

20-P6

A NEW-TYPE PHOTOCATHODE FOR POLARIZED ELECTRON SOURCE WITH DISTRIBUTED BRAGG REFLECTOR

Mitsuru TSUBATA, Tsutomu NAKANISHI, Shoji OKUMI, Chikako TAKAHASHI, Yasunori TANIMOTO,
Masafumi TAWADA, Kazuaki TOGAWA, Hideki AOYAGI, Shinsuke NAKAMURA

Department of Physics, Nagoya University, Nagoya 464, Japan

Takashi SAKA, Toshihiro KATO

New Materials Research Laboratory, Daido Steel Co.2-30, Daido-cho, Minami-ku, Nagoya 457, Japan

Katsumi KISHINO

Department of Electrical & Electronics Engineering, Sophia University, Chiyoda-ku, Tokyo 102, Japan

Hiromichi HORINAKA

College of Engineering, University of Osaka Prefecture, Sakai 593, Japan

ABSTRACT

In order to increase the quantum efficiency of the strained GaAs photocathode for the highly polarized electron source, we designed a new type photocathode with a distributed Bragg reflector (DBR). A Fabry-Perot cavity is formed by the DBR and the GaAs surface. The large enhancement of quantum efficiency was observed at the laser wavelength which satisfied the condition for the resonant absorption of incident laser light. From this experiment, it becomes promising to make the photocathode which has the quantum efficiency more than ~1% together with the electron spin polarization higher than 80%.

ブラッグ反射鏡を用いた高性能偏極電子源

偏極電子ビームは磁場でビームの軌道を曲げることがほとんど無い線形加速器での使用に適している。高エネルギー実験における偏極電子源の利用は1970年代後半のスタンフォード線形加速器センター (SLAC) での中性弱相互作用におけるパリティの破れの確認が最初であった。最近ではSLCにおけるZ₀ボソン生成断面積左右非対称度測定によるWeinberg-angle精密測定に使用された。

現在SLCはじめ高エネルギー加速器に用いられている偏極電子源はすべてGaAs型偏極電子源である。GaAs半導体からの偏極電子の引き出しは1975年にZürich工科大学で世界で最初に成功し、その後高エネルギーから物性にいたる広い分野での実験に応用されるようになった。

ところがGaAsをフォトカソードとして使用した場合、電子のスピンの偏極度が原理的に最大でも50%に抑えられてしまうという弱点があった。GaAs型偏極電子源が実用化されて以来、50%の

壁を破るフォトカソードの開発が続けられてきた。

1991年に我々名古屋グループが開発した「歪ませたGaAs (最大偏極度86%)」^{1, 2)}、KEK-名古屋-NECグループが開発した「AlGaAs-GaAs超格子 (最大偏極度72%)」³⁾、SLACグループが開発した「歪ませたInGaAs (最大偏極度72%)」の3種類のフォトカソードによってこの壁が破られた。特に名古屋グループの開発した「歪ませたGaAs」は偏極度が高く、既にSLACでの実験に実用化されるなど新しい標準カソードになりつつある。

しかし「歪ませたGaAs」は歪みの緩和を防ぐために、薄くしなくてはならず、かつ光の吸収率が普通のGaAsと比べて悪いので、どうしても量子効率が低くなってしまふ。バルクGaAsの量子効率が3~10%あるのに対し、「歪ませたGaAs」では偏極度が最も高くなる波長で0.1~0.3%である。

「量子効率の低さはレーザーのパワーを上げて補えば良い」というのは簡

便であるが、レーザーのパワー密度を上げるとNEA表面の寿命劣化が予想されそう単純なものでもない。またJapan Linear Colliderへの応用のようにマルチバンチ(55~90)で高いピーク電流(1.5×10^{10} /バンチ)の偏極電子ビームを、比較的高いくり返し(50~150Hz)でしかもバンチ毎のビーム強度のふらつきを1%以内に抑えて生成することを求められるような場合、これに対応できるレーザーを開発することは容易ではないと言われている。必要なレーザー光の出力を小さく抑えられれば光源の開発にかかる負担を軽減できることは明らかである。

GaAsから偏極電子を得る過程は(1)固体であるGaAsに円偏光レーザーを照射すると、価電子帯の電子が光子を吸収して、伝導帯に偏極した電子が励起される。

(2)伝導帯電子が結晶内部から表面まで移動する。

(3)結晶表面から真空中へ電子が飛び出す。

という3つのプロセスで構成され、量子効率はいずれの3つのプロセスの確率の積として与えられる。

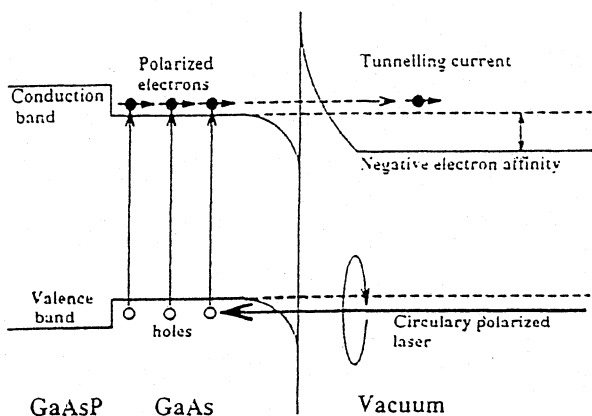


図-1 Strained GaAs フォトカソードの原理

これまで量子効率を上げる試みは、(3)の表面をクリーンにし、結晶から真空へ飛び出してくる確率を上げることのみが強調されていたが、我々は新しい観点として(1)の今まで無駄に透過させていたレーザー光を再利用することを考えた。原理は図2のように多層ブラッグ反射鏡(DBR)を用いて

透過光を反射させるものである。

表面のGaAsと真空との境界は両者の屈折率の差から反射率~30%の鏡として働く。ブラッグ反射鏡と表面の2つの平行反射鏡の間に光の吸収体を挟む構造になっており、光学ではFabry-Pérot cavityと呼ばれているものである。2つの鏡の間の光学的距離が「往復の光路長が入射光の波長の整数倍」になったとき共鳴吸収が起こり、鏡の間にあるGaAsに吸収される確率が高くなる。これにより励起される電子の数が増えることになる。

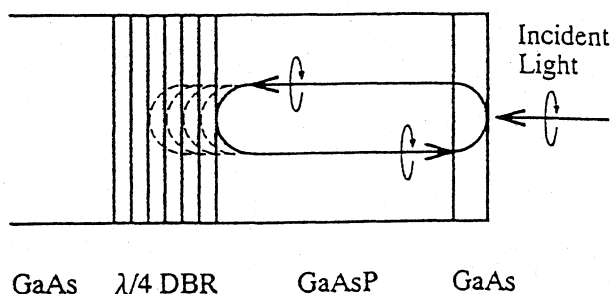


図-2 Bragg 反射鏡を付けたフォトカソードの構造と動作を示す概念図

大事なポイントはもとの入射光によって励起された電子のスピント、ブラッグ反射鏡および表面で反射された光によって励起された電子のスピントが一致することである。そうでないと量子効率は上がっても偏極度が下がってしまう。円偏光は反射される毎にそのヘリシティを変えるが、電子が真空へ飛び出していく表面の方向に対して、量子化軸も変わる(光の進行方向が変わる)ので、2つの変化がキャンセルして励起された電子のスピンの向きは結果的に同じになるからである。

なお、この手法は「歪ませたGaAs」とどまらず、「超格子」等の他のフォトカソードにも応用可能である。

作成した試料の反射スペクトルを図3に示す。また~3φのレーザー光を用いて実測した量子効率を図4に示す。量子効率に現れた3つの顕著な山は反射スペクトルの谷の部分と一致し、ここで強い共鳴吸収が起こったことを証明している。

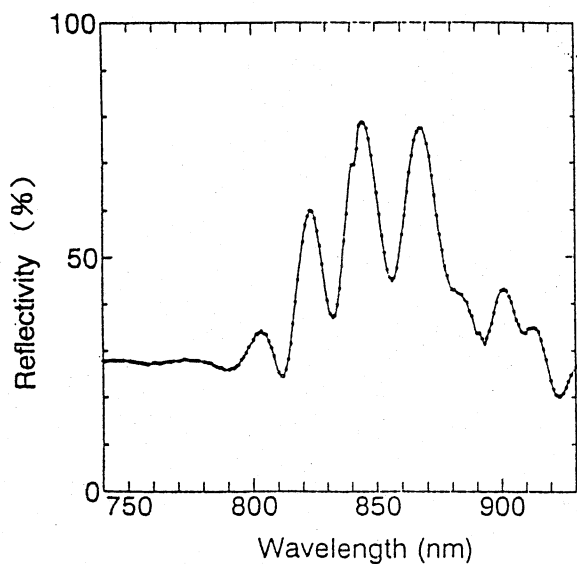


図-3 フォトカソードからの反射率スペクトル

きた。シフトの原因は、今回の試料のGaAsP層のリンの混晶比が設計では17%であったが実際には12%になってしまっていて表面のGaAs層の歪みが設計より小さくなってしまったからである。

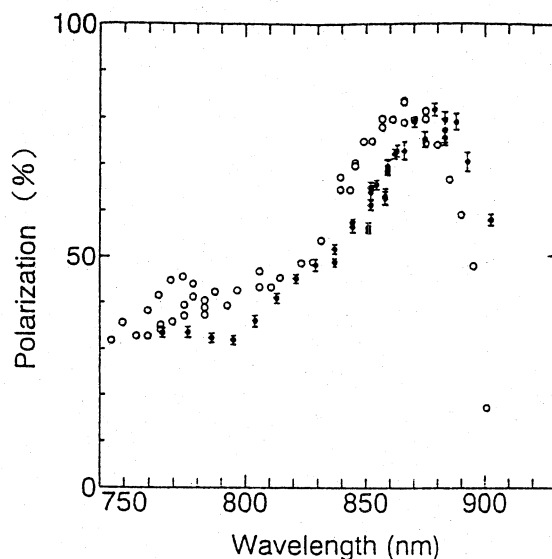


図-5 電子スピン偏極度スペクトル
 黒丸(●) : Bragg反射鏡付きのフォトカソード
 白丸(○) : Bragg反射鏡無し of フォトカソード

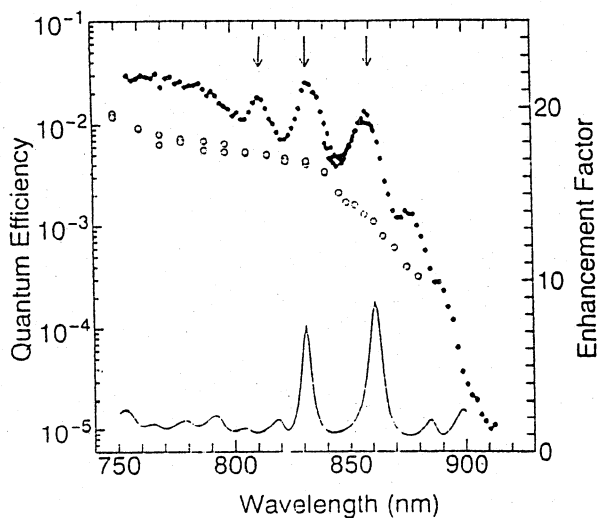


図-4 量子効率スペクトル
 黒丸(●) : Bragg反射鏡付きのフォトカソード
 白丸(○) : Bragg反射鏡無し of フォトカソード
 実線(-) : シミュレーション計算によるエンハンス因子

この試料によりエンハンスのピークで量子効率 $\sim 1.3\%$ の従来の約10倍という良好な結果が得られ、我々が開発した「ブラッグ反射鏡付きフォトカソード」の有効性が証明された。この結果は既に論文にまとめてある⁴⁾。共鳴吸収による量子効率のピークの波長と偏極度のピークの波長を一致させ偏極度の向上を狙った試料を現在テストしている。

実測した偏極度のスペクトルを図5に示す。全体的に波長が $\sim 10\text{nm}$ シフトしているが、最大偏極度は $\sim 80\%$ でDBRによる減偏極が無いことが確認で

- 1) T. Nakanishi et al.
Phys. Lett. A518(1991) 345-349
- 2) H. Aoyagi et al.
Phys. Lett. A167(1992) 415-420
- 3) T. Omori et al.
Phys. Rev. Lett. 67(1991) 3294-3297
- 4) T. Saka et al.
Japan. Jour. Appl. Phys. vol. 32 (1993) 1837-1840