

CONSTRUCTION OF EMITTANCE MEASUREMENT SYSTEM FOR 200keV POLARIZED ELECTRON BEAM

N.Yamamoto^{1,A)}, M.Yamamoto^{A)}, T.Nakanishi^{A)}, M.Kuriki^{B)}, S.Okumi^{A)}, F.Furuta^{A)},
M.Kuwahara^{A)}, K.Naniwa^{A)}, K.Yasui^{A)}, H.Matsumoto^{B)}, J.Urakawa^{B)}, M.Yoshioka^{B)}

^{A)} Department of Physics, Nagoya University

Furo-cho, Nagoya-city, Aichi, 464-8602

^{B)} KEK, high energy accelerator research organization

1-1 Oho, Tsukuba-city, Ibaraki, 305-0801

Abstract

For Linier Collider projects, we have continued a study to build a high gradient polarized DC-gun. A 200keV beam has already been extracted and experiments to improve beam qualities are in progress. Namely, we prepared an emittance measurement system using pepper-pot method, and preliminary measurements have been done using a 100keV polarized beam.

200keV偏極電子ビームのエミッタンス測定装置の開発

1. はじめに

我々はリニアコライダー計画に用いる200keVスピ
ン偏極電子源の開発を進めており、すでに200keVの
電子ビーム引き出しに成功している^[1]。今後の課題
は、GaAsの負の電子親和性(NEA)表面の長寿命化と
引き出した電子ビームの質の検証と改善である。

常伝導リニアコライダーでは、電子源において高
い偏極度(>90%)、高いピーク電流(>9.2A)、低エミ
ッタンス(<10 pi.mm.mrad)、さらに1.4ns間隔のマルチ
バンチ構造をもった電子ビームが必要とされている。
このうち偏極度とダブルバンチ構造については、エ
ネルギー70keVではあるがこれまでの我々の研究に
おいて既に達成されており^[2]、現在は200keV電子銃
を用いてリニアコライダーの要求を完全に満たす偏

極電子ビームを生成する準備を進めている。

我々が電子源に用いるNEA-GaAsフォトカソード
は初期エミッタンスが小さくできることから、ERL
用極低エミッタンス電子源の候補としても注目され
ている^[3]。しかしながら、200keV偏極電子ビームの
エミッタンス測定は未だ行われていない。このため
にもまずエミッタンスの精密な測定が必要である。

本研究では、エミッタンス測定にペッパーポット
法を採用し図1のように、装置自身は200keVスピ
ン偏極電子源の直下流に配置している。今回は、
100keVビームを用いた装置の最終調整について報告
する。

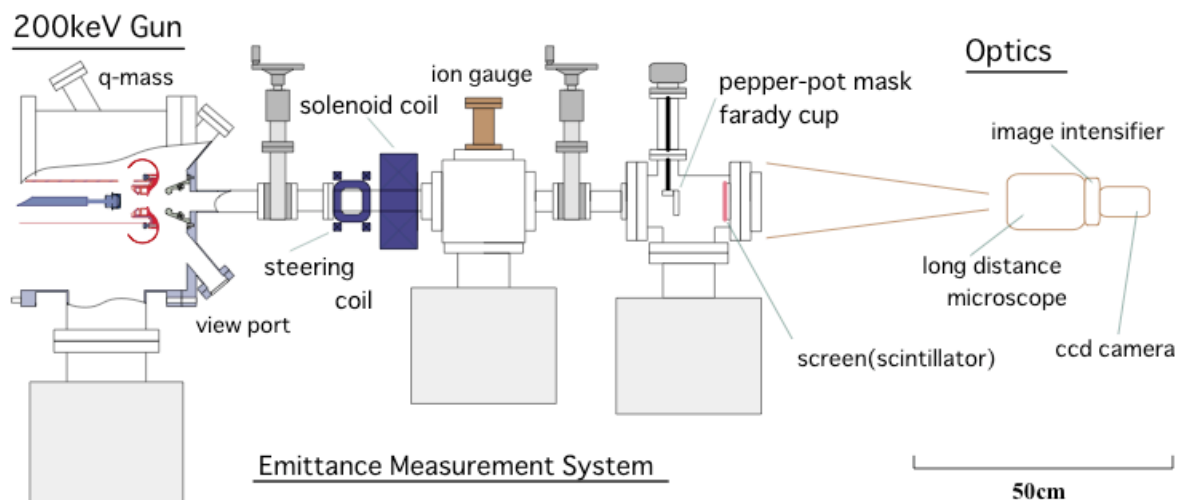


図1:エミッタンス測定装置の全体

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

2. エミッタンス測定装置

2.1 測定法

電子ビームのエミッタンス測定法はいくつかあるが、電子源の初期エミッタンス評価を考えペッパーポット法を選択した。ペッパーポット法では、電子源に対し非常に近い位置で1 μ m.mrad以下のエミッタンスの精密測定が可能であり^[4]、装置のコンパクト化も望めると判断したからである。

この方法はスリット法の一つで、電子ビームの切り出しにはペッパーポットマスクと呼ばれる薄い金属の板を用いる。この板には直径数十ミクロンのピンホールが規則的に配列されている。このマスクによって切り出された電子ビームが後方のスクリーンに映し出され、そのスポットの広がり測定することでエミッタンスを求める。

2.2 実験装置(真空チャンバー)

エミッタンス測定装置の概要を図1に示す。装置はペッパーポットマスクとスクリーンを収めた超高真空チャンバーと大気中におかれたスクリーン発光の読み出し装置とに分かれる。

ペッパーポットマスクは厚さ10ミクロンのTi箔を使用しており放電加工によるピンホール加工がなされている。予測されるエミッタンスに応じてピンホール径、間隔などを選択する。また、スクリーンには紫外光付近の波長に発光ピークをもつ厚さ数十ミクロンのプラスチックシンチレータ(Bicron; BC-422)を採用し、スクリーン上における像のにじみを最低限に抑えられるように配慮している。

さらにエミッタンス測定中、マスク及びスクリーンへのビーム照射による真空度劣化を考慮し電子銃チャンバーとの間に差動排気系を設置してある。これは、電子銃内のNEA-GaAsカソードへの悪影響を防ぐためである。

2.3 光学系

光学系の模式図を図2に示す。まず、長距離顕微鏡(Quester; QM-1)でスクリーン上の発光を拡大する。前述したように使用しているスクリーンは非常に薄く、100keV電子のエネルギー損失が微量のため、その発光量は極端に少ない。そこで、イメージンテンシファイア(浜松ホトニクス; C4078)で発光を 10^3 から 10^6 倍に増強し、CCDカメラ(浜松ホトニクス;

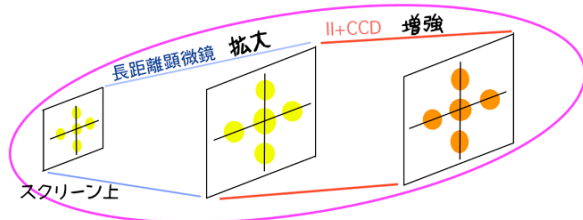


図2: 光学系の模式図

C3077)でデータをWindows Bitmap形式で捉える。これは一画素あたり8bitの解像度を持ち、一画像あたり640ピクセルx480ピクセルのサイズである。最後にこのデータを解析しエミッタンスを求める。

3. 真空試験

この装置の設計にあたり測定系の真空度と電子銃部分の真空度のアンバランスが問題と考えられた。電子銃部分は 10^{-10} Paの極高真空に保たれているのに対し、ペッパーポット法にもちいるプラスチックシンチレータはこれまで 10^{-5} Pa台でしか使用された実績がなかったからである。

そこで、実際に超高真空を生成し質量分析器による残留ガス分析からNEA表面への悪影響の有無を調べた。

3.1 試験の概要

エミッタンス測定系に真空計(ULVAC; WIN-N3)と質量分析器(LEYBOLD INFICON; TH200)を取り付けシンチレータの有無による真空度の変化を調べた。また、真空計は差動排気に、質量分析器は200keV電子銃にそれぞれ配置した。

まずシンチレータのない状態での真空試験を行い、全真空チャンバーを約200°Cでベーキング、本排気し、残留ガスの分圧と全真空度を記録した。つぎにシンチレータ有りの状態の真空試験を行ったが、シンチレータの融点は80°C未満であり高温でのベーキングは行えない。そのため、バルブによってチャンバーの一部を真空中に隔離し、その部分を乾燥N₂ガスで大気と比べ揚圧に保ちながら速やかにシンチレータをインストールした。これは、湿気を含んだ空気や埃がチャンバー内に入るのを防ぐためである。その後常温において、全チャンバーの本排気を再度行い真空度が飽和した状態でチャンバー内の真空状態を調べた。

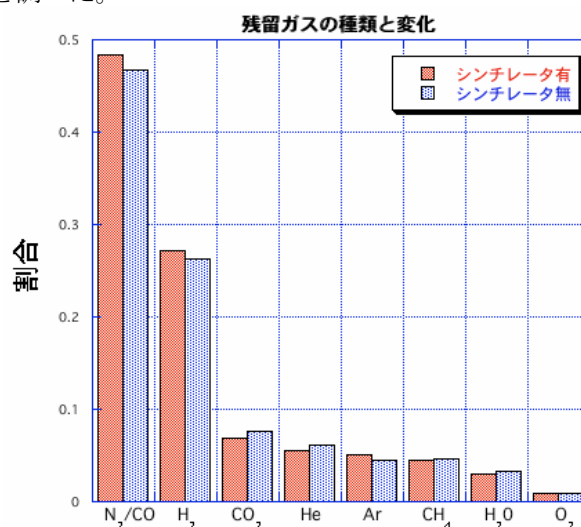


図3: シンチレータ試験の結果

3.3 結果

真空度は、シンチレータのインストール前で $6.7 \times 10^{-8} \text{Pa}$ (室温 22°C)、シンチレータのインストール後は $5.2 \times 10^{-8} \text{Pa}$ (室温 20°C) とシンチレータの有無による真空度の劣化はみられなかった。また、この値においてシンチレータ挿入後の方がかえって良い真空度となった理由は外気温や総排気時間が異なったためである。

残留ガス分析の結果を図3に示す。図には、真空チャンバー内の主要な残留ガス成分とその割合の変化が示してある。シンチレータをインストールしたことによる残留ガス成分の大きな変化は見られないことがわかる。さらに質量数200までの残留ガス分析を行ったが異常はなかった。

以上の結果から我々はシンチレータを挿入しても超高真空状態が維持できると判断した。

4. 予備的ビーム試験

4.1 試験の概要

エミッタンス測定試験は、200keV電子源を使い、NEA-GaAsカソードにHe-Neレーザー(波長; 633nm)を45度の角度から連続的に照射して引き出したテストビームを用いて行った。引き出し電圧は~100kV(カソード上の電界強度は~1.5MV/m)で、ペッパーポットマスクを照射した電子ビームの電流は数百nAであった。この大半はペッパーポットマスクでカットされるので直接シンチレータに達した電子は数pAであると推測される。

4.2 結果

この試験によりCCDカメラで得られた画像を図4に示す。この画像にはペッパーポットマスクのピンホールパターンが明確に捉えられている。しかしながら、この画像は偏向レンズにより電子ビームを振ってもほとんど変化しなかった。このことから捉えられた画像(図4)はシンチレータの発光ではなく、ペッパーポットマスクを通過したカソード付近での励起レーザーの反射光をCCDカメラが捉えてできた

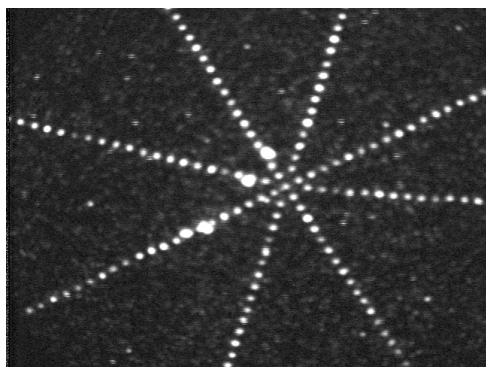


図4: ビーム試験で捉えたレーザーが原因だと思われる画像

像だと予想した。つまり、チャンバー内部でのレーザー光の乱反射が相対的に高い強度をもっており、シグナルとして捉えたいシンチレータ発光が埋もれてしまっていると判断した。

ただし、電子ビームのマスク照射の有無によって画像全体の明るさがわずかに変化することも確認しており、これが本来捉えたいシンチレータ発光によるものであると考えている。

この解決策として、真空チャンバーと長距離顕微鏡の間にカソード励起用レーザーの波長を遮断するフィルターを挿入してシンチレータ発光以外の入射光をカットする準備をしている。この方法はシンチレータ光と励起レーザー光の波長が違うために可能である。

5. まとめと今後の課題

NEA-GaAsカソードを用いた200keV電子銃におけるエミッタンスを測定する研究を進めた。

100keV電子ビームを用いて予備試験が進行中である。現在は、励起レーザーの反射光がシンチレータ発光を覆い隠しバックグラウンドとなるという問題の解決に取り組んでいる。

この問題を解決した後に、引き出し電圧を目標の200kV(電界強度: 約3MV/m)まであげたビームを用いたエミッタンスの研究を行い、低エミッタンスビーム生成に必要な最適化条件を探る研究を行う予定である。

また、これらの実験研究と併行して、エミッタンスをシミュレートするプログラムの開発も続けていく予定である。

最後に、この測定装置はKEKが熱電子銃エミッタンス測定用として開発したものを土台とし、新たにNEA-GaAs偏極電子源用に改変した部分を付け足して構成したものであり、小林仁氏をはじめとするKEK入射器グループに感謝します。

参考文献

- [1] M. Yamamoto, et al., Proceedings of FEL 2004, Tsukuba, Sep. 7-10, 2003
T. Nakanishi, Linac 2002 proceedings, Gyonju, Korea, Aug. 2002
K. Wada, et al., PESP2002 Proceedings, MIT, Sept., 2002
- [2] K. Togawa, et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A414(1998) 431
T. Nishitani, et al., 第28回リニアック研究会プロシーディングス, Tokai, Jul. 30- Aug. 1, 2003
- [3] N. Yamamoto, et al., Proceedings of FEL 2004, Tsukuba, Sep. 7-10, 2003
N. Yamamoto, Ph. M. Thesis, Nagoya University (2003)
URL: <http://plib.phys.nagoya-u.ac.jp/MC/2003/yamamoto-sp/yamamoto-sp.pdf>
- [4] Y. Yamazaki, et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A322(1992) 139-145 North Holland