

Development of 200keV Spin Polarized Electron Source for ILC project

Ken-ichi Yasui ^{A)}, Masahiro Yamamoto ^{A)}, Naoto Yamamoto ^{A)}, Tsutomu Nakanishi ^{A)}, Shouji Okumi ^{A)}, Masaharu Miyamoto ^{A)}, Fumio Furuta ^{B)}, Masao Kuriki ^{B)}, Hiroshi Matsumoto ^{B)} and , Masakazu Yoshioka ^{B)}

A) Department of Physics, Graduate School of Science, Nagoya University, Nagoya 464-8602

B) High Energy Accelerator Research Organization, 1-1 Oho, Tsukuba 305-0801

Abstract

A 200keV polarized electron gun developed at Nagoya University is one of candidates of International Linear Collider (ILC) electron source. By the end of 2006, ILC Conceptual Design Report (CDR) will be made based on various R/D achievements. Concerning 200keV gun system, production of stable beam with low emittance is the most important subject. For long lifetime of NEA surface of the GaAs-GaAsP superlattice photocathode, both technologies to realize the highest quality of UHV environment and extremely low level of dark current from HV electrodes are required. Up to now the vacuum pressure and photocathode lifetime had been improved to be 8.7×10^{-10} Pa and >150 hours. Now a new electrode with Mo cathode and Ti anode has been prepared for further reduction dark current. Spin polarization and emittance measurement systems have been also developed in order to evaluate the performances of 200keV beam and find the optimum operation parameters.

ILC計画に向けた200keVスピン偏極電子源の開発

1. はじめに

スピン偏極電子源は電子のヘリシティを選択して取り出すことが可能であるため、次世代の電子陽電子リニアコライダーにおいて超対称性粒子の探索実験などに重要な役割を果たすことが期待されている^[1]。

スピン偏極電子はGaAs型半導体フォトカソードより生成される。GaAs結晶へ円偏光レーザーを照射することで価電子帯から伝導帯への選択励起が起これ、スピン偏極した電子がNEA (Negative Electron Affinity) 表面を通して真空中へ取出されることでスピン偏極電子ビームが生成される。我々はすでに開発されたGaAs-GaAsP歪み超格子結晶によりスピン偏極度~90%、量子効率~0.5%の高い偏極度で良い量子効率の電子ビームの生成に成功している^[2]。

ILC計画に向けスピン偏極電子銃を実用化するための現在の最も大きな課題はフォトカソードの長寿命化である。NEA表面は非常に汚染に対して敏感で、長寿命化には電極間の電界放出暗電流の抑制と、超高真空の実現が不可欠である。このため、200keV偏

極電子銃のチェンバー内に大型のNEGモジュールの増強を行い 5.7×10^{-10} Paの極高真空を実現した。この真空化では150時間以上の寿命であったが、高電界中でのビームの引き出しの影響を考えるとさらに良い真空 ($\leq 10^{-10}$ Pa) を実現し寿命を延ばす必要がある。また、電子銃の性能を評価する目的で電子ビームのスピン偏極度測定、エミッタンス測定も重要である。このため現在、これらの装置の開発を進めている。これらにより最終的に、3.2nC/bunch、パンチ幅<2nsの条件で 10π mm. mrad以下の低エミッタンスビームを生成することを目標としている。

2. 200keV偏極電子銃

200keV偏極電子銃の概観を図1に示す。200keVスピン偏極電子源は、ゲートバルブによって仕切られた3つのチェンバー (Gun chamber, Activation chamber, Loading chamber) より構成され、マニピュレーターによって真空を破ることなくフォトカソードの移送と脱着が可能となっている。これによって、NEA活性化をGun Chamberの外部で行い、活性化に

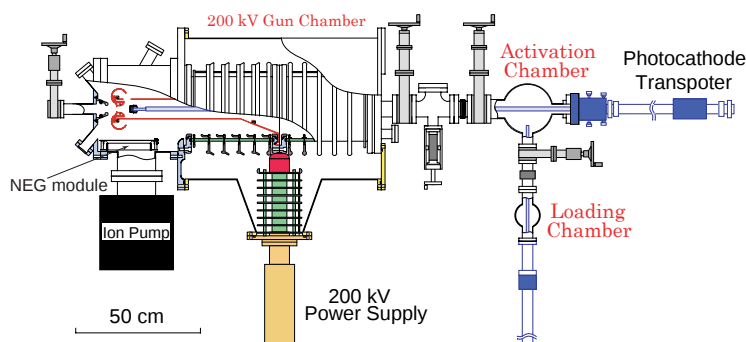


図1 200keV偏極電子銃

使用するCsの電極表面への付着による仕事関数低下を防ぎ、高電界下での電界放出暗電流を抑制することを可能にしている。

3. Mo-Ti電極の作製

これまで行ってきた電界放出暗電流削減に関する基礎研究^[3]から、カソード電極材料としてMo、アノード材料としてTiが優れていることが分かった。我々は、この知見を生かして、200keV電子銃の安定運転と暗電流削減を目指したMo-Ti電極の作製を行っている。

200keV電子銃はこれまでに清浄ステンレス鋼(Clean-Z)を使用し電解複合研磨、エージングを経て200kV運転において暗電流を1nA以下に抑えることができた^[4]。しかし、長時間のエージング及びBreakdown後の暗電流特性の悪化が加速器運転時には大きな問題となることが考えられる。そこで電極に使用しているClean-Z材をMo-Ti電極に変えることによりこれらの問題を緩和し、さらに高い加速電界の実現を目指す。

チタン材はJIS規格2種の純チタン(99.5%以上)を用い、モリブデン材は純度99.95%以上の純モリブデンを使用する。チタン電極はNC切削加工により作製した。高電界試験の前処理としては、バフ研磨($R_a \sim 0.1 \mu\text{m}$)と超純水洗浄のみで優れた暗電流抑制効果を示していることから同様の処理を行う予定である。モリブデン電極の製作は、材料の難切削性及び電極の軽量化を考慮し、厚さ2mmのモリブデン板を絞り加工した外電極と切削加工を最小限に抑えた内電極を電子ビーム溶接にて接合作製する。接合後、溶接箇所を含め電極外側を切削加工により仕上げたのち、こちらも同様にダイヤモンド砥粒を使用したバフ研磨により鏡面研磨仕上げを施す予定である。

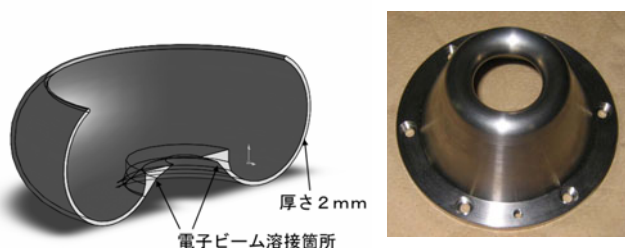


図2 MoカソードとTiアノード

4. エミッタンス測定

ペッパーポットを用いた測定装置自体は昨年の報告時に一通り完成している^[5]。この方法は多数のピンホールによって切り出されたビームレットの形状変化を光学的に測定しエミッタンスを求めるというものである。測定において当初フォトカソードの励起用レーザーによるバックグラウンドが問題となった。そこで、レーザー波長が750～800nmに対して、

必要なビーム情報を持つシンチレーション光が400nm付近にピークをもつことを利用し、赤外用のフィルタをシンチレーション光観察用の長距離顕微鏡に用いた。このことによりレーザー光の問題は劇的に削減され、平均10nAのごくわずかな電流値でもエミッタンス測定が可能となった。

現在は200keV偏極電子銃を用いた100keV前後のエネルギーによる予備的な試験を終え、ILCの要求を満たす大電流での測定準備を行っている。

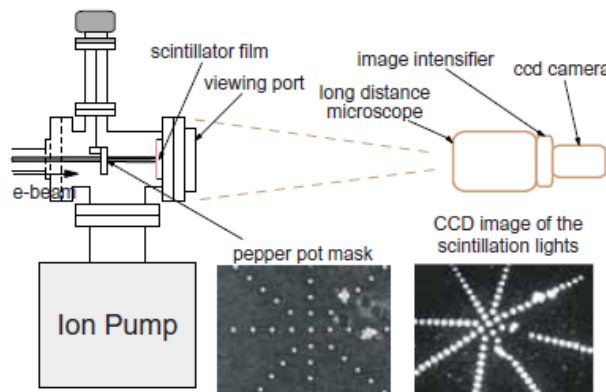


図3 エミッタンス測定装置

5. 電子スピン偏極度測定装置の作製

我々の研究室ではこれまでにフォトカソードの開発により電子スピン偏極度～90%の電子ビーム生成を実現している。しかし、200keV偏極電子銃より生成された電子ビームのスピン偏極度は未だ測定されていない。偏極電子銃としての性能を評価し、ILC計画に向け実用化するためにはスピン偏極度の測定は必ず必要である。また、200keV偏極電子銃は先にも述べたようにロードロック方式を採用しており、フォトカソードの脱着が容易に行えるため結晶を評価するのに非常に便利である。これらの理由から、Mott散乱を用いた偏極度測定装置の開発を現在行っている。

5.1 測定法

Mott散乱は高速電子の原子核による散乱で、スピン-軌道相互作用による散乱を利用して偏極度を測定する。これは、200keV付近で偏極度を測定する場合に最も適している。スピン-軌道相互作用は散乱に左右非対称を生じさせるため、偏極度の測定にはこの非対称度を測定する。この測定法の欠点としては、非弾性散乱や多重散乱が非対称度に影響を与え5%程度の系統誤差が避けられないことがある^[6]。

5.2 実験装置の現状

偏極度測定装置は電子銃の下流に取り付け、スピンの方向を回転させるWien-filterと電子ビームを散乱させる散乱槽から成っている。散乱槽には厚さが200Å～1000Åの薄い金箔のターゲットが設置されている。これは、偏極度測定のアナライジングパワ

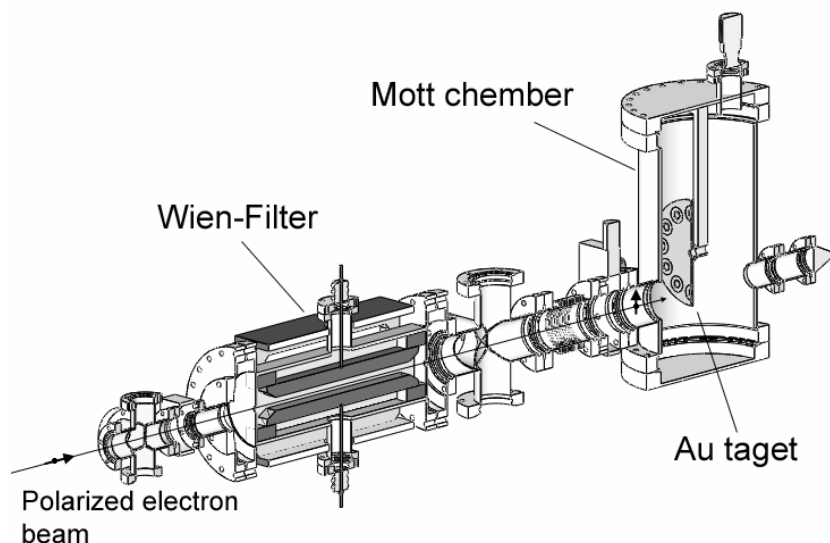


図4 Mott Polarimeter

ーであるシャーマン関数を較正する目的で使用する。電子の計測にはシリコン半導体検出器(浜松ホトニクス; S3590-04)を使っており、検出器は最も非対称度の大きな左右120度方向にそれぞれ置いている。検出器からのシグナルはプレアンプ、リニアアンプ、PHAの順で処理する。

現在装置は既に完成しており、200keV偏極電子銃と接続し真空試験も終了している。また、実際に電子ビームを金箔で散乱させ予備的な測定を行ったが、非弾性散乱、多重散乱のバックグラウンドが大きいいため非対称度の測定には至っていない。今後、散乱槽と検出器の前方にφ1mmのコリメーターを設置してバックグラウンドを減らすことで解決する予定である。

6. レーザー

ILC計画は昨年8月に超伝導空洞を採用することになり、対応するマルチバンチビームの時間構造も決定された。GaAs-GaAsPフォトカソードの最大偏極度に対応するレーザー波長780nmにおいて量子効率は~0.1%と仮定すると、1パルスで3.2nC以上引出すためにはレーザーはパルス当り約10μJ以上のエネルギーが必要となる。

Wave length	~780 nm
Pulse energy /micro pulse	~10 μJ
Micro pulse separation	337 ns
# of micro pulse / macro-pulse	2820

表1 ILC計画におけるレーザーへの要求

現在、上記の条件をすべて満たすレーザーは未だ実現していない。無偏極電子ビーム生成用RF gunのマルチバンチレーザーは既にDESYが開発しているが波長、パルス幅が異なるので、これを直接偏極電子銃の光源として用いることは不可能である。

現在、Er:glassレーザー(1.54μm)の2倍波を用いるシステム^[7]などを有力な候補として検討しているが、その開発は今後の課題である。

7. 今後の展望

ILC計画で使用する偏極電子銃のシステム完成には上に述べたような問題を解決しなければならない。今後、2~3年の内にこれらをすべて完了する必要がある。

最後にMo-Ti電極は現在作製中ではありますが、その製作にあたり、名古屋大学全学技術センターの伊藤有男氏、香月真澄氏、小林和宏氏、核融合科学研究所技術部の杉戸正治氏、(株)サクライの高山伸夫氏、他多くの方のご協力を頂きました。この場を借りて感謝致します。

参考文献

- [1] GLC group, GLC Project Report, KEK-Report 2003-7
- [2] T.Nishitani, et al., J. Appl. Phys. Vol. 97 (2005), 094907
- [3] F.Furuta, et al., NIM, 538,1-3, 11 Feb 2004, p33-44
- [4] M.Yamamoto et al, Proceedings of FEL 2003, Tusukuba, Japan, sep. 2003
- [5] N.Yamamoto, et al, Proceedings of the 1st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and 29th Linear Accelerator Meeting in Japan, Funabasi, Aug 4-1, 2004, p371-p373
- [6] G.D.Fletcher, T.J.Gay, M.S.Lubell, Phys. Rev. A 34, 2 (1986) 911
- [7] 住友重機械工業(株) 小林克行氏との private communication