

R/D OF THE HIGHLY POLARIZED ELECTRON SOURCE AT NAGOYA UNIVERSITY

T. Nakanishi^A, H. Aoyagi^A, H. Horinaka^B, Y. Kamiya^C, T. Kato^D,

T. Kosugoh^A, S. Nakamura^A, S. Okumi^A, T. Saka^D,

M. Tawada^A, K. Togawa^A and M. Tsubata^A

^A *Department of Physics, Nagoya University, Nagoya-464, Japan*

^B *College of Engineering, Osaka Prefecture University, Sakai-591, Japan*

^C *Toyota Technical Institute, Nagoya-468, Japan*

^D *New Materials Reserch Lab., Daido Steel Co. Ltd, Nagoya-457, Japan*

ABSTRACT

In order to prepare the polarized electron beam for JLC and other accelerators, we are putting forward the photocathode development and the construction of the operational gun at Nagoya University in collaboration with KEK. As results, we could achieve the breakthrough against for the 50% polarization limitation of an available GaAs photocathode. The polarization of 86% were attained by newly designed photocathode, the strained GaAs. Experimental studies are continued to grade up the performances (polarization and quantum efficiency) of the strained GaAs photocathode. The strain dependence of polarization was measured using seven different samples. The results and the remained problems are discussed in this report. The other work, the construction of operational gun is also progressing at Nagoya university. Here, the present status on the construction and the performance test is briefly reported.

名古屋大学における高い偏極度をもつ電子源の開発と実用化

1、はじめに

GaAs及びそれに関連した半導体からのレーザー光励起を原理とするGaAs型偏極電子源は既に数多くの例でその実用性が立証されている[1]。しかし、十分な強度を持つ100%近い偏極度の電子ビームを実現するにはまだ問題が残されている。

よく知られているように、GaAsは価電子帯のhh(heavy-hole)とlh(light-hole)の2つのバンドが Γ 点(価電子帯のエネルギー最大点)で縮退しており、この縮退により理論的に到達できる電子スピン偏極度は50%以下に制限される。この限界を打破するためにはGaAsに代わる縮退の解けた新しい半導体が必要となる。

1991年4月に我々は新しいフォトカソードである格子不整合を利用したStrained GaAsを開発し86%の偏極度を得ることに成功した[2]。このようなブレイクスルー後、今度は新しいフォトカソードの特性を理解するため系統的研究に取り組んでいる[3]。現在、Strained GaAsフォトカソードは偏極度、量子効率の両方の点で優れており実用化に最も近いと考えられている。フォトカソードの開発は偏極度測定専用の電子銃(NPES-I)を用いて進められている。また、これとは別に高エネルギー加速器、特にJLCでの偏極実験を目的として実用型偏極電子銃(NPES-II)の開発も進めている。

2、Strained GaAs フォトカソード

Strained GaAs フォトカソードはMOCVD装置によりGaP_xAs_{1-x}層にGaAs層を薄く成長させて作られる。GaP_xAs_{1-x}の格子定数はGaAsよりも小さいため格子不整合が起こり、接合面に2次元的な収縮力が働くと同時に垂直方向に引っ張り応力が生じる。この結果、GaAs層に歪が生じΓ点におけるhhとlhの縮退が解けることになる。図1にStrained GaAs フォトカソードから取り出された電子の偏極度と量子効率をレーザー波長の関数として示す。λ~860nmに偏極度の明確なピークがみられるがこれはStrained GaAs層のhh-bandからのみ電子が励起された証拠である。ところがこの新しいフォトカソードにはまだ比較的小さい値の量子効率しか得られないという問題が残されている。例えばバルクのGaAsからは数%が得られるのに対し上述のフォトカソードではλ~860nmで~0.02%である。0.1%以上の高量子効率でかつ80%以上の高偏極度のStrained GaAsがすでに我々によって開発されている[3]。しかし、実用化のためにはさらに高い量子効率を目指さなければならない。

Strained GaAs フォトカソードの性質を詳しく調べるには次の実験データが不可欠である、[I]残留歪(ϵ_R)、格子不整合(ϵ)、GaAsの厚さ(t)の関係、[II]偏極度の残留歪依存性。このようなデータを得るために(x, t)の異なる7個のフォトカソードを作った。xはGaP_xAs_{1-x}層のPの混入比で ϵ 及びコヒーレント成長を保証する臨界厚み t_c を決める量である。[I]に関して図2のような ϵ_R/ϵ 対 t/t_c の2次元プロットを作った。異なった(x, t)の組み合わせにもかかわらず ϵ_R/ϵ と t/t_c のきれいな相関がみられる。これはStrained GaAs フォトカソードを設計する上で非常に便利である。例えばGaAsを t_c の10倍積んだとしても歪は50%以上残されていることがわかる。[II]に関して最大偏極度を残留歪の関数としてプロットしたのが図3である。これより電子スピン偏極度が明らかに歪依存性を持っていることがわかる。

3、実用型偏極電子源の開発

GaAs型偏極電子源はすでいくつかの研究所で高エネルギー実験に用いられているが、 e^+e^- リニアコライダーで要求される機能のレベルは、特に高電圧印加、フォトカソードへの高出力レーザー照射において従来よりもずっと高いものである。例えば、2nsパルス、ピークカレント~10Aのビームの中に 10^{11} 個の電子が必要な場合、空間電荷効果により電極に~160kVの高電圧をかけなければならない[4]。しかし、このような高電圧印加は容易に行えるわけではない。GaAs フォトカソードのNEA表面処理のためにCs原子を投入するのであるが、Cs原子はフォトカソードだけでなく電極の他の部分にも付着し、高電圧を印加するとそれが放電の引き金となってしまう。また、量子効率が~0.1%のStrained GaAs フォトカソードから2nsパルス 10^{11} 個の電子を取り出すには~100kWのピークパワーを持つレーザーを照射しなければならず、強力なレーザーの照射は量子効率の低下をもたらすだけでなくフォトカソード自身を劣化してしまう可能性もある。

我々はこうした困難を克服し高偏極度のフォトカソードを生かすために、実用型偏極電子源(NPES-II)の開発に取り組んでいる。装置はほぼ完成しており、現在、超高真空の生成、NEA表面処理、Current引き出し、高電圧印加等のテストを行っている。超高真空は $\sim 10^{-10}$ torrのレベルで、NEA表面処理を行うのに十分な状態を得られるようになった。また、~100kVの高電圧を印加し放電及びピークカレントのチェックを行っている。今後、こうして引き出した偏極電子をMott散乱検出器まで導き偏極度を測定する予定である。

4、おわりに

フォトカソードに関して我々はほぼ満足な偏極度が得られるようになった。今後は特に高い量子効率を目指し開発を続けていく予定である。実用型偏極電子源の開発に関しては、近い将来JLCの入射ライナックの要求する条件に合ったレーザー系、高電圧系で装置を作動させ、最終的にJLCで高偏極電子を加速し興味ある物理データを得ることを目標としている。偏極電子の最初の加速は現在建設中のATF(Acceler

ator Test Facility)で2、3年以内に行われる予定である。

謝辞

本研究を推進するにあたり、様々な指導助言をして下さったKEKの吉岡正和先生、大森恒彦先生、栗原良将先生、竹内康紀先生、総合研究大学院大学の糸賀賢二氏に感謝します。また、フォトカソードの開発にあたり多数の意見をいただいている上智大学理工学部の岸野克巳先生、金子和先生、野村一郎氏に感謝します。

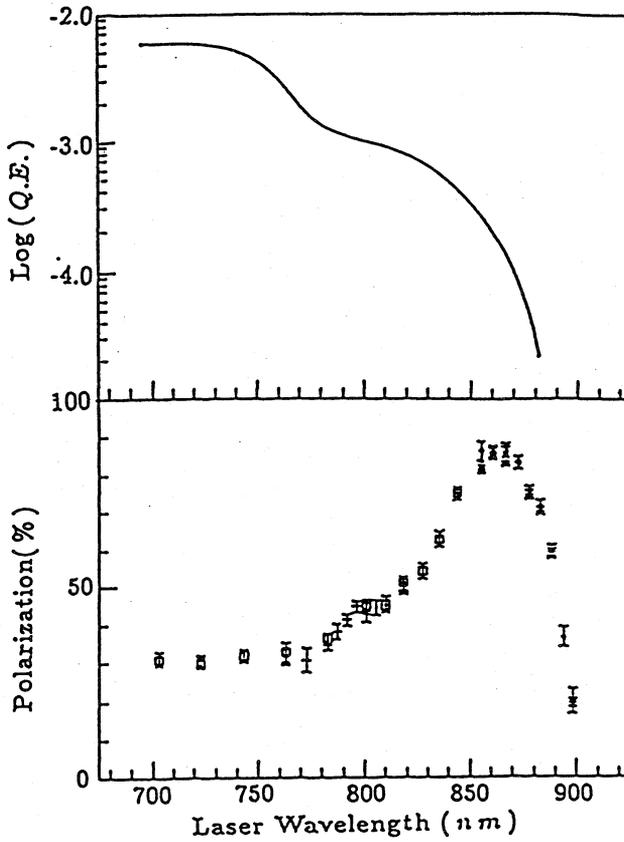


図1 Strained GaAsから取り出した電子の偏極度と量子効率のレーザー波長依存性

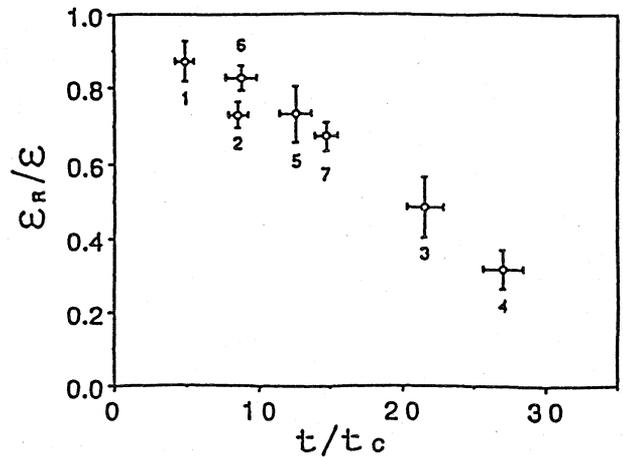


図2 Strained GaAs における ϵ_R/ϵ 対 t/t_c の2次元プロット

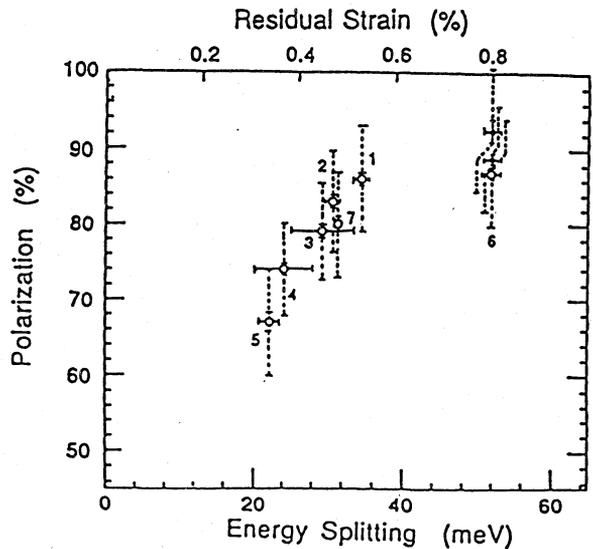


図3 Strained GaAsから取り出した電子の偏極度の残留歪依存性

References

- [1] C. Y. Prescott, et al., Phys. Lett. 77B(1978)347
- [2] T. Nakanishi, H. Aoyagi, H. Horinaka, Y. Kamiya, T. Kato, S. Nakamura, T. Saka and M. Tsubata, Phys. Lett. A158(1991)345-349
- [3] H. Aoyagi, H. Horinaka, Y. Kamiya, T. Kosugoh, T. Kato, S. Nakamura, T. Nakanishi, S. Okumi, T. Saka, M. Tawada and M. Tsubata, Phys. Lett. A167(1992)415-420
- [4] D. Schultz, J. Clendenin, J. Frisch, E. Hoyt, L. Klaisner, M. Woods, D. Wright and M. Zolotarev, SLAC-PUB-5768