

# Development of highly polarized electron source by using GaAs-AlGaAs superlattice

K. ITOGA, Y. KURIHARA, T. OMORI, Y. TAKEUCHI, T. FURUYA  
M. YOSHIOKA, T. NAKANISHI\*, H. AOYAGI\*, M. TSUBATA\*,  
T. BABA\*\* and M. MIZUTA\*\*

KEK, National Laboratory for High Energy Physics,  
Oho 1-1, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken 305, Japan

\*Faculty of Science, Nagoya University

Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464, Japan

\*\*Fundamental Research Laboratories, NEC Corp.

Miyukigaoka 34, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken 305, Japan

## Abstract

We are developing a polarized electron source based on photoemission of electrons from GaAs-AlGaAs superlattice for the JLC (Japan Linear Collider). We have calculated optimum thickness to get high polarization. The photoluminescence of the superlattice which is fabricated by MBE (molecular beam epitaxy) is observed. After the heat treatment at 400°C for the activation, there is no damage to the structure of the superlattice.

## 1. はじめに

偏極電子とはビームとして取り出される時、電子のスピンがある一方向に揃った電子のことである。我々は JLC (Japan Linear Collider) の電子銃として、これを開発している。偏極電子は field emission 或はアルカリ金属の photoionization 等からも作り出せるが、短パルスで大電流の偏極電子ビームを得るには GaAs 等の半導体からの photoemission が最も適している。これは円偏光レーザーを用いて valence band  $P_{3/2}$  から conduction band  $S_{1/2}$  への遷移を起こさせることにより、偏極電子を作り出すものである。

図 1 (a) は GaAs のエネルギー準位を表している。円偏光させたレーザーを用いて電子に対し  $P_{3/2}$  から  $S_{1/2}$  の遷移のみ起こさせることができる。しかし、このエネルギー準位には 2 つの電子のスピン成分が縮退している。そしてこの 2 つの状態の遷移確率は Clebsch-Gordan 係数により決まる。実線がスピン UP となる遷移を表しており、 $m_j = -3/2$  からの遷移が  $m_j = -1/2$  からの遷移より 3 倍大きい。Polarization は次式から上限が 50 % となり、この値は実験でも得られている<sup>1)</sup>。

$$P \equiv (n \uparrow - n \downarrow) / (n \uparrow + n \downarrow) = (3 - 1) / (3 + 1) = 0.5$$

Polarization をさらに上げるためには、 $P_{3/2}$  に見られるエネルギー準位の縮退を解かなければならない(図 1 (b) 参照)。この方法として GaAs と AlGaAs の超格子 (Superlattice) が考えられ、原理的には 100 % の polarization を得ることも可能である。

しかし、過去の実験からは 50 % を越える polarization は得られていない<sup>2),3)</sup>。理由は出来た偏極電子が AlGaAs によるポテンシャルのバリアーを越えて出てくる時に偏極が失われること、バリアーを越えて出

てくるために電流値が小さいこと、電流値を上げるためにレーザーのエネルギーを上げると偏極度が小さくなることによる。

我々は、過去の実験の失敗は、超格子の各々の層の厚さが厚すぎたためであると考え、最近のさらに進歩した超格子作製技術を利用して、高い偏極度を持つ電子源に取り組むことにした。

## 2. 超格子の最適化

異種類の半導体の薄膜を交互に何層も積み重ねたものを超格子と言う。層の厚さが 100 Å 以下となると伝導電子の量子力学的波長と超格子の周期が同程度になる。

GaAs と AlGaAs の超格子では電子および正孔ともに GaAs 層内に閉じ込められる (図 2 参照)。この場合 GaAs が井戸層、AlGaAs が障壁層となる。両層が共に 50 Å 以下になると、障壁層の両側の電子や正孔が互いに影響を及ぼし合い、conduction band や valence band のエネルギー準位に幅が出来てくる。これをミニバンドと呼ぶ。

このようにして出来たエネルギー準位のうちエネルギー格差の小さい conduction band と valence band の間で遷移を起こす。ミニバンドのエネルギー準位は井戸層、障壁層の厚さに依存し、両層の厚さが 20 Å 程度に薄くなると heavy hole と light hole のエネルギー準位がほとんど重なってしまう (図 3 参照)<sup>4)</sup>。

また、各層の厚さは電子の透過確率にも影響を与える。不確定性原理から両層の厚さと透過確率を示したのが図 4 である。薄い方が透過確率が高くなる。点線は、常温および液体窒素温度において、熱雑音とエネルギー格差が等しくなる点である。

我々はエネルギーバンドの分離と透過確率から GaAs 21 Å、AlGaAs 24 Å を最適値として選んだ。

## 3. 表面活性化実験

偏極した電子を取り出すには GaAs の表面を NEA (Negative Electron Affinity) 表面とし、準位を真空中の準位より下げる必要がある。このため Cs と O<sub>2</sub> を交互に GaAs の表面に付着させる。

図 5 に示すように各層共に 15 Å であるような超格子を製作し、活性化を行った。真空容器はベーキングを 150°C で 24 時間行い圧力は  $4 \times 10^{-10}$  torr である。保護用のキャップとして用いた As 層を蒸発させた後、Cs と O<sub>2</sub> を導入し、NEA-活性化を行う。今回の実験で、波長 633 nm の光に対して 12% の量子効率を得た。量子効率は残留ガス等の影響で劣化するが、400°C の温度で 10 分程度ヒートクリーニングすることにより回復させることができた。

活性化の実験を行った後に、photoluminescence により超格子構造が破壊されていないことを確認した。図 6 に活性化実験の前後において観測したスペクトルを示す。現在は Mott 散乱によりビーム偏極度の測定を行っているところである。

### 参考文献

- 1) T. Maruyama et al., Appl. Phys. Lett. 55(16), 1686(1989)
- 2) F. Ciccacci et al., Appl. Phys. Lett. 54(7), 632(1989)
- 3) R. Houdre et al., Phys. Rev. Lett. 55(7), 734(1985)
- 4) G. Bastard, Phys. Rev. B12, 5693(1981)

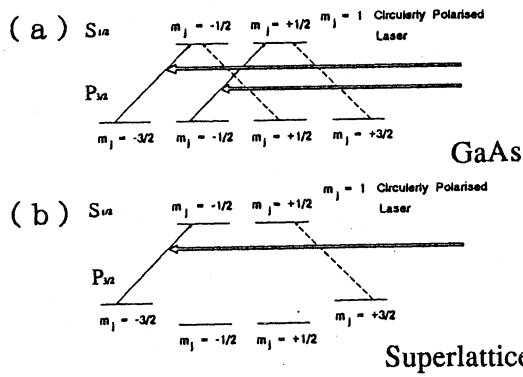


図 1. 偏極の原理

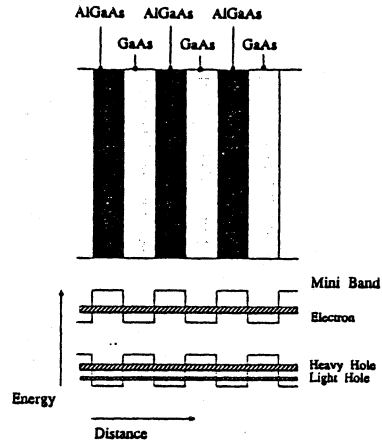


図 2. 模式的な超格子のエネルギー準位

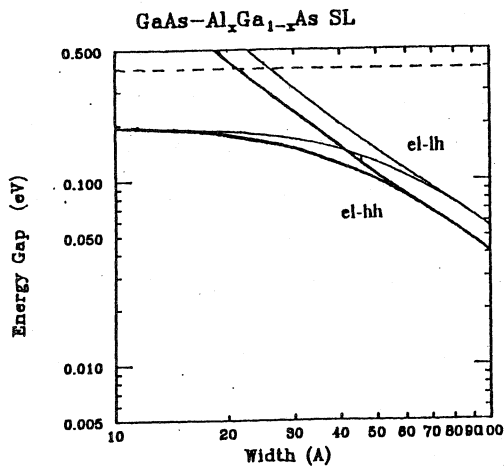


図 3. 超格子の周期とエネルギー準位

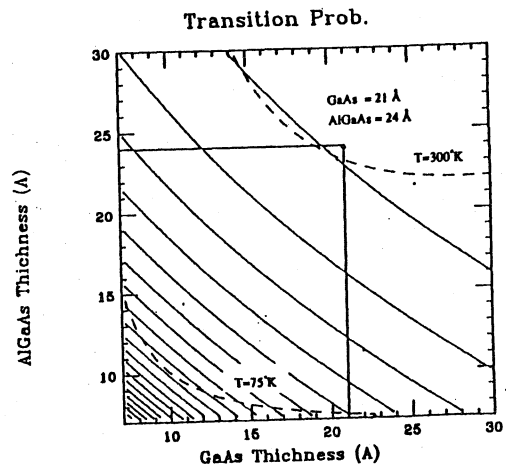


図 4. GaAsとAlGaAsの厚さと透過確率の等高線

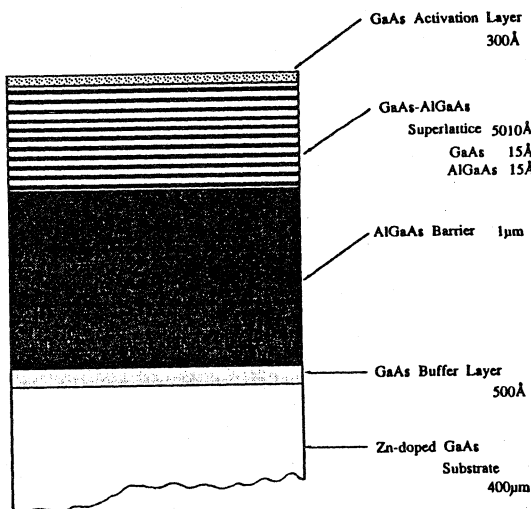


図 5. 試作した超格子の構造

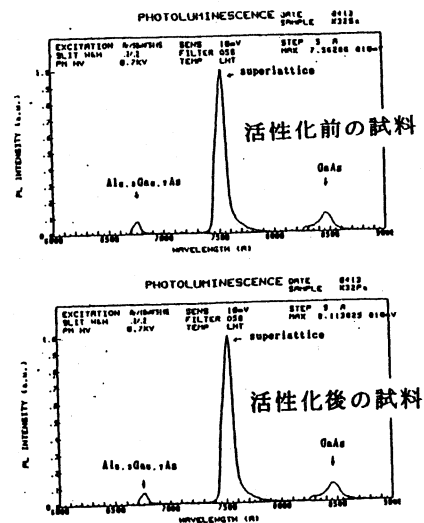


図 6. photoluminescence による超格子のスペクトル