

[F16p30]

POLARIZATION MEASUREMENT OF PICOSECOND POLARIZED ELECTRON BEAM FROM SUPERLATTICE PHOTOCATHODES

K. Togawa, T. Nakanishi, S. Okumi, S. Nakamura, C. Suzuki, F. Furuta, T. Ida, K. Wada, T. Nishitani, M. Yamamoto, J. Schuler¹, K. Aulenbacher¹, E. Reichert¹, T. Baba², Y. Kurihara³, T. Omori³, H. Horinaka⁴ and K. Wada⁴

Department of Physics, Nagoya University, Nagoya, Aichi 464-8602, Japan

1) Institute für Physik, Johannes-Gutenberg Universität Mainz, Germany

2) Fundamental Research Laboratories, NEC Corp., Tsukuba, Ibaraki 305-8501, Japan

3) High Energy Accelerator Research Organization (KEK), Tsukuba, Ibaraki 305-0801, Japan

4) College of Engineering, University of Osaka Prefecture, Sakai, Osaka 599-8531, Japan

Abstract

A picosecond polarized electron beam has been produced by illuminating an InGaAs-AlGaAs strained-layer superlattice photocathode with a picosecond laser light at the pulsed electron gun test facility of Mainz University. Using a radio frequency streak method, the time resolved polarization of the picosecond electron bunch has been measured to get the informations of the initial polarization of excited electrons and the spin relaxation time of the superlattice photocathodes. The preliminary result is described in this paper.

超格子フォトカソードから引き出したピコ秒偏極電子ビームの偏極度測定

1. はじめに

スピン偏極電子ビームは高エネルギー物理学をはじめ様々な分野で重要な役割を果たしており、次世代の電子陽電子リニアコライダーにおいても超対称性粒子の発見等に不可欠な実験手段としてその活躍が大いに期待されている。

偏極電子ビームに求められる性能として1) スピン偏極度、2) ビーム強度、3) ビーム構造、4) エミッタンスなどが挙げられる。これらの性能を同時に向上した高品質の偏極電子ビームを生成できる可能性を持つのがGaAs型偏極電子源である。偏極電子ビームは、GaAs型半導体にバンドギャップエネルギー相当の光子エネルギーを持つ円偏光レーザーを照射することにより価電子のスピン状態を選択して伝導帯に励起し、負の電子親和性 (Negative Electron Affinity、略してNEA) を持つようにセシウム原子と酸素原子を1原子層だけ蒸着した表面から引き出される。生成原理が示すように、偏極電子ビームの性能を向上するためにフォトカソードが担う役割は非常に大きい。

我々、名古屋大学を中心としたグループは、バルクGaAsを用いた場合には原理的に50%に制限されていたスピン偏極度を向上すべく、超格子半導体の量子閉じ込め効果を利用すると重い正孔バンドと軽い正孔バンドの縮退を解くことができることに着目し、GaAs-AlGaAs超格子を開発することにより世界に先駆けて70%の偏極度を得ることに成功した[1]。また、我々が開発した80%以上の高い偏極度

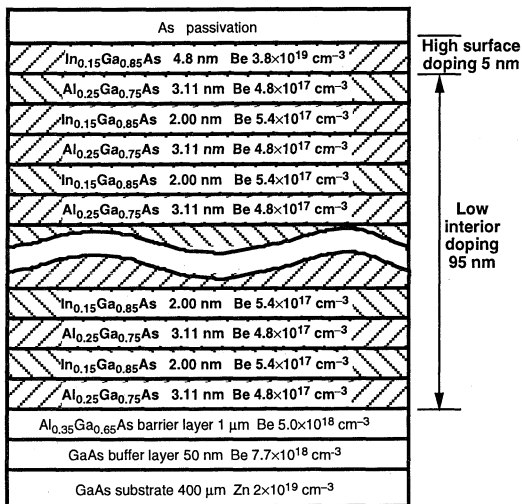
を有する歪みGaAsフォトカソードは、高密度マルチバンチビームを生成する際に真空中へ脱出できずにNEA表面に捕獲された電子群が引き出しビーム電流を制限する深刻な問題 (NEA表面電荷制限問題) を抱えていたが、超格子フォトカソードは量子閉じ込め効果によって高エネルギー側にシフトした伝導帯及び価電子帯バンドが表面電子の蓄積量を減少させるといった特性を持つため、NEA表面電荷制限を受けずに空間電荷制限のナノ秒マルチバンチ偏極ビームの生成が可能となることを最近明らかにした[2]。このように、超格子フォトカソードは高い偏極度と高い電流密度を両立できる可能性を持っていることが実験的に示され、現在ではさらなる偏極度の向上を目指して歪み超格子の開発に取り組んでいる[3]。

さて、超格子フォトカソードの最大偏極度を決定している物理的要因を探究することは100%に近い偏極度を有するフォトカソード開発にとって重要な課題であり、半導体物性の見地からも興味ある研究である。その要因については、1) 重い正孔と軽い正孔のバンド混合により両者の分離が完全でなく、光励起された伝導帯電子の偏極度が100%より小さいこと、2) 電子放出過程において、超格子の伝導帯バンドでスピン緩和が働くこと、の2つが考えられる。どちらが支配的であるかを直接実験で確認するためには、スピン緩和時間 (~100ps) より十分に短いバンチ幅のレーザー光を照射して電子ビームを生成し、引き出したビームの偏極度を数ピコ

秒の時間分解能で測定する必要がある[4]。この測定が可能で偏極電子源装置はMainz大学のグループによって開発された[5]。このグループは世界で初めてピコ秒偏極電子ビームの偏極度測定を行い、バルクGaAsの最大偏極度が30%に制限される要因は結晶内部におけるスピン緩和が支配的であることを直接証明した実績を持つ[6]。我々はMainz大学との共同研究として、超格子フォトカソードから引き出したピコ秒偏極電子ビームの偏極度測定実験を行った。

2. 試験サンプル

実験に使用したInGaAs-AlGaAs歪み超格子（サンプル番号SLSA#4）の断面模式図を図1に示す。



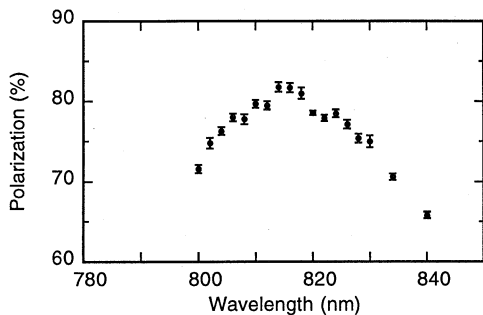


図3 InGaAs-AlGaAs歪み超格子 (SLSA#4) から引き出した連続偏極電子ビームの偏極度の波長依存性

次に、ピコ秒レーザーの波長を814nmに固定してピコ秒電子バンチの偏極度測定を行った。電子バンチ波形と偏極度の時間分布を同時に測定するために、Mott偏極度測定において散乱電子をカウントする半導体検出器の信号から電子バンチ波形と偏極度分布の両方を割り出した。偏極度測定には長時間を要するため、高周波とレーザーとのタイミングのドリフトが原因となって崩れた電子バンチ波形が測定されてしまう。そこで、まず、Mott偏極度測定器のビームダンプ (Faraday Cup) によって、タイミングドリフトが無視できる短時間内に電子バンチ波形を測定した。そして、Faraday Cupによる電子バンチ波形に一致するように、半導体検出器で測定した電子バンチ波形の時間軸を補正した。測定結果を図4に示す。

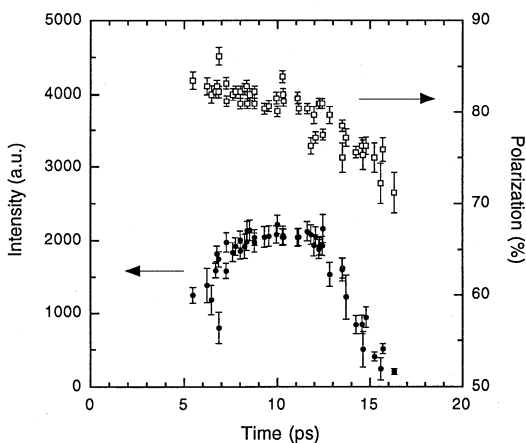


図4 InGaAs-AlGaAs歪み超格子 (SLSA#4) から引き出したピコ秒偏極電子ビームのバンチ波形と偏極度の時間分布

半値幅が10ps以下の非常に短い電子バンチをInGaAs-AlGaAs歪み超格子フォトカソードから引き出すことが可能であることが分かった。また、電子

バンチ内における偏極度の低下が明瞭に確認された。図4のデータから求めた電子バンチの平均偏極度は81%であり、連続偏極電子ビームの偏極度と良好一致を示している。

5. 考察

偏極度の初期値を P_i 、スピン緩和時間を τ_s とすると、偏極度の時間変化は

$$P = P_i \exp(-t/\tau_s)$$

と表わされる。2つの定数をフィッティングで求めると $P_i=85\%$ 、 $\tau_s=87\text{ps}$ となった。偏極度の初期値と平均偏極度 (連続ビームの偏極度) の間にはわずか4%の違いしか現われないことと、電子バンチの応答時間 ($\leq 10\text{ps}$) がスピン緩和時間 ($\sim 90\text{ps}$) より十分短いことから、励起電子は超格子内部で大きく減偏極する前に真空中に放出されていることが分かる。 P_i は伝導帯に励起した直後の偏極度を大きく反映しているため、超格子の最大偏極度を決定する主要因は正孔のバンド混合であることを示唆していると考えられる。

6. まとめ

Mainz大学のピコ秒偏極電子源装置において超格子フォトカソードを用いたピコ秒偏極電子ビームの生成とその偏極度測定を初めて行った。そして、InGaAs-AlGaAs歪み超格子が非常に速い応答速度 ($\leq 10\text{ps}$) を持つことを確認した。また、偏極度の時間分布から、超格子の最大偏極度を決定する主要因がバンド混合にあることを示唆する最初のデータを得ることができた。今後は、最大偏極度が70%に制限されているGaAs-AlGaAs超格子について同様の測定を行い、更にこの点を確認する予定である。

本研究の一部は文部省科学研究費補助金 (No.10138101, No.10354003, No.10003135) 及びKEK共同開発研究費 (No.98-001) を用いて実施された。

参考文献

- [1] T. Omori et al., Phys. Rev. Lett. 67 (1991) 3294
- [2] K. Togwa et al., DPNU-98-11, to be published in Nucl. Instr. and Meth. A
- [3] K. Wada et al., 本研究会プロシーディングス
- [4] 中西 他, 文部省科研費特定領域研究「スピン制御半導体」平成10年度第1回研究会予稿集 p.55-56, 伊豆長岡
- [5] P. Hartmann et al., Nucl. Instr. and Meth. A 379 (1996) 15
- [6] P. Hartmann, Ph. D thesis, Mainz University