

Large Enhancement of Spin Polarization Observed by Photoelectron from AlGaAs-GaAs Superlattice and from Strained GaAs

K. Itoga, Y. Kurihara^A, T. Omori^A, Y. Takeuchi^A, M. Yoshioka^A, T. Furuya^A,
T. Nakanishi^B, H. Aoyagi^B, M. Tsubata^B, H. Baba^C, M. Mizuta^C, H. Horinaka^D,
Y. Kamiya^E, T. Kato^F, T. Saka^F

The Graduate University for Advanced Studies, Oho 1-1, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken 305, Japan

^AKEK, National Lab. for High Energy Physics, Oho 1-1, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken 305, Japan

^BDepartment of Physics, Nagoya Univ., Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464, Japan

^CFundamental Research Lab., NEC Corp., 34 Miyukigaoka, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken 305, Japan

^DCollege of Engineering, Univ. of Osaka Prefecture, 4-804 Mozu-Umemachi, Osaka-shi, Osaka-fu 591, Japan

^EToyota Tech. INst., 2-12 Hisakata, Tenpaku-ku, Nagoya-shi, Aichi-ken 468, Japan

^FNew Material Res. Lab., Daido Steel Co. Ltd., 2-3- Daido-cho, Minami-ku, Nagoya-shi, Aichi-ken 457, Japan

Abstract

We have developed two types of photoelectron source with highly spin polarized electrons. One is a NEA photocathode of $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As-GaAs}$ superlattice grown by the MBE method. The maximum polarization of $71.2 \pm 1.1(\text{stat.}) \pm 6.1(\text{sys.})\%$ was obtained at a photon wavelength of 802nm at room temperature.

The other is a NEA photocathode of strained GaAs layer grown on $\text{GaP}_{0.17}\text{As}_{0.83}$ base layer by the MOCVD method. The maximum polarization of $85.5 \pm 1.1(\text{stat.}) \pm 6.3(\text{sys.})\%$ was obtained at a photon wavelength of 860nm at room temperature.

AlGaAs-GaAs 超格子と Strained GaAs による高偏極度電子の発生

1. はじめに

スピン偏極電子源は J L C (Japan Linear Collider)¹⁾等のリニアコライダーの電子源として開発されることが望まれている^{2), 3)}。我々は高偏極度を得るために、AlGaAs-GaAs 超格子及びstrained GaAs からの Photoemission を利用する方法を開発している。

従来の GaAs を Photocathode として用いる限り偏極度は 50% が限界である。その原因は価電子帯のエネルギーバンドが縮退しているためである。そして、この縮退を解く方法として超格子あるいはカルコパイライト結晶等が提案された。しかしつい最近まで偏極度が 50% を越えるデータは報告されたことがなかった^{4), 5)}。

前回の本研究会で、我々は最近の進んだ MBE (Molecular Beam Epitaxy) 技術で作られた AlGaAs-GaAs 超格子を用い偏極度 55% という値を報告した。今回、超格子の厚さを薄くすることによってさらに 71.2% という高い偏極度を得ることができた。

またもう一つの方法である MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 法で製作された Strained GaAs では、85.5% の偏極度が得られた。これは現在の世界最高記録である。

2. 実験装置

実験装置を図1に示す。装置はおおまかにレーザー部、電子銃部、偏極度測定部の3つに分けられる。円偏光源は Ar^+ レーザーで励起する Ti:Sapphire レーザーを用いる。このレーザーの波長は 700-900nm の範囲で可変であり、偏極度が最大になるよう波長を選択することができる。電子銃部は 1.1×10^{-9} Torr の真空度で、カソード表面を NEA (Negative Electron Affinity) にするための Cs dispenser と O_2 導入用のポートが取り付けられている。偏極度の測定には金の原子核による Mott 散乱が用いられ、後方の $\pm 120^\circ$ に弾性散乱されてくる電子の個数を計数し、左右の非対称度から偏極度を算出する。

3. AlGaAs-GaAs 超格子

超格子は $520^\circ C$ の温度で GaAs 基板に MBE により生成される。GaAs 基板に平らな表面にするために 500Å のバッファ層を積み、基板からの電子を取り出さないための AlGaAs 障壁層を $1\mu m$ 積む。その上に GaAs 19.8Å, AlGaAs 31.1Å の超格子を 1000Å 積む。この結果、理論的には Heavy-hole と Light-hole は 44meV のバンド分離が起こり、室温の熱雑音 26meV より大きくなるはずである。また超格子内の減偏極を小さくする意味で、前回に比べ超格子の厚さを 4分の1にしている。最上層の As は超格子の表面を大気に晒さないためのものであり、電子銃に装着後は加熱して飛ばす。基板の GaAs 以外のすべての GaAs, AlGaAs には NEA 状態にしやすくするために Be をドーピングしてある。

図2に偏極度のレーザー波長依存性を示す。偏極度は 40% レベルの波長領域(700-740nm)から 70% レベルの波長領域(780-800nm)へステップアップしているように見える。これは長波長側が Heavy-hole からだけの寄与に対し、短波長側は Heavy-hole と Light-hole の2つのバンドから電子が励起されているので偏極度が低くなっているからである。最大偏極度は波長 802nm に対して 71.2 ± 1.1 (stat.) ± 6.1 (sys.)% であり、この時の量子効率は 2.7×10^{-6} であった⁶⁾。

4. Strained GaAs

GaAs 基板に $2\mu m$ の GaPAs を MOCVD 法で成長させる。さらに GaPAs 上に GaAs 800Å 積み上げる。表面の GaAs は GaPAs との格子不整合により歪を受け、縮退した価電子帯のバンドの分離を起こす。P (リン) の割合 0.17 に対し格子不整合は 0.6% であり、計算上バンドの分離は 40meV 程度と予想される。図3に偏極度のレーザー波長依存性を示す。860nm で偏極度 85.5% のピークは縮退の解けた Heavy-hole からの電子だけを励起した結果である。このピークより波長が短くなると Light-hole からの励起も起こり偏極度は落ちる。800nm で肩を作っているがここまでが GaAs 薄膜の寄与である。さらに波長を短くすると GaPAs からの電子が寄与して、偏極度はさらに落ちていく。

図4にレーザーの波長に対する量子効率を示す。800nm の肩を境に短波長側で量子効率が立ち上がるのは GaPAs からの寄与によるものであり、長波長側は GaAs からの量子効率である。これは偏極度のレーザー波長依存性の結果と一致している。最大偏極度は 860nm の波長に対し 85.5 ± 1.1 (stat.) ± 6.3 (sys.)% で、量子効率は 4×10^{-4} であった⁷⁾。

参考文献

- 1) Proceedings of 2nd Workshop on Japan Linear Collider, KEK, Nov. 6-8, 1990
- 2) M. Peskin, talk given at the 2nd Workshop on Japan Linear Collider
- 3) T. Omori, et al., "Physics on the Z pole", Proceedings of the 2nd Workshop on JLC
- 4) F. Ciccacci et al., Appl. Phys. Lett. 55(16), 1686(1989)
- 5) R. Houdre et al., Phys. Rev. Lett. 55(7), 734(1985)
- 6) T. Omori, et al., KEK Preprint 90-190/DPNU-91-12 (to be published in Phys. Rev. Lett.)
- 7) T. Nakanishi, et al., DPNU-91-03 (to be published in Phys. Lett. A)

表 1. AlGaAs-GaAs 超格子の構造

| |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| As ($\sim 2\mu\text{m}$, for surface passivation) |
| Be-doped AlGaAs-GaAs Superlattice ($0.1\mu\text{m}$) |
| Be-GaAs (19.8Å: 7 monolayers, $p=6.2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$) |
| Be-Al _{0.35} Ga _{0.65} As (31.1Å: 11 monolayers, $p=4.0 \times 10^{18}/\text{cm}^3$) |
| Be-doped Al _{0.35} Ga _{0.65} As ($1\mu\text{m}$, $p=5.0 \times 10^{18}/\text{cm}^3$, for barrier) |
| Be-doped GaAs buffer layer (500Å, $p=7.7 \times 10^{18}/\text{cm}^3$) |
| Zn-doped GaAs Substrate ($400\mu\text{m}$, $p=2.0 \times 10^{19}/\text{cm}^3$, orientation:(100)) |

表 2. Strained GaAs の構造

| |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Zn-doped GaAs ($t=800\text{Å}$, $p \geq 5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$) |
| Zn-doped GaP _x As _{1-x} ($x=0.17 \pm 0.01$) |
| ($t=2\mu\text{m}$, $p \geq 5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$) |
| Zn-doped GaAs Substrate ($t=350\mu\text{m}$, $p \geq 5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$, Orientation:(100)) |

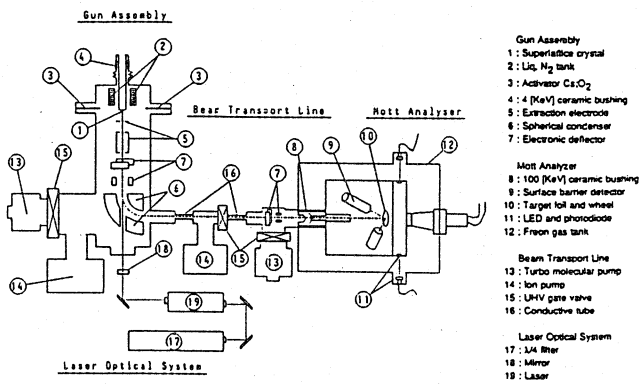


図 1. 実験装置

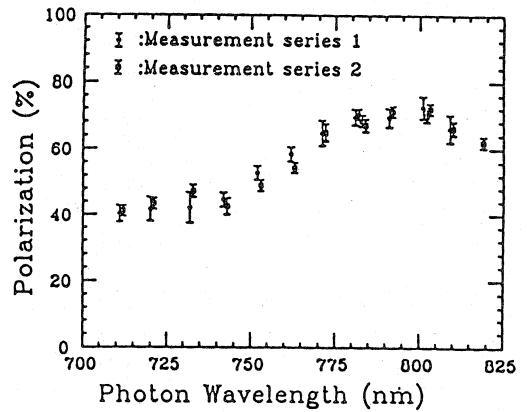


図 2. 超格子の偏極度のレーザー波長依存性のグラフ

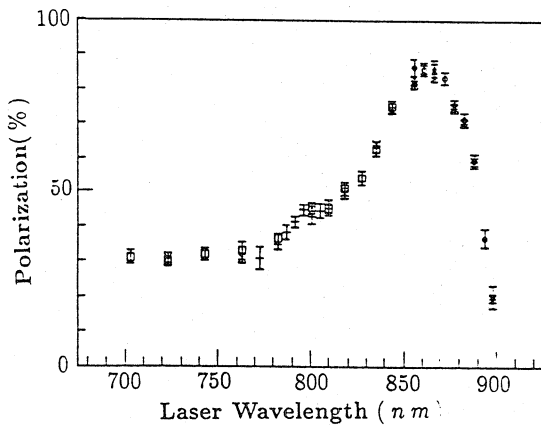


図 3. Strained GaAs の偏極度のレーザー波長依存性のグラフ

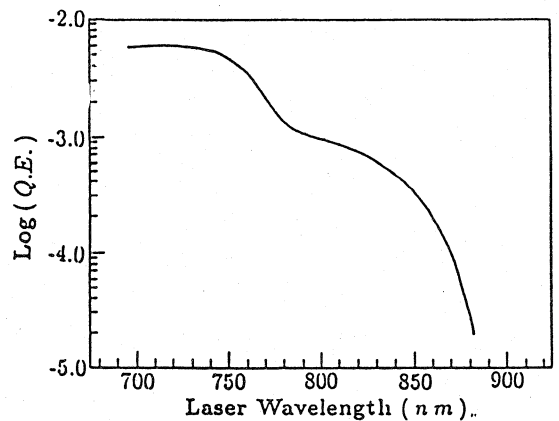


図 4. Strained GaAs の量子効率のレーザー波長依存性のグラフ