hong Kong, Poster-session 1-8, November 11-15, 2012.

8. “Development of novel compact spin-polarized electron gun”

○T.Koshikawa, T.Yasue, M.Suzuki, K.Tsuno, S.Goto, X.G. Jin, Y.Takeda
8th international workshop on LEEM/PEEM, Regal Kowloon Hotel, Hong Kong, Poster-session 1-7, November 11-15, 2012.

9. “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)

10. “High performance spin-polarized

photocathode using GaAs/GaAsP strain-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.

11. “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.

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 2件)

名称：“スピン偏極電子発生素子及びその作製方法”

発明者：金 秀光

権利者：金 秀光, 瀧 真悟, 竹田美和

種類：

番号：2012 - 108186

出願年月日：2012年5月

国内外の別：国内

名称：“半導体フォトカソード”

発明者：金 秀光

権利者：金 秀光, 竹田美和, 山本将博, 宮島 司, 本田洋介

種類：

番号：2012-221001

出願年月日：2012年10月

国内外の別：国内

○取得状況(計 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)

研究者番号 : 20594055

(2)研究分担者

()

研究者番号 :

(3)連携研究者

()

研究者番号 :