

GaAs を用いたスピン偏極電子線源の製作

中村(信)研究室 大澤 央

1. 目的

多価イオンと固体表面の相互作用において発生する 2 次電子のスピンに関する研究は少ない。我々の研究室では、高価数多価イオンを照射した際に生じる 2 次電子のスピン偏極度を測定するため、Mott 型スピン分析器を製作した。

そのスピン分析器の性能評価・校正を行うため、スピン偏極電子線源を製作した。

2. 原理

スピンが特定の方向に揃った電子線をスピン偏極電子線と呼ぶ。[1] スピン偏極電子線源は、ヒ化ガリウム(GaAs)の価電子が円偏光を吸収して伝導帯に励起する際の選択則を利用したものが主流であり、我々のグループでもこの方法を採用した。

GaAs のバンド構造を図 1 に示す。GaAs の価電子帯はスピン軌道相互作用により $P_{3/2}$ と $P_{1/2}$ に分裂

しているため、1.43~1.77 eV のエネルギーのレーザーを当てると $P_{3/2}$ からのみ励起が起こる。この

レーザーを右回り円偏光させると $m_j = -\frac{3}{2}$, $m_j = -\frac{1}{2}$ からの励起が 3 : 1 の割合で起こる。偏極度 P は

$$P = \frac{N_{\uparrow} - N_{\downarrow}}{N_{\uparrow} + N_{\downarrow}}$$

で定義されるため、GaAs を用いた偏極電子線源では理論上 50%の偏極度が得られる。ここで N_{\uparrow} , N_{\downarrow} はそれぞれ上向きスピン, 下向きスピンの数である。

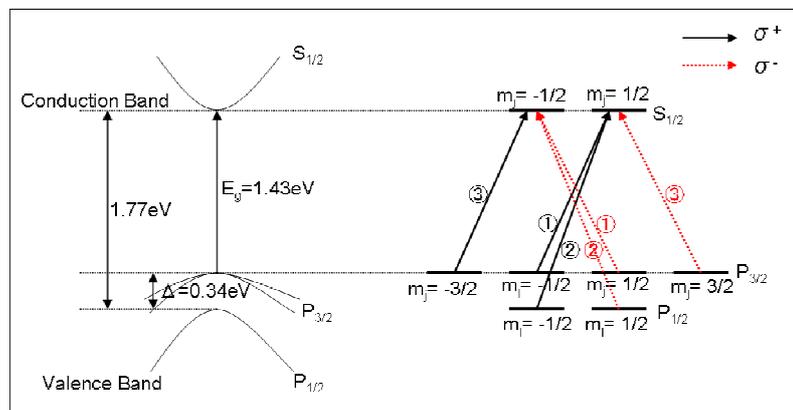


図 1: GaAs のバンド構造

半導体の伝導帯の底のエネルギー準位は真空準位より低いため、そのままでは伝導帯に励起された電子を真空中に真空中に取り出す事はできないが、GaAs単結晶の清浄表面にごく微量のセシウムと酸素を付着させると真空準位が下がり、適当な条件下では伝導帯より低くなる。これを負の電子親和性(Negative Electron Affinity; NEA)状態と言う。図 2 に NEA の概念図を示す。

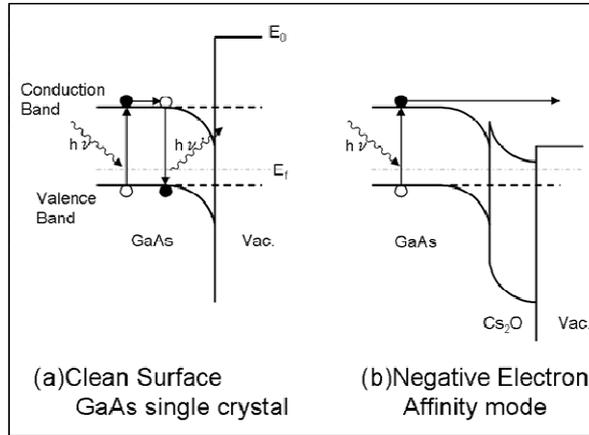


図 2: NEA 表面

偏極度測定には、吸収電流法を使用した。吸収電流は入射電子と放出電子の電流の差で定義される。入射電子のエネルギーが増えると放出電子の数が増えるため入射エネルギーに伴って吸収電流は減少し、吸収電流が 0 となる入射エネルギー E_0 が存在する。スピン軌道相互作用によりスピンの向きによって E_0 に差が生じることを利用して、偏極度は、次式から求めることができる。

$$P = \frac{E_0(+P) - E_0(-P)}{\Delta}$$

Δ は偏極度 100% の上向きスピンに対する E_0 と下向きスピンに対する E_0 の差である。[2] 図 3 に、入射エネルギーと吸収電流の関係を示す。

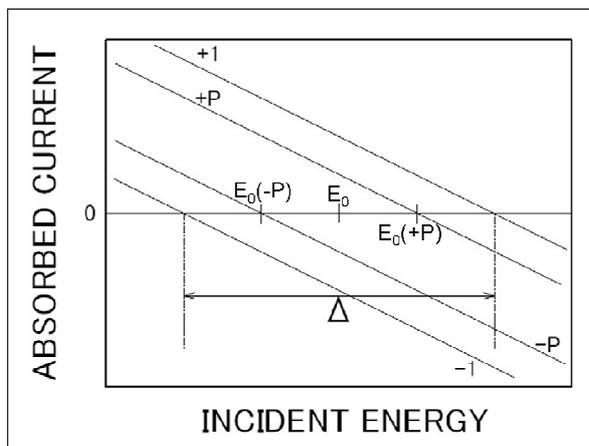


図 3: 入射エネルギーと吸収電流の関係

3. 実験

図 4 に実験装置図を示す.

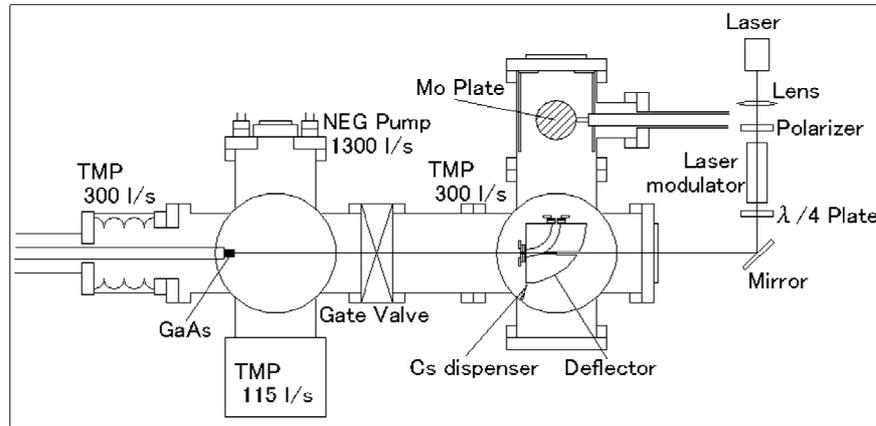


図 4: 偏極電子線源装置図

我々の装置では、約 1×10^{-7} Pa の超高真空中でアニーリングすることによって GaAs の清浄表面を得ている。真空槽内にセシウムと酸素を注入することで GaAs 清浄表面にセシウムと酸素を付着させて NEA 表面を作り、そこに偏光子と $\lambda/4$ 板を用いて円偏光にしたレーザーを照射し、偏極電子を放射させる。放射された電子を静電偏向器によって方向を 90° 曲げ、金蒸着したモリブデン板に入射させて吸収電流を検出した。

右回り円偏光と左回り円偏光、それぞれを照射したときの吸収電流が 0 となる点 E_0 を測定し、偏極度 P を求めた。

4. 結果

測定結果を表 1 に示す。

表 1: 偏極度測定結果

モリブデン板角度	20°	25°	30°
P [%]	14.3	13	13.5

検出器(モリブデン板)は回転するようになっているため、 20° 、 25° 、 30° と角度を変え、それぞれの角度において偏極度を測定した。

表に示したように、我々の装置では約 13% の偏極度が得られたが、理論値である 50% や過去の装置の実績(27%) [1] からは大きく離れている。偏極度が悪い理由として、以下のことが考えられる。

- ・ 円偏光の不完全性
- ・ 検出器(モリブデン板)の表面状態
- ・ GaAs 清浄表面にセシウムや酸素を付着させたことによるスピンへの影響

5. 今後の展望

今回の測定では円偏向を作った後にミラーを使用しているため、そこで円偏光が歪んでいることが考えられる。真空層へ光を入れる直前に $\lambda/4$ 板を配置し、偏極度の再測定を行いたい。

6. 参考文献

[1] 古橋治修士論文”Production and Detection of Spin Polarized Electrons from a Cleaved GaAs (110) Surface”(1995)

[2] D.T.Pierce et al., Rev. Sci. Instrum. 52 (1981) 1437