

6. GaAs 単結晶からのスピン偏極電子線の生成

山 崎 利 之

【序論】

我々の研究室ではスピン偏極電子線を用いた散乱実験を目的とした実験を行っている。1970年代の半ば以降、様々な偏極電子線源の開発が行われてきたが、現在、GaAs 単結晶からの光励起による手法が主流となっている。

これは、GaAs 単結晶を用いた偏極電子線源 (GaAs-PES) がビーム強度、偏極度、スピンの向きの反転の容易さ、安定性、装置の製作及び操作の難易度などの観点から、他の方法と比較して総合的に優れていると言えるためである。

【原理】

GaAs-PES は半導体の価電子帯のスピン軌道相互作用による分離を利用していること、伝導電子の電子親和性を負にして真空中に取り出す技術 (Negative Electron Affinity) とからなる。

GaAs は直接遷移型の半導体で図1のようなバンド構造を持つ。Γ点付近でp軌道型価電子帯はスピン軌道相互作用によりΓ₈ (4重縮退したj=3/2状態)とΓ₇ (2重縮退したj=1/2状態)とに分離している。(Δ=0.34eV) 今、Γ₈ からΓ₆ (2重縮退したj=1/2状態)への遷移のみ起こせるようなエネルギー ($E_g \leq E \leq E_g + \Delta$: E_g =バンド・ギャップ・エネルギー)を持つ左ネジ円偏光を照射すると↑スピンと↓スピンの電子数比が1:3となる。

これより電子のスピン偏極度

$$P = \frac{n_{\uparrow} - n_{\downarrow}}{n_{\uparrow} + n_{\downarrow}} = -50\%$$

となる。

伝導帯に励起された電子を真空中に取り出す為には、伝導帯の底のある電子のエネルギーレベルと真空レベルの差に相当するエネルギーを要する。

しかし、光のエネルギーで補うことは|P3/2>状態のみを選択的に励起する偏極原理に矛盾することになる。

このためエネルギーギャップ (Electron Affinityと呼ぶ) を負 (Negative) にする手段がNEA表面処理である。これは、GaAs表面にCsを蒸着し仕事関数を低下させ、電子親和力を負にした後微量のO₂を吸着することで表面を安定させる手法である。

【装置】

- ・実験は超高真空中 (U.H.V)で行うため、ターボ分子ポンプとイオンポンプを用い、250~350℃でベーキングを行い $\sim 10^{-10}$ Torr台の真空を得ている。
- ・GaAsはMo製のホルダーヘッドに取り付けられトランスファーロードを介して、前

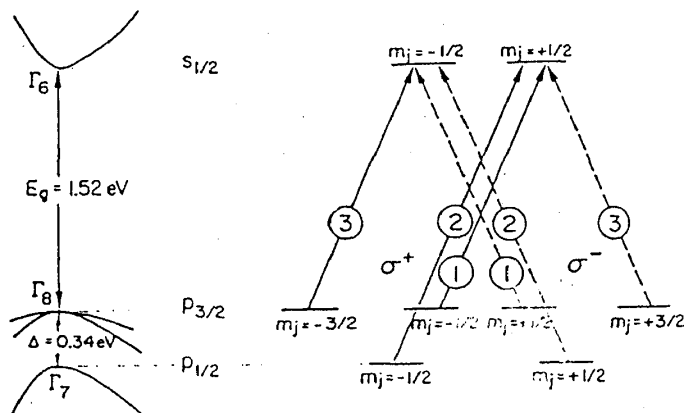


図1

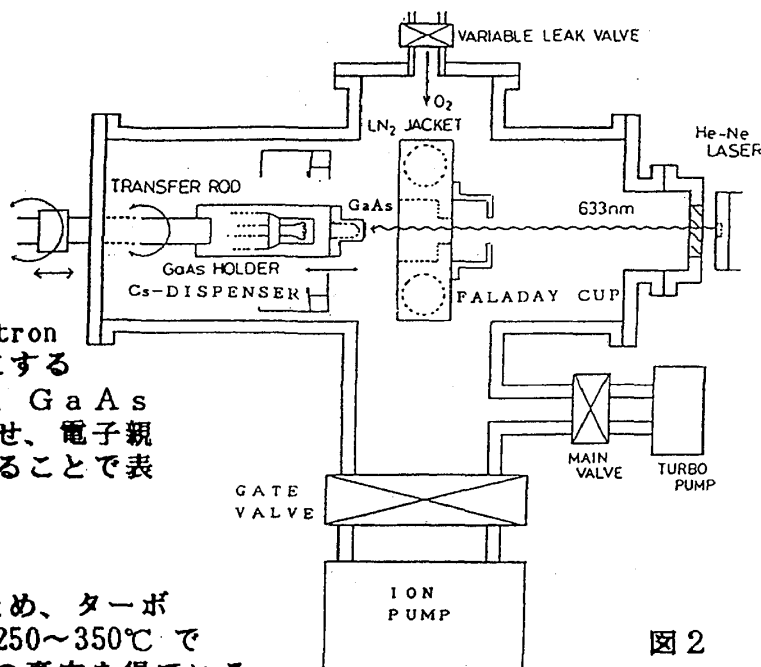


図2

後及び回転させることができる。

- ・ホルダー内に電子衝撃用のフィラメントと熱電対が内蔵されている。
- ・CsはCsディスペンサー (SEAS製) に通電することで真空中に放出される。
- ・O₂ はバリアブル・リーク・バルブより極微量導入できる。
- ・光源は以前、He-Neレーザー ($\lambda = 633\text{nm}$) を用いていたが、現在はGaAlAsレーザー ($\lambda = 780\text{nm}$) に変更した。

【実験】

GaAsはUHV槽に組み込む前に、表面を清浄にするためケミカル・エッチングを行う。主にトリクロロエチレンの煮沸による残留炭素の除去と、王水により数 μm にわたって新しい表面を露出させる。その後、過酸化水素水に長時間浸し、強制的に酸化膜を作り、表面を保護する。GaAsを組み込んだ後、 $\sim 10^{-10}\text{Torr}$ まで排気を行う。電子衝撃法によるヒートクリーニングにより、清浄表面を露出させ、CsとO₂を極微量付着させながら、光を照射する。光電子電流を観測しながらCsとO₂の量を調節し、電流を安定させる。

【結果】

昨年までの実験では、多少条件が異なるものの ~ 10 数 μA の電流値が得られていたが、安定度の点で問題があった。光電子電流の強度及び安定度は、レーザー光の安定性が充分確保されたならば、NEA表面の状態による。

ホルダーの改良や、Csディスペンサーの位置の変更などで数十分のオーダーから数時間へと飛躍的な向上がみられた。

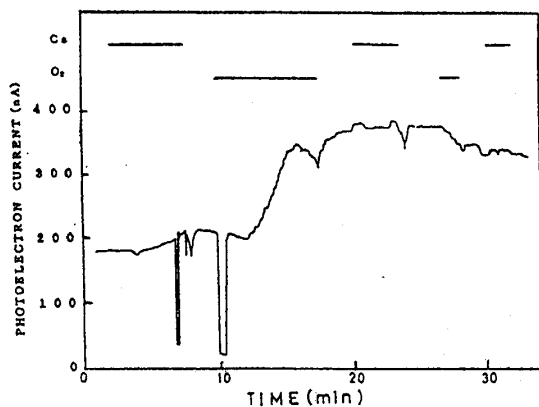


図3

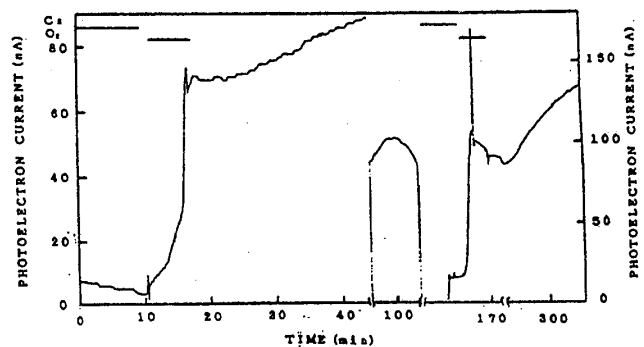


図4

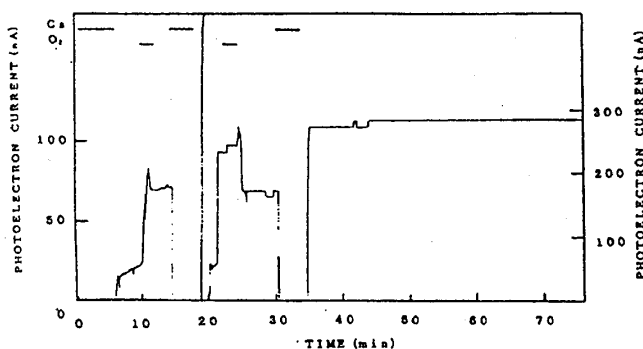


図5

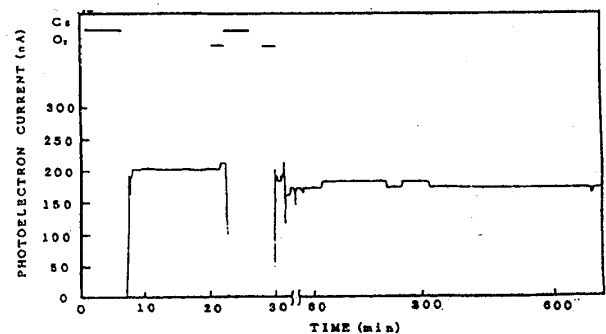


図6

References:

R.Feder「POLARIZED ELECTRONS IN SURFACE PHYSICS」

(World Scientific.Singapore.1985)

J.Kessler「POLARIZED ELECTRON」(Springer,Berlin,2nd ed.1985)