

# A test to produce the high intensity d.c. beam of polarized electrons using an AlGaAs-GaAs superlattice photocathode at MAMI

Tawada M.<sup>A</sup>, Nakanishi T.<sup>A</sup>, Okumi S.<sup>A</sup>, Nakamura S.<sup>A</sup>, Togawa K.<sup>A</sup>, Takahashi C.<sup>A</sup>, Suzuki T.<sup>A</sup>, Sugo K.<sup>A</sup>, Nakahara K.<sup>A</sup>, Reichert R. E.<sup>B</sup>, Nachatigall Ch.<sup>B</sup>, Hartmann P.<sup>B</sup>, Baba T.<sup>C</sup>, Mizuta M.<sup>C</sup>, Omori T.<sup>D</sup>, Kurihara Y.<sup>D</sup>

<sup>A</sup>Department of Physics, Nagoya University, Nagoya, 464-01, Japan

<sup>B</sup>Institut für Physik der Johannes Gutenberg universität, D-55099 Mainz, Germany

<sup>C</sup>Fundamental Research Laboratory, NEC Corporation, Miyukigaoka 34, Tsukuba-city Ibaraki-ken, 305, Japan

<sup>D</sup>KEK, National Laboratory for High Energy Physics, Oho 1-1, Tsukuba-city, Ibaraki-ken, 305, Japan

## ABSTRACT

We have done a test to produce the high d.c. beam using an AlGaAs-GaAs superlattice photocathode at MAMI. It is required for gas target experiments at Mainz to produce the high d.c. currents such as 100  $\mu\text{A}$  of the polarized electrons, which have not only a high polarization but also a long life time. The maximum polarization of 73.8 % at the laser wavelength of 770 nm and the polarization of 63.7 % with the QE of 1.1 % at 740 nm were observed. The life time was about 6 hours for the extracted currents of 50  $\mu\text{A}$  at 735 nm and this value is nearly same as that of another type of cathode which also has a high quantum efficiency.

## MAMIにおける AlGaAs-GaAs 超格子を用いた直流大電流引き出し試験

### 1 はじめに

マインツ大学は、偏極電子ビームを用いた実験について、すでにいくつかの実績がある。そして最近の計画として、原子核を利用したパリティ非保存の測定実験がある。この実験では、従来より 10 倍強度の強い偏極ビームが求められている。本研究を行った動機はここにある。マインツ大学の MAMI では、偏極電子源で連続ビームを生成し、連続ビームでそのまま加速 (S-band, 3GHz) を行っている。従って、加速位相にのれなかった電子は失われてしまい、電子銃で生成した電荷量のうち 15 % 程度しか、ターゲットまで移送することができない。

一方、マイクロトロン加速器の性質のため、偏極電子銃から取り出されるビームエミッタンスは、 $1 \pi$  mm-mrad より小さくなければならない。そのため、偏極電子銃のカソード上におけるレーザースポットの大きさは 0.125 mm (FWHM) 以下である必要がある。

例えば、ガスターゲット実験のためには、出す電流値も 100  $\mu\text{A}$  と SLC の約 50 倍と非常に大きな値であり、また、カソードの電流密度でも、200 mA/cm<sup>2</sup> と大きな値である。これは、負電子親和力 (NEA) を

用いて電子を真空中へ放出する GaAs 型の偏極電子源にとって、非常に厳しい条件となる。マインツ大学におけるこれまでの実験から、フォトカソードの寿命が引き出し電流値に依存していること、そして、引き出し電流値に対して、指数関数的に寿命が短くなっていることが分かっている。

現在ターゲットでの電流値を増やすために、マインツ大学において 2 つの方法での試みがなされている。一つは、数ピコから数百ピコ秒程度の超短パルスレーザーを 3GHz と非常に速い繰り返して発振させ、これを用いて、偏極電子銃から非常に短いパルス幅のビームを取り出し、加速途中での移送効率を上げる方法である [1][2]。もう一つは、高い量子効率を持った結晶を用いて、大きな電流を引き出したときでも長い寿命をもった結晶の開発する方法である。

我々は、後者の試みとして、量子効率の高い AlGaAs-GaAs 超格子を用いて、大電流を引き出す実験を行った。これは、量子効率が高ければ、結晶に対する条件も、その分緩和されると考えたためである。実験は、マインツ大学において、既に、実際に加速器への偏極電子を入射するために利用されている偏極電子銃を用いて行った。さらに、超格子カソード結晶か

ら取り出された大電流のビームを 800 MeV まで加速する実験についても行った。この実験で得られた結果について報告する。

## 2 結晶サンプルと実験

今回の実験で用いたサンプルの  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As-GaAs}$  ( $x=0.35$ ) 超格子結晶 [3] は NEC 基礎研究所の Molecular Beam Epitaxy 装置により作製した。AlGaAs、GaAs の各層の厚さは、それぞれ、70.8 Å、19.8 Å、全厚は約 0.1 μm である。表面の 110 Å 分だけ、 $5.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  のドーピングを行い、その他の内部の部分については、 $5.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  のドーピングを行っている。結晶サンプルの表面には、大気からの保護のために砒素を 1 μm 程度つけてある。超格子は、この砒素による保護膜のために、結晶成長後、大気にさらしても、安定で、良い NEA 表面をつくることができていると考えている。

マインツ大学の偏極電子源装置は、-100kV の triode 型の偏極電子銃 [4]、ロードロックシステム [5]、スピン偏向装置、モット偏極度測定装置 [6] より構成されている。砒素保護膜を、ロードロック装置内で加熱洗浄により (400 °C, 1 時間) により取り除いた後、室温にて微量のセシウムと酸素を付加し、負電子親和力状態をつくる。負電子親和力状態のできた結晶をロードロック装置から、電子銃の電極にセットし電圧を印加する。電子を引き出していないとき、電子銃の結晶付近の真空度は約  $1.5 \times 10^{-11}$  mbar 程度である。また、この実験では引き出した偏極電子をさらに 800 MeV まで加速した。

## 3 実験結果

### 3.1 偏極度と量子効率

偏極度と量子効率の測定結果を図 1 に示す。波長 770 nm で最大偏極度 73.8 % を、そして、波長 740 nm において、偏極度 63.5 % で量子効率 1.1 % をそれぞれ得られた。これは、従来から、用いられてきた  $\text{In}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{P}$  ( $x=0.5$ ) 結晶での結果 (偏極度 52 % で量子効率 1.3 %) と比べて、良い結果である [5]。また、加熱洗浄の温度を 400 °C から、450 °C に上げて行うことにより、偏極度は、全体的に、3%程度向上した。

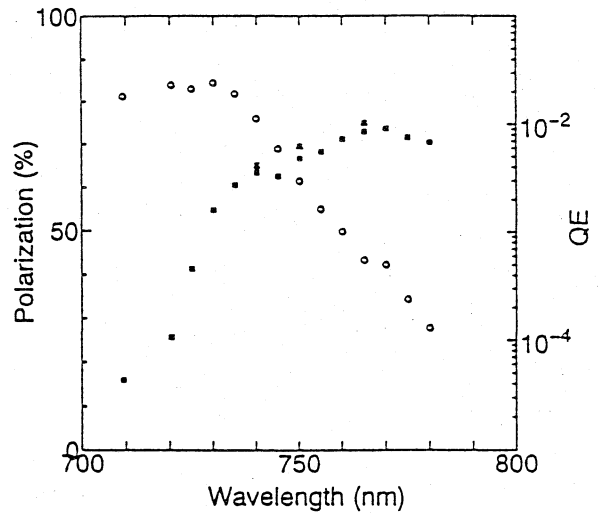


図 1、波長に対する偏極度(●)と量子効率(○)の測定結果

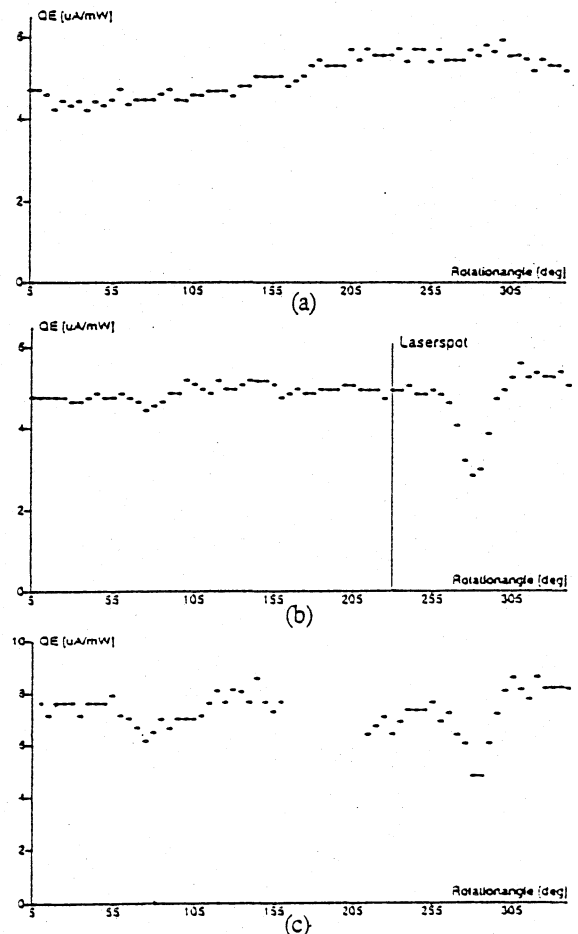


図 2、結晶の量子効率に関する一様性の測定結果それぞれ、(a)寿命試験前、(b)寿命試験後、(c)寿命試験の後に再度加熱洗浄し、負電子親和力状態作成後の測定結果

### 3.2 量子効率のNEA表面における一様性

マインツ大学の偏極電子源では、レーザースポットを電子銃の中心より約3 mm程度離れたところに合わせてあるため、結晶を電子銃の中心軸に対して回転させることにより、レーザーを当てる場所を変えて、偏極度、量子効率の測定をすることが可能である。図2の(a), (b), (c)に量子効率の場所依存性のデータを示す。横軸は、結晶を回転させた角度である。寿命試験を行う前には、ほぼ一様であった(図2の(a))が、寿命試験後には、レーザーが当たっていた場所だけがダメージを受けて、ディップ状の量子効率の落ち込みができていくことが分かる(図2の(b))。寿命試験後、再度加熱洗浄を行い、全体的に量子効率が6割程度向上したにもかかわらず、ディップは残っていた(図2の(c))。

### 3.3 大電流を引き出す場合の寿命試験

寿命試験は、波長 735 nm で連続直流電流 50  $\mu$ A を電子銃より引き出した条件にて行った。実験では、電流が一定となるようにレーザーパワーを上げていくことで、測定を行っている。量子効率の代わりに(引き出し電流/レーザーパワー)を図3に示す。寿命( $\tau_e$ )は約6時間程度だった。この値は、InGaP結晶を用いた場合の結果( $\tau_e=4.5\sim 7.1$ 時間)とはほぼ同じ値であった。

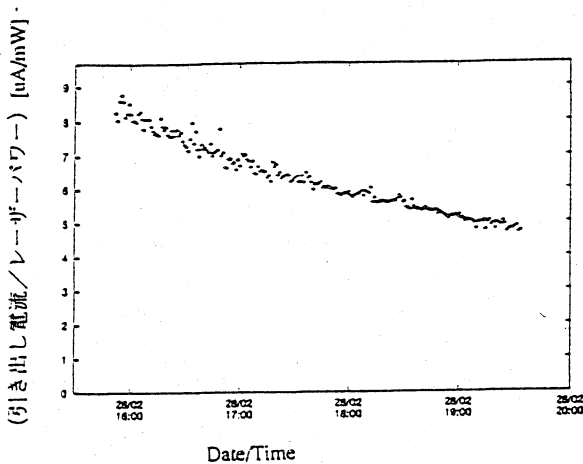


図3、寿命試験の測定結果

## 4 まとめ

超格子結晶は、従来から用いられてきたInGaP結晶に比べて、量子効率は同程度ながら、偏極度では、

より高い値が得られた。大電流を引き出した際の超格子結晶の寿命は、InGaP結晶の場合とはほぼ同じであった。また、量子効率のディップに関しては、今回は、そこまで上げなかったが、InGaP結晶では、550 °Cから600 °C程度の加熱洗浄温度で、ディップ構造は回復しており、超格子でも加熱洗浄温度をさらに、上げることで、ディップ状の落ち込みを回復することができると考えている。

我々は、フォトカソードから大強度の偏極電子ビームを引き出した際における寿命を長くするための研究が、今後、より重要になってくると考えており、さらに、寿命が長く、より偏極度の高い結晶の開発を進めていく予定である。

## 参考文献

- [1] P. Hartmann, *et. al.* : Picosecond Polarized Electron Bunches from a Strained Layer GaAsP Photocathode to be published in Nucl. Instr. Meth..
- [2] J. Hoffman, *et. al.* : Selfstarting Modelocked Ti:Sapphire Laser at a Repetition Rate of 1.039GHz. to be published in Nucl. Instr. Meth..
- [3] T. Omori, Y. Kurihara, K. Itoga, Y. Takeuchi, M. Yoshioka, T. Nakanishi, H. Aoyagi, M. Tsubata, S. Nakamura, T. Baba and M. Mizuta: Int. J. Mod. Phys. A(Proc. Suppl) 2A (1993) 157.
- [4] K. Aulenbacher: Diplomarbeit, Institut für Physik der Johannes Gutenberg universität, D-55099 Mainz, Germany, 1988.
- [5] Ch. Nachatigall: Ph. D Thesis, Institut für Physik der Johannes Gutenberg universität, D-55099 Mainz, Germany, 1995.
- [6] K. H. Steffens, H. G. Andersen, K. Aulenbacher, E. Reichert: *Frontiers of high energy spin physics*, ed T. Hasegawa, N. Horikawa, A. Msaïke, S. Sawada (Universal Academy Press, Inc., 1992) p.839.