

Cs-Teフォトカソード電子源のスピンの偏極度測定計画

宮本 延春^{1,A)}、浪花 健一^{A)}、杉山 陽榮^{B)}、古田 史生^{A)}、中西 彊^{A)}、奥見 正治^{A)}
和田 公路^{A)}、山本 将博^{A)}、西谷 智博^{A)}、桑原 真人^{A)}、山本 尚人^{A)}、高嶋 圭史^{B)}、小早川 久^{B)}

^{A)} 名古屋大学理学研究科

^{B)} 名古屋大学工学研究科

〒464-8602 愛知県名古屋市千種区不老町

概要

Cs-Te半導体フォトカソードは高い量子効率 (QE>10%@266nm) を持つフォトカソードであり、KEK-ATFのRF-Gunへの適用にも成功している。しかし、その偏極度は未だ測定されず不明のままである。そこで無偏極電子源としては成功しているCs-Teフォトカソードを偏極電子源としても使用する可能性を探るべく、我々はそのスピン偏極度測定を企画した。ここではすでに開発済みの阻止電位型Mott散乱偏極度測定装置の性能と、この測定装置とCs-Teフォトカソード電子源とを結ぶビーム移送系の設計準備状況について報告する。

1. はじめに

現在、スピン偏極電子ビームは、研究分野を問わず数多くの研究機関での実験に使用されている^[1]。また、次世代のリニアコライダー建設計画においても、超対称性粒子検索の有力な手段としてスピン偏極電子ビームの利用が想定されている^[2]。このリニアコライダー建設に向けて、KEK-ATFで開発したRF-gunに、名古屋大学で試験してきたCs-Teフォトカソードを装着してマルチバンチビームを生成する実験は、2002年に行われ良好な実験結果を得ることができている^{[3][4]}。

RF-gunの特徴は高輝度、短パルス、低エミッタンスが期待できることであり、リニアコライダーには適した電子銃であると言える。しかし、現在RF-gunを用いた偏極電子源は存在しない。これは、偏極電子の引き出しに不可欠なGaAsのNEA (Negative Electron Affinity) 表面^{[5][6]}をRF-Gun空洞の中で良好な状態を維持することが難しいのが原因である。

我々はこれまでに無偏極電子源としてのCs-Teフォトカソードの基礎研究を行ってきたが、さらに偏極度を測定するためには、電子源と測定系を結ぶビーム移送系と、偏極度測定装置が必要になる。そして、これらの装置の設計条件として、測定に用いる電子ビームのエネルギーに適した装置であることが要求される。

フォトカソード開発においてカソードに印加する電圧は、必要の無い限り低い方が絶縁の処置が簡単であり、取扱いがしやすい。今回の実験ではビーム

移送の事を考えて-3kVを選択した。このエネルギーに適した測定系として、我々はすでに阻止電位型Mott散乱偏極度測定装置の開発は済ませており、現在は移送系の作製、電子源系の改良に取り掛かっている。

2. 偏極度測定装置

2.1 偏極度測定原理

電子ビームの偏極度を測定する方法はいくつかあるが、今回のように3keVという低エネルギーでの偏極度測定を可能にし、かつ装置の小型化を目指した場合Mott散乱を用いた測定装置が適していると判断した。

ターゲットである金箔の原子核とMott散乱した電子は、そのスピンの向きに応じてスピン軌道相互作用を受ける。この相互作用によって左右の散乱断面積が非対称となり、この非対称度 (A) を測定することで偏極度 (P) を知ることができる。ただし、測定できるのは検出器を設置した散乱平面に対して直角成分の偏極度のみである。

2.2⁰ 実効シャーマン関数

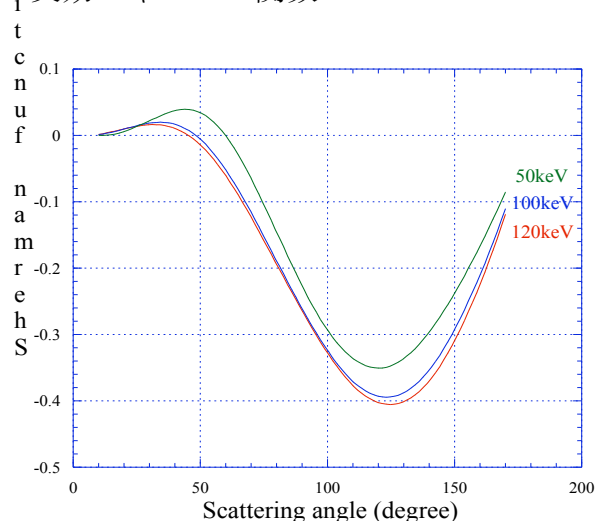


図1：シャーマン関数の理論値

¹ E-mail: miyamoto@spin.phys.nagoya-u.ac.jp

具体的な測定方法は、まず左右に設置した電子検出器でMott散乱した電子をカウント (N_L , N_R) して、その個数から非対称度 ($A=N_L-N_R/N_L+N_R$) を測定する。そして、偏極度と非対称度はシャーマン関数 (S) で結ばれている ($A=SP$) ので、シャーマン関数の値がわかれば偏極度は求められることになる。図1にシャーマン関数の理論値のグラフ^[7]を示してあるが、現実のMott散乱ではターゲットに厚さがあるため多重散乱の効果が加わり、実際に用いる実効シャーマン関数はターゲットの厚さにも依存する関数になっている。

2.3 阻止電位型 (Mini Mott) の特徴

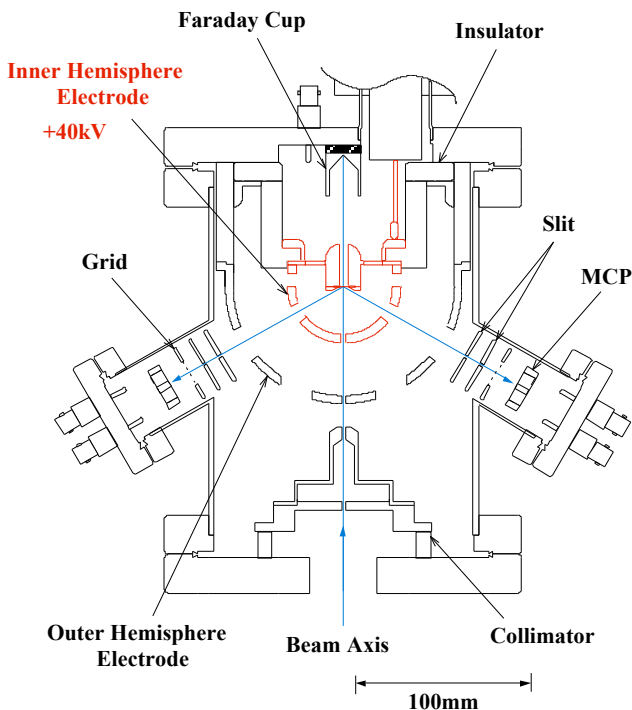


図2：阻止電位型Mott散乱偏極度測定装置

我々が作製した、阻止電位型Mott分析器の仕組みについて説明する。カソードから出た電子のエネルギーは3keVであるが、このままではエネルギーが低いため、シャーマン関数が低くなり、精度よく偏極度を測定することは不可能である。そこでMini Mottの内部に設置した内部球形電極にプラスの電圧を印加することにより、内部に入射した電子を加速させ、散乱時に十分なエネルギーを与えることができる設計になっている。この場合+37kV印加すれば散乱エネルギー40keVが得られることになる。散乱後の電子はアースレベルの外部球形電極に向かうので減速され、弾性散乱した電子であれば3keVのエネルギーで検出器に入射することになる。しかし、この装置で用いている検出器MCP (Micro Channel Plate) は、低エネルギーの電子検出は可能であるが、エネルギー分解能は極端に悪く、金箔ターゲットで非弾性

散乱した電子と弾性散乱した電子をエネルギー的に区別することは出来ない。そこで、MCPの前に阻止電極であるGridを設置して、マイナスの電圧を印加することにより非弾性散乱した電子の入射を阻止する設計になっている。また、検出器の設置角度は、シャーマン関数の高い120度方向を選択してある。

2.4 阻止電極のエネルギー分解能

この装置に使用した阻止電極のエネルギー分解能の測定を行った。図3のグラフは入射電子のエネルギー3keVで、横軸は阻止電圧、縦軸は電子のカウント数である。

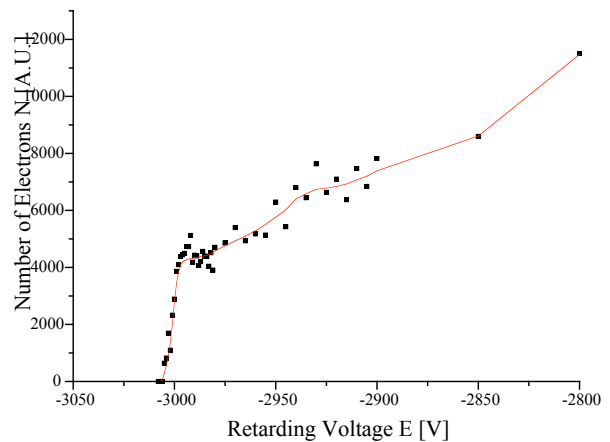


図3：阻止電圧に対する電子カウント数の変化

この得られたデータを平均化し、近似したのが実線であり、これを電子数が立ち上がる領域で微分したときの半値幅を阻止電極のエネルギー分解能と定義すると図4のようになり、4.8eVという値を得る。この値は、弾性散乱ピークと非弾性散乱バックグラウンドを効率良く落とすのに十分な値である。

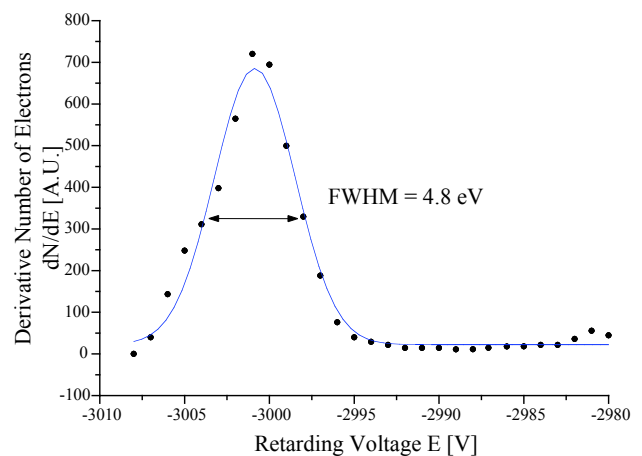


図4：阻止電極のエネルギー分解能

2.5 実効シャーマン関数の決定

既存の100keV-Mott散乱測定器では、あらかじめ膜厚の異なる複数枚の金箔ターゲットを設置して、自分自身で実効シャーマン関数を校正できる設計になっているが、Mini Mottでは小型化を重視しているので、あえてターゲットは1枚しか設置していない。そこで、同じ偏極電子源からのビームを2つの装置に交互に通し、ビーム偏極度を100keV-Mottで測定し、非対称度をMini Mottで測定することでMini Mottの実効シャーマン関数を決定するという方法をとった。

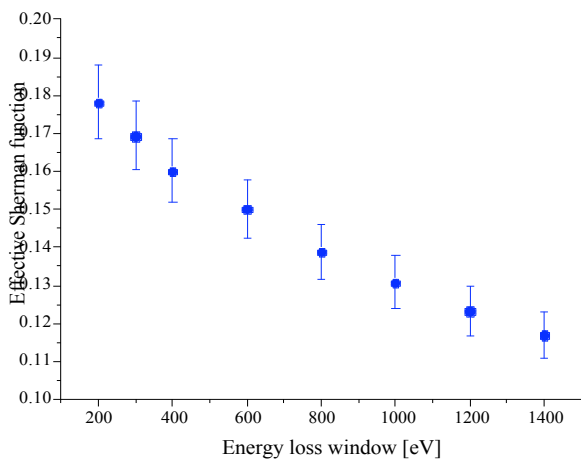


図5：実効シャーマン関数の阻止電圧依存性

図5のグラフは、同じ偏極度、同程度のQEを持つ偏極電子ビームを用いてデータを取ったものである。縦軸は実効シャーマン関数、横軸はカソード電圧から阻止電圧を引いた分のエネルギーであり、カソード3kVで阻止電圧2.8kVならEnergy loss windowは200eVというものである。このグラフからEnergy loss windowが狭くなるに連れて非弾性散乱電子の割合が減り、非対称度と共に実効シャーマン関数が高くなることを見て取れる。結果として膜厚1000Åの金箔に対して、実効シャーマン関数の値は、Energy loss windowが200eVのとき0.18±0.01を得た。

3. ビーム移送系

図6に移送系の設計図を示す。フォトカソードから電子ビームを引き出すとき、レーザー軸が量子化軸となるので、カソードから出てくるスピンの向きは進行方向に平行になる。しかし、Mott散乱を用いての偏極度測定は、スピンの向きが散乱面に直行でなくてはならない。すなわちスピンの向きを縦偏極から横偏極へ変える必要がある。そこで本実験ではコンパクトに設計した球形コンデンサーを用いて電子の軌道を90°曲げることにした。電子のエネルギーが3keVと低エネルギーの場合には電場で軌道を90°曲げてもスピンの向きには殆ど影響を及ぼすことは無い。また、球形コンデンサーの利点として、コンデ

ンサーへの入射直前に電子ビームを収束させると出口直後で再びビームが収束できるという特徴がある。これを活かすために、カソードから引き出した電子を集束レンズで絞り、これから極力近い位置に球形コンデンサーを設置する設計にした。

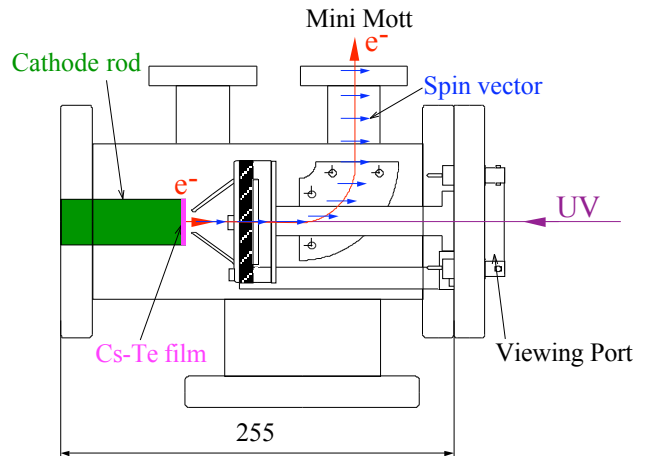


図6：偏極ビーム移送系Chamber

4. 今後の予定

現在、偏極度測定系の作製は終了し、移送系のChamberの設計も終え作製段階に入ってきている。今後はCs-Te電子源系のカソードベースの材質変更が容易に出来るように、カソードロッドを改良することを予定している。また、この装置はCs-Teに限らず他の物質をフォトカソードにして、偏極度測定まで試験できる装置として使用することができる。

参考文献

- [1] Proceedings of Polarized Electron Source (PES2000) Workshop, Nagoya, Japan (2000)
- [2] T.Nakanishi et al. "Polarized Electron Source" JLC Design Study, KEK Report 97-01(1997) p.36-48
- [3] N.Terunuma et al. Proc. of the 27th Linear Accelerator Meeting in Japan (2002) p.145-147
- [4] T.Hirose, Ph. M.Thesis, Nagoya University (2002)
URL: <http://plib.phys.nagoya-u.ac.jp/MC/2002/hirose-sp/hirose-sp.pdf>
- [5] M.Yamamoto et al. Proc. of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan (2003) on this proceeding
- [6] T.Nishitani et al. Proc. of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan (2003) on this proceeding
- [7] Shin-R Lin, "Elastic Electron Scattering by Screened Nuclei", Phys. Rev. 133 (1964)