

GaAs 型スピン偏極電子線源の開発

山田千樫研究室 石黒雄介

1 背景・目的

多価イオンと磁性体表面の相互作用の研究において、磁性体から発生する偏極電子の観測に Mott 型スピン分析器を用いる。本研究室ではすでに Mott 型スピン分析器を製作しており、その性能評価及び較正を必要としている。したがって、本研究では偏極電子を用いた Mott 型スピン分析器の性能評価・較正を目的としてスピン偏極電子線源の開発を行う。

2 原理

電子には磁気モーメントを伴ったスピンがあることは良く知られている。このスピンの向きを揃えた電子線をスピン偏極電子線と呼ぶ。現在は GaAs(砒化ガリウム) を用いて偏極電子を取り出す方法が主流であり、我々もこの方法を採用した。図 1 に GaAs のバンド構造及び磁気副準位を示す。図 1 のように GaAs は伝導帯の底と価電子帯の頂点が Γ 点に位置する、直接遷移型の半導体である。価電子帯は、スピン軌道相互作用によって $P_{3/2}$ と $P_{1/2}$ に分裂する。右回りの円偏光レーザー(エネルギー: 1.43 ~ 1.77 eV、波長: 約 700 ~ 860 nm) を照射したとすると、 $m_j = -3/2$ と $m_j = -1/2$ からのみ電子の励起が起こる。 $m_j = -3/2$ と $m_j = -1/2$ からの電子の励起の遷移確率は 3:1 と異なるため電子は偏極する。上向きに偏極した電子の数と下向きに偏極した電子の数をそれぞれ N_{\uparrow} 、 N_{\downarrow} とすると、偏極度 P は次のように定義される。

$$P = \frac{N_{\uparrow} - N_{\downarrow}}{N_{\uparrow} + N_{\downarrow}} \quad (1)$$

バルク型の GaAs を用いた場合には理論上 50% の偏極度が最大となる。

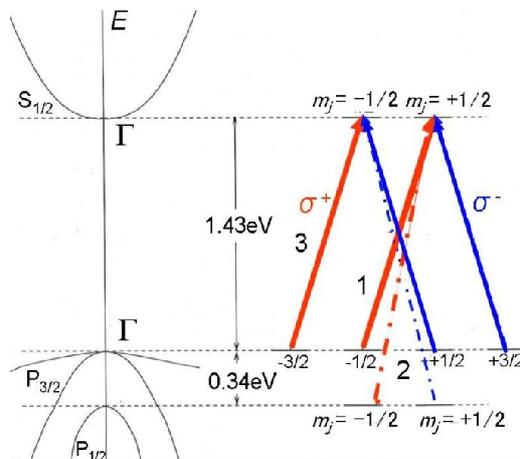


図 1: GaAs のバンド構造及び磁気副準位

GaAsの真空準位は、伝導帯の底よりも約4eVほど高いところにあるため、そのままの状態では電子を真空中に引き出すことはできない。そのため、GaAsの清浄表面にセシウムと酸素を付着させることによってNEA(Negative Electron Affinity)と呼ばれる、真空準位が伝導帯の底よりも低い状態にしなければならない。NEA表面は表面劣化による寿命の低下という問題を抱えている。その主な原因は、残留ガスなどの不純物の付着や、引き出した電子ビームによってイオン化されたイオンの衝撃である。NEA表面が劣化すると電子を真空中に引き出すことはできなくなる。そのため、超高真空の実現が必要である。

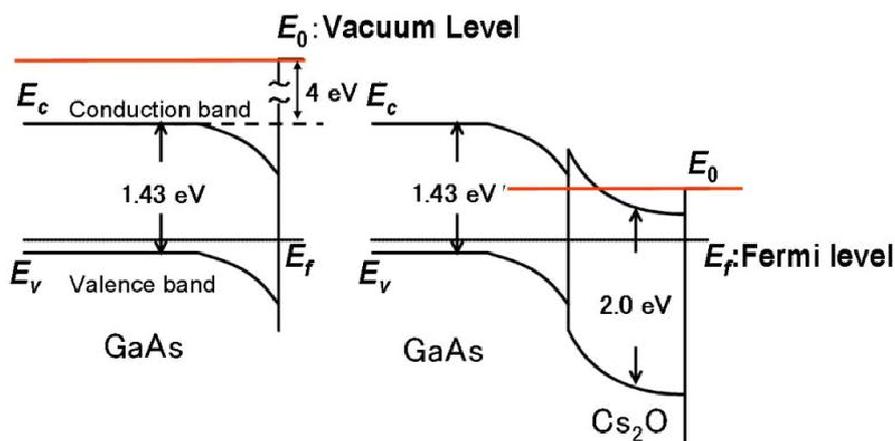


図 2: Negative Electron Affinity

スピン偏極度の検出には吸収電流法を用いる。検出器には金を蒸着したモリブデン板を用いる。固体内では、スピン軌道相互作用によって散乱されやすい電子と、固体内にもぐりやすい電子とに分かれる。吸収電流は入射電子数から放出電子数を引いたものとして定義される。吸収電流は、入射エネルギーを増加させるにしたがって、直線的に減少してくる。吸収電流が0になるエネルギー E_0 は上向きと下向き、どちらに偏極しているかによって異なるため、このエネルギーの差から偏極度を求めることができる。このときの偏極度は次のように定義される。

$$P = \frac{E_0(P) - E_0(-P)}{\Delta} \quad (2)$$

ここで、 $\Delta = 1.9\text{eV}$ である。これはD.T.Pierce et al., Rev. Sci. Instrum. 52 (1981) 1437 の論文を参考に決定した。

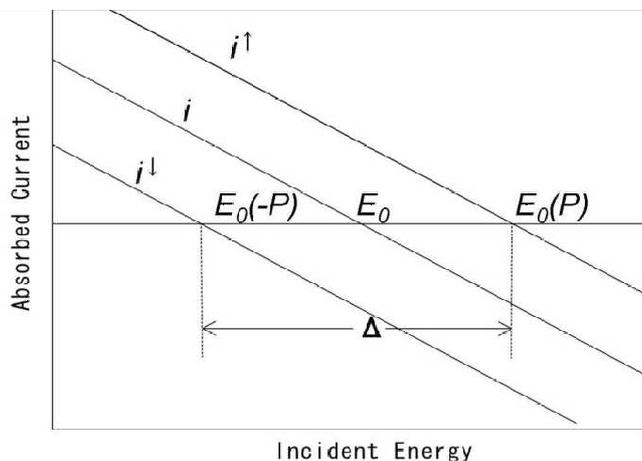


図 3: 吸収電流

3 現状

装置図を図4に示す。

3.1 真空

ポンプ構成の変更、真空装置内の配線の変更(高真空用から超高真空用)、入念なリークチェックとフランジの締めなおし、ベーキングによって、現在この装置では 3×10^{-7} Pa の超高真空が実現できている。

3.2 検出器

検出器ではモリブデン板に金の蒸着及びアニーリングを行った。動作試験はこれから行う予定である

3.3 光学系

光学系のアライメントを行った。レーザーから出た光はレンズによって平行光になり、偏光子に入射する。偏光子を通過した光は直線偏光になりレーザー変調器を経て $\lambda/4$ 板を通過し、円偏光レーザーとなる。そのご、反射鏡によって装置内へ入射される。レーザー変調器に特定の電圧を印加することで、直線偏光の偏光面を $\pi/2$ 回転させることが可能であり、これによって円偏光の向きを用意を変えることができる。

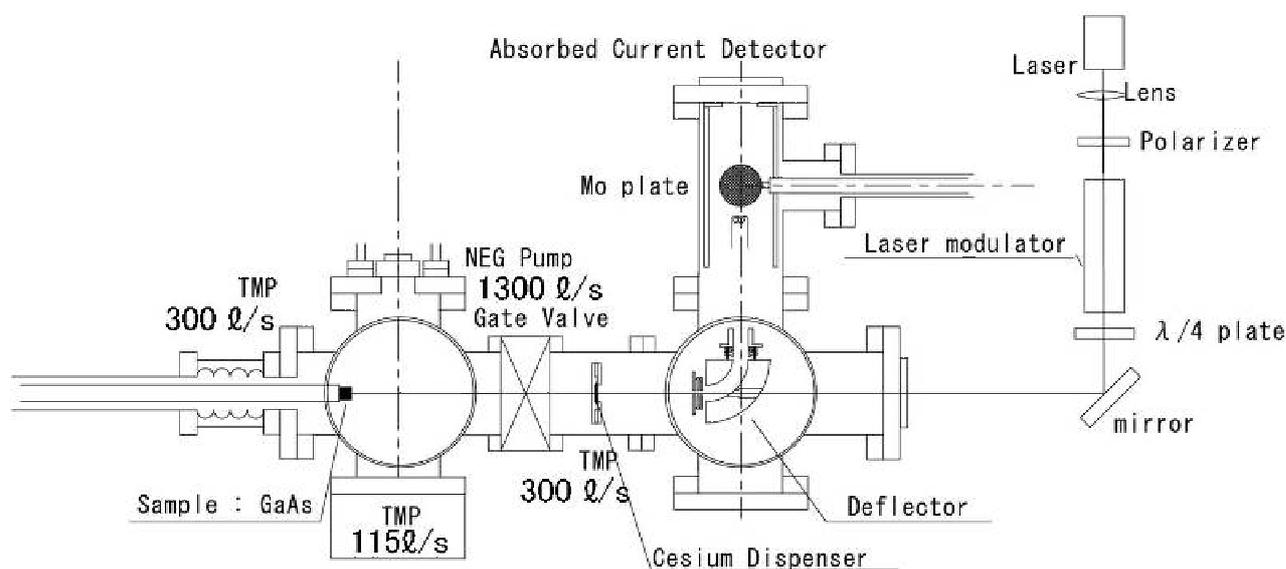


図4: スピン偏極電子線源

4 今後の展望

検出器の動作試験、Deflector の動作試験、NEA 表面の活性化を行い、装置を完成させる。その後、スピンの偏極度測定を行った後、Mott 型スピン分析器の性能評価及び較正を行う。

5 参考文献

1. D.T.Pierce et al., Rev. Sci. Instrum. 52 (1981) 1437
2. 古橋 修 修士論文 "Production and Detection of Spin Polarized Electrons from a Cleaved GaAs (110) Surface"(1995)
3. 坂 貴 "スピン偏極電子線源" 日本応用磁気学会誌 Vol25, No.1, 2001
4. 萩野 実、助川 徳三 "NEA デバイス" テレビジョン学会誌 第32巻 第8号 670 (1978)