

20p-4

## A high polarization and high quantum efficiency photocathode using GaAs-AlGaAs superlattice

Y. Kurihara, T. Omori, Y. Takeuchi, M. Yoshioka  
National Laboratory for High Energy Physics(KEK)  
Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

T. Nakanishi, S. Okumi, M. Tawada, K. Togawa, M. Tsubata  
Nagoya University, Nagoya, Aichi 406, Japan

T. Baba, M. Mizuta  
Fundamental Research Laboratories, NEC Corp.,  
Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

R. Alley, H. Aoyagi\*, J. Clendenin, J. Frisch, G. Mulhollan, P. Saez, D. Schultz,  
H. Tang and K. Witte  
Stanford Linear Accelerator Center,  
Stanford University, Stanford, CA 94309, U.S.A.

\*Present address: Nagoya University, Nagoya, Aichi 406, Japan.

### Abstract

A charge of  $2.3 \times 10^{11}$  electrons in 2.5 ns at a laser wave length of 757 nm with a corresponding quantum efficiency (QE) of 2.0% measured at 752 nm was extracted from a -120 kV biased, 20 mm diameter, GaAs-AlGaAs superlattice photocathode. The maximum electron polarization measured with material from the same wafer but in a different system was 71% at 575 nm for a QE of 1.0% measured at 752 nm. The quantity and temporal distribution of the extracted charge is consistent with a space charge limit rather than a cathode charge limit. The performance of the type of cathode makes it a possible candidate for future linear colliders.

## GaAs-AlGaAs超格子を用いた 高偏極・高量子効率フォトカソード

GaAs-AlGaAs超格子フォトカソードは、50%を越える偏極度を持つ偏極電子源として開発が進められ、現在までに75%の偏極度が達成されている[1]。今回、このフォトカソードを用いてSLACにおいて高パルス電流取り出しに成功したので報告する。

GaAs-AlGaAs超格子の主要な3つのパラメータ(各GaAs層、AlGaAs層の厚さ、及びAlの比率)については、高偏極フォトカソードとしての最適と思われる値を用いた[2]。その値は、Ga層の厚さ1.98 nm (7原子層)、AlGaAs層の厚さ3.11 nm (11原子層)、Alの比率0.35である。超格子層全体の厚さは内部での減偏極を十分小さくおさえるために95 nmとし

た。超格子フォトカソードの構造を図1に示す。

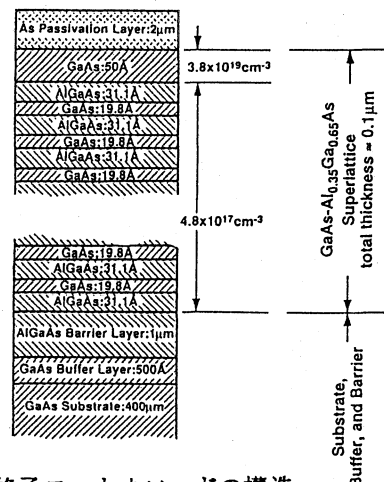


図1 超格子フォトカソードの構造

半導体フォトカソードを設計する上で重要なもう一つの要素にドーピングの量がある。フォトカソードは一般にp-型にドーパされ、超高真空中でセシウムと酸素を交互に蒸着することにより負電子親和表面を形成し、電子を表面より真空中に取り出すことを可能にする。この場合ドーピングの量を増やすことにより、より急峻な伝導帯の曲がりを作り出し、電子が真空中へ飛び出し易い状態にすることができる。一方偏極電子源として考えた場合、半導体内部でのスピンの緩和は室温においては主に電子とホールとの相互作用によって引き起こされるので、ドーピング量を減らすことによって減偏極の確率を減らすことができる。この相反する要求を同時に満たすために、KEK名古屋大学-NECグループは変調ドーピング法を用いたフォトカソードを開発した。つまり、超格子層の内部ではBeドーピングの量を $4.8 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ という低い値におさえ、表面付近の5 nmの厚さの部分は $3.8 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ と言う高い値にした。このことにより、高い偏極度を保ったまま量子効率の改善に成功した[3]。

超格子フォトカソードはMBE法によりNEC基礎研究所において制作された。その表面は制作時には厚いAsで覆われている。これは、作成されたフォトカソードの表面を大気から守るのに重要な役割を果たしている。そのためフォトカソードは長期間大気中に置かれても、性能の劣化は見られなかった。Asは超高真空中で約400度に加熱することにより除去される。作成されたフォトカソードは2つに分割され、それぞれ名古屋大学とSLACとに送られた。名古屋大学では電子の偏極度の測定がおこなわれ、SLACでは大電流引き出しテストが行われた。

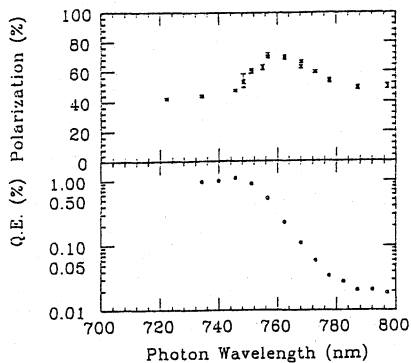


図2 電子の偏極度と量子効率分布。

名古屋大学のモット散乱装置[4]により、励起レーザーの波長は756 nmで電子の偏極度は71%と測定された。この電子銃の引き出し電圧は-4kVで、真空度は $6 \times 10^{-10}$  Torrである。量子効率は励起レーザーの波長756 nm (最大偏極度の点) で0.5%、752 nmので1.0%であった。電子の偏極度と量子効率の励起レーザーの波長依存性を図2に示す。

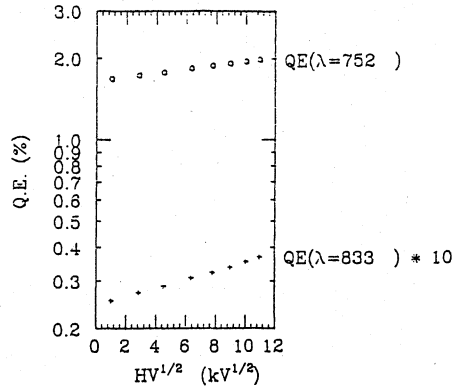


図3 量子効率の引き出し電圧依存性。

大電流引き出しテストはSLACの「Gun Test Laboratory」において行われた。これは、SLC型の電子銃と2mのビームトランスポート、及び60 Hzで2 ns幅の大出力パルスを出せるチタン-サファイアレーザーからなるシステムである。電子銃へのカソードの出し入れは、ロード・ロックシステムを通して内部の真空を破らさずに行うことができる。電子銃の真空度は $2 \times 10^{-11}$  Torrである。

まずCWの低出力レーザを用い、1kVの引き出し電圧での量子効率の測定を行った。その結果、波長752 nmで1.79% (100 μWレーザで100 μWの引き出し電流) が得られた。測定は室温で直径14 mmのレーザー光をカソードの中央に当てて行われた。

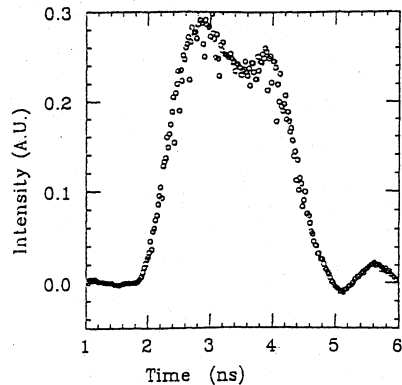


図4 レーザーパルスの時間分布

次に高引き出し電圧下での量子効率の測定を行った。電圧を1kVから120kVまで変化させ、上記レーザーの波長752nmの点で量子効率を測定し、電圧120kVの時に量子効率2.0%を得た。量子効率は図3に示すように引き出し電圧が上がるとともに上がっていくことがわかる。名古屋大学における量子効率の測定値に比べ良いのは、真空度の違いと、ロードロックシステムの採用によるものと思われる。

最後にパルスレーザーによる大電流引き出しテストを行った。レーザーは波長可変なチタンサファイアレーザーを $757 \pm 1.5 \text{ nm}$ にあわせて使用した。レーザーのスポット径は20mmのカソード径全体に照射されるように20mmより大きく調整された。レーザー出力は最大40 $\mu\text{J}$ まで可変である。フォトカソードからの引き出し電流は電子銃のコロナシールド内に置かれた微小電流計により測定された。このシステムの暗電流は25nAであった。

測定された引き出し電荷量を入射レーザー出力の関数として図4(a)にしめす。レーザー出力が約5 $\mu\text{J}$ 以下では電荷量はレーザー出力に比例しているが、それを越えると電子銃の空間電荷制限により頭打ちになり、最大引き出し電荷量としては $2.3 \times 10^{11}$ 電子/パルスが観測された。これはEGUN[5]による計算値とほぼ一致している。

引き出し電荷の時間分布を図5(b)に示す。これは電子銃の1m下流に置かれた高速wall-gap型電流計により測定された。図ではレーザー出力1,3,11,40 $\mu\text{J}$ の場合について示している。電荷パルス幅は2nsから2.5nsでレーザーのパルス幅を反映している。これは後で述べる「カソード電荷制限」が起こっていないことを示している。また総引き出し電荷量が空間電荷制限による上限まで達していることも「カソード電荷制限」が起こっていないことを示している。

最後に「カソード電荷制限」について説明する。これはSLACのグループにより最初に報告されたもので[6]、量子効率がある値よりも低いフォトカソードでは、短パルスレーザーによる総引き出し電荷が銃の空間電荷制限に到達する前にカソード物質の性質により制限されてしまう現象を言う。この現象が起きて

いる時には、引き出し電荷の時間幅が照射されたレーザーの幅よりも狭くなることが観測されている。つまりレーザーパルスの後半が引き出し電荷に寄与しなくなるのである。

「カソード電荷制限」を起こす電荷量はカソードの性質によって異なるが、量子効率の高いカソードほど「カソード電荷制限」による上限値は高く、今回測定した高量子効率のカソードでは空間電荷制限より高いためにそれは観測されなかった。「カソード電荷制限」の存在は、大電流を必要とする将来の線形電子・陽電子衝突型加速器(リニアコライダー)では問題になると思われるので、今回の結果はリニアコライダーにおいて偏極電子ビームを用いた実験を行う上で大変重要なものであるといえる。

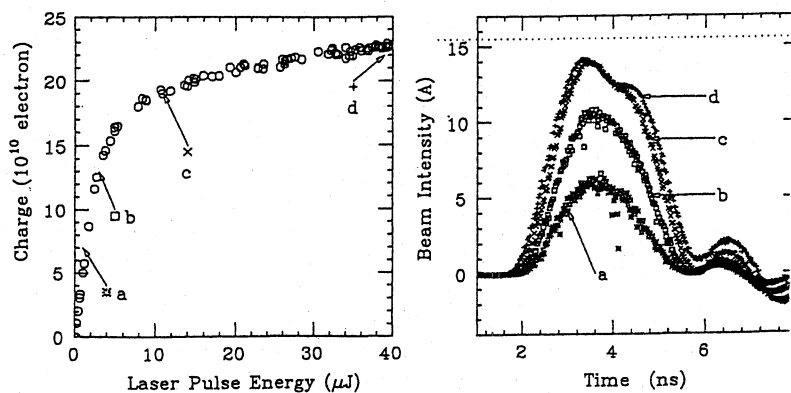


図5(a)電荷の引き出し電圧依存性と(b)時間分布。レーザー出力は1,3,11,39 $\mu\text{J}$ (60Hz)。

#### 参考文献

- [1] Y. Kurihara et al., Nucl. Inst. Meth., A131 (1992)393.
- [2] Y. Kurihara et al., KEK Preprint 90-77 (1990).
- [3] T. Omori et al., *XVth International Conference on High Energy Accelerators*, Int. J. Mod. Phys. A(Proc. Suppl.)2A (1993)157.
- [4] T. Nakanishi et al., Phys. Lett. A158 (1991)345.
- [5] EGUN is a computer code for electron optics and gun design. See W. Herrmannsfeldt, SLAC-331 (1988).
- [6] M. Woods et al., J. Appl. Phys. 73 (1993)8531; and H. Tang et al., "Experimental Studies of the Charge Limit Phenomenon in NEA GaAs Photocathode", SLAC-PUB-6515 (1994), Contribution to the European Particle Accelerator Conference, 27 June-1 July, 1994, London, England.