

20-P7

Highly Polarized Electron Source by Using Strained-Layer Superlattice

M.Tawada*, T.Omori, Y.Kurihara, Y.Takeuchi, M.Yoshioka, K.Nishitani***, T.Nakanishi*, S.Okumi*, H.Aoyagi*, S.Nakamura*, M.Tsubata*, K.Togawa*, Y.Tanimoto*, C.Takahashi*, T.Baba**, and M.Mizuta**

KEK, National Laboratory for High Energy Physics

Oho 1-1, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305

*Faculty of Science, Nagoya University

Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-shi, Aichi-ken, 406

**Fundamental Research Laboratories,

NEC Corp, Miyukigaoka 34, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305

ABSTRACT

We have studied the polarization of photoemission from an $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As-GaAs}$ strained-layer superlattice. The polarization of $82.7 \pm 0.3(\text{stat.}) \pm 6.1(\text{sys.})\%$ was observed at laser wavelength of from 911nm to 916nm at room temperature. The quantum efficiency at wavelength of 911nm was measured to be about 0.015% in the vacuum of $6 \cdot 10^{-10}$ Torr with cathode high voltage of -4kV.

歪み超格子による偏極電子源

1. はじめに

これまで偏極度については、SLAC、名古屋、KEKがそれぞれ独自のタイプのGaAs型フォトカソードにより50%を越えるブレイクスルーをなしとげてきた。高エネルギー実験におけるその有用性についてはSLCの実験等からも明らかである。

フォトカソード型偏極電子源を次世代の加速器として計画されているJLC (Japan Linear Collider)⁽¹⁾に用いる上で、偏極度の高さとともに、取り出せる電流値の大きさも重要な要件の一つである。これに関してSLCの実験では、2.5nsのバルスビームにおいて、「全電荷制限効果」と言われる現象が発見され新たな問題となっている。これはカソード自身の性質によって引き出し電流値が電子銃のもつ空間電荷効果の制限値より低い値に制限されてしまい、必要な電流値を得ることができないものである。しかも全電荷制限効果による制限値はカソードの量子効率に大きく依存していることが分かっている。この現象は大電流のバルス列を取り出す必要のある将来のJLC等のリ

ニアコライダーでは、現在のSLCよりさらに深刻な問題であり、この克服なくしてはJLCでの偏極電子源の実用は困難である。

ところが、KEK-名古屋-NECが開発したGaAs-ALGaAs超格子をSLAC-日本の共同研究の一環としてSLACにもちこんで行った最近の実験では、この全電荷制限効果は見られず、SLC偏極電子銃の持つ空間電荷制限効果までの電流値を引き出すことができた⁽²⁾。このときの量子効率は2%と高偏極フォトカソードとしては非常に高い値が得られている。現在までのところ、このGaAs-ALGaAs超格子はJLCの要求する大電流を取り出せる可能性を示した唯一のものである。しかし偏極度という点では、超格子で得られている値は今のところ70%程度と低く「歪みを加えたGaAs結晶⁽³⁾」の偏極度に及んでいない。従って超格子の高量子効率、大電荷取り出しという性質を保ったままでの、偏極度の向上は今後大電流バルスビームを必要とするJLCに用いる上で、重要である。

最近、我々偏極電子源グループでは、超格子構造にさらに歪みを加えることにより、超格子の偏

極度を向上をさせることに成功した⁽³⁾。歪みを加えることで、歪みによる縮退の分離効果をさらに利用することができる。これによって「歪みのかかっていない超格子」で偏極度が低い原因と考えられている価電子帯における軽いホールと重いホールとの、面内運動量が0でない場合における、高次の混合を分離をすることができると思われる。この歪み超格子により、高い偏極度とJLCにとって十分な電流値の得られるフォトカソードの開発が期待できる。この歪み超格子についての試験結果について報告する。

2、サンプル

今回のInGaAs-GaAs歪み超格子を選んだ理由は、歪み超格子のなかでもっとも研究されている組み合わせであり、成長ノウハウが良く知られているためである。

サンプルのIn_{0.15}Ga_{0.85}As-GaAs歪み超格子結晶はNEC基礎研究所のMBE(Molecular Beam Epitaxy)装置により作製した。サンプルの構造を図1に示す。

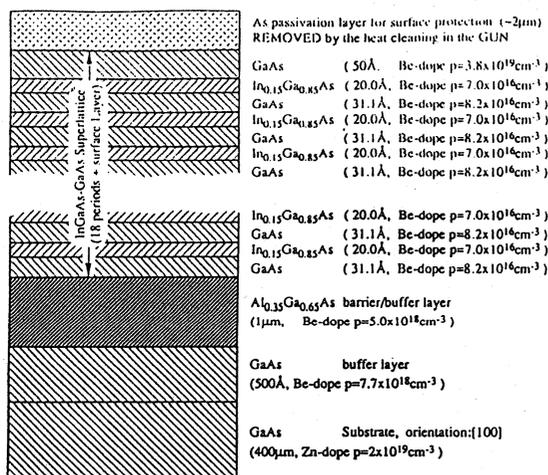


図1、歪み超格子結晶の構造。

In_{0.15}Ga_{0.85}As-GaAs歪み超格子の場合には、InGaAsにだけに歪みがかかるように設計され、伝導帯の電子とヘビーホールに対してはInGaAsが井戸層、ライトホールに対してはGaAsが井戸層となっている。インジウムの割合により決まる歪みの大きさは、結晶の質を悪くしない程度の適度な歪みがかかり、ライトホールとヘビーホールが十分に分離が可能な値として15%の混合比を選んだ。歪みの

大きさは1.06%と計算された。InGaAs、GaAsそれぞれの各層の厚さは、歪みのかかり方からくる制約とこれまでAlGaAs-GaAs超格子での経験をもとに決めている。歪み超格子層の全厚は、超格子との比較のためAlGaAs-GaAs超格子でもっとも多く経験している0.1μmとした。この程度の厚さなら電子が真空中に出てくるまでの拡散過程にでの減偏極の影響が少ないと考えている。ドーピング濃度などはこれまで超格子で量子効率の良かったものと同じパラメータとし、表面の50ÅのGaAs層のみ高密度の3.9x10¹⁹cm⁻³で他の部分は7.8x10¹⁶cm⁻³としてある。表面には大気からの保護のためにAsを1ミクロンつけてある。

このサンプルについての、ヘビーホールとライトホール間のband splittingはG.Bastardの文献⁽⁴⁾の(12)-(14)式を用いて計算した。その結果band splittingは約30meVである。図2にこのサンプルについてのバンド構造についての計算結果を示す。

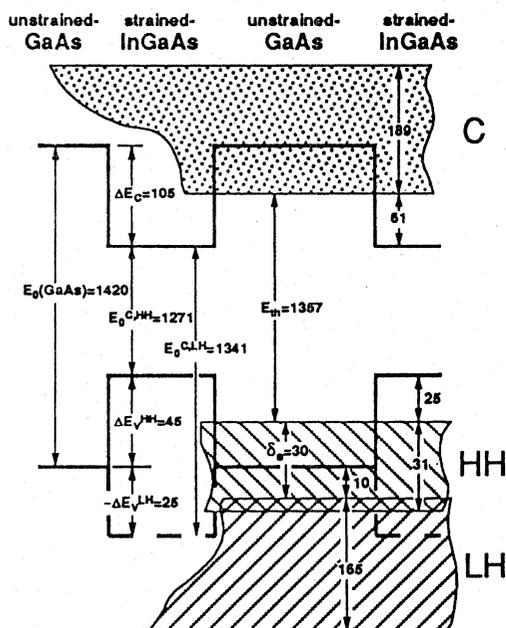


図2、バンドの構造

3、測定と結果

偏極度と量子効率は、名古屋大学の偏極度測定装置を用いて測定した。結晶は超高真空中において400℃で30分間加熱して保護のAsをとばした後、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。結晶には4kV印加して電子を引き出している。引き出した電子を100kVまで

加速し、金原子核とのモット散乱を用いて偏極度を測定をおこなう。偏極度測定は室温にて行っている。偏極度測定中には100nA程度の電流値を引き出している。また測定中の結晶近傍の真空度はおよそ 6×10^{-10} Torrであった。偏極度の測定結果を図3に示す。

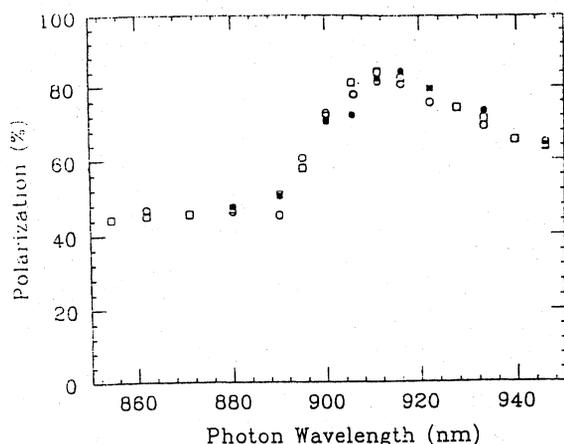


図3、波長と偏極度の関係の測定結果

波長911nmにおいて偏極度 $82.7 \pm 0.3(\text{stat.}) \pm 6.1(\text{sys.})\%$ 、量子効率0.015%の値を得た。偏極度に関しては歪みをかけていない超格子に比べて大きく向上することができた。しかし量子効率に関しては歪みをかけていない超格子のうち最高のものの結果と比べてより一桁低い値であった。

4、まとめ

「歪み超格子」フォトカソードを偏極度電子源として、初めて作りテストした。「歪み超格子」により、偏極度については「歪みのない超格子」の70%に比べて、大幅に向上することができ、偏極度82.7%を得ることができた。しかし残念ながら量子効率は今回のサンプルでは0.015%と低い値であった。何故量子効率が低かったかについては、正確には理解はできていないが、理由としては、表面が障壁層であったこと、表面と内部でアクセプター濃度が異なりすぎたために、表面近傍でフェルミレベルのバンプをつくっているなどが考えられている。

しかし上述の事柄を調整することによって量子効率の向上をはかることは可能であると考えられ、歪み超格子は高偏極度、高量子効率、大電流取り出し可能なフォトカソードの有力候補であると思

われる。

参考文献

- (1)JLC Group: KEK-Report 92-16 (1992)
- (2)Y.Kurihara et al.;
Proc.5th Int. Workshop
Next Generation Linear Colliders,
Stanford, 1993, (SLAC, SLAC-Report, 1994)
本研究会において詳しく報告されるので
詳細は省く。
Y.Kurihara et al.;
"High polarization and
high quantum efficiency photocathode
using GaAs-AlGaAs superlattice"
- (3)T.Nakanisi et al.; Phys. Lett. A158(1991)345
H.Aoyagi et al.; Phys. Lett. A167(1992)415
- (4)T.Omori et al.
"Highly Polarized Electron Source
by Using InGaAs-GaAs Strained-Layer
Superlattice"
To be published in Jpn. J. Appl. Phys. letter
KEK Preprint 94-39, DPNU-94-15
- (5)G.Bastard
Phys. Rev., B24, 5693, (1981)
- (6)S.H. Pan et al.
Phys. Rev. B38 (1988), 3375
- (7)S. Adachi, Properties
of Aluminum Gallium Arsenide,
INSPEC/IEE, London