

Design and Construction of Accelerating Electrodes for a 120keV Polarized Electron Gun at Bonn University

K.Togawa, C.Takahashi, M.Tawada, S.Okumi, T.Nakanishi
Department of Physics, Nagoya University, Nagoya, 464-01, Japan

S.Nakamura*, S.Voigt, W.v.Drachenfels, D.Husmann
Physikalisches Institut der Universität Bonn, Nussallee 12, D-5300 Bonn 1, F.R.G.

*Present address: Nagoya University, Nagoya, 464-01, Japan

Abstract

A 120keV polarized electron gun is being developed for the experimental check of Gerasimov-Drell-Hearn sum rule at 3.5GeV Bonn stretcher accelerator ELSA. The gun has three accelerating gaps of electrodes, and 40kV is applied for each gap in order to minimize the high voltage discharges. We used the simulation code of POISSON in an electric field calculation and the code of EGUN in an electron trajectory calculation to determine the geometrical shape of the electrodes. The 316L stainless steel was used as the material of the electrodes whose surface were polished by electrochemical buffing method and rinsed with ultra-pure water, after the machining. The measured total dark current of this gun at a high voltage of 120keV was below 10nA, which satisfied the design criterion.

ボン大学120keV偏極電子銃用加速電極の設計と製作

1. はじめに

現在、ボン大学の3.5GeV電子ストレッチャーリング加速器ELSAに於いてGDH総和則の検証実験を行う為の準備が進められている[1]。GDH総和則は円偏光 γ 線とスピン偏極核子との2種類の散乱断面積(スピンの向きが平行と反平行)を測定することにより検証が可能となるが、この円偏光 γ 線は縦偏極した電子ビームをTagging Magnetで曲げたときに発生する制動放射光が用いられるため、高偏極電子ビームはこの実験に不可欠な道具である[2]。

ELSAは20MeV入射リニアック、0.5~1.8GeVブラスターシンクロトロン、0.5~3.5GeV加速ストレッチャーリングより構成される[3]。20MeVリニアックに入射する電子ビームに要求されるパラメータはそれぞれ、エネルギー120keV、パルス幅1.0 μ s、ピークカレント10~100mA、繰り返し50Hzである。偏極電子ビームの生成にはGaAsフォトカソードが用いられる。偏極電子を真空中に引き出すことを

可能にしているGaAsフォトカソードのNEA

(Negative Electron Affinity) 表面は高電圧を印加したときの電極間暗電流に非常に敏感である。暗電流はフォトカソードの寿命を縮めるだけでなく、時としてその機能を殺してしまうことも起こりうる。従って、暗電流を可能な限り削減した長時間の加速器運転に耐えうる加速電極の設計、製作は偏極電子銃開発のなかの最重要課題の一つであると言える。

ボン大学偏極電子銃は120kVの高電圧印加時に発生する放電等のトラブルを回避するために3段加速電極構造(一段あたりの印加電圧40kV)を採用した。図1に偏極電子銃の全体図を示す。以下、シミュレーションコードPOISSON及びEGUNを使った加速電極の設計、暗電流を削減するために行った加速電極の表面処理、そしてボン大学で行われた高電圧印加試験の結果について述べる。

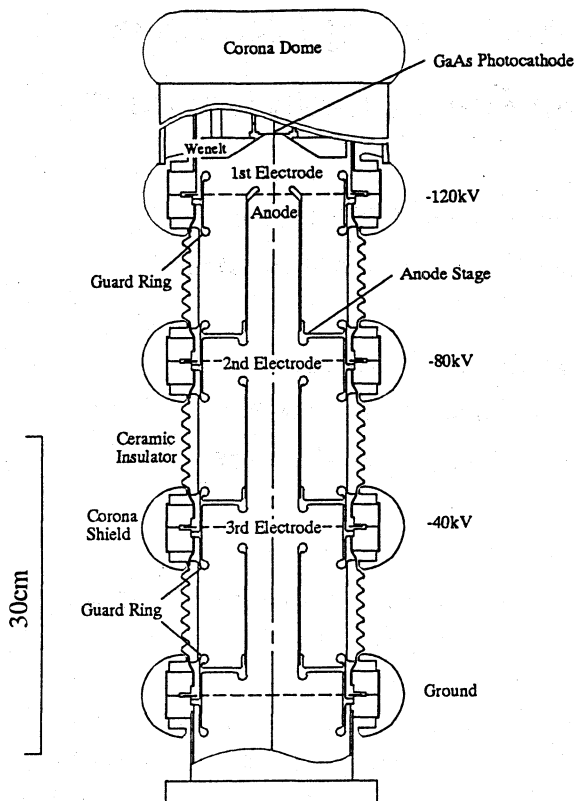


図1 ボン大学偏極電子銃全体図

2. 電極表面電界計算

加速電極及びガードリングの形状決定の為にシミュレーションコードPOISSONを使い表面電界を調べた[4]。初段加速電極に対し、印加電圧40kV、ギャップ50mm（EGUNによりレーザー径が $\phi 10\text{mm}$ のとき空間電荷制限電流値が260mAと要求値を十分に満たすことを確認している）、陽極外径54mm、陽極先端曲率2.5mm、ガードリング先端曲率4mmの形状パラメーターで電界計算を行った。計算の結果、加速電極の最大表面電界は陰極側で7kV/cm、陽極側で27kV/cmであることが分かった。この値はKirpatrick Criterionと比較して十分小さい安全な値である。また、陽極孔の径を30mm（陽極内径50mm）とビームサイズに比べて十分大きい値に選び、電子ビームのハローが陽極に衝突し発生する陽イオンが逆流してフォトカソードにダメージを与えるのを防ぐ形状とした。トリプルジャンクション付近の表面電界は陰極真空側17kV/cm、陰極大気側16kV/cm、陽極真空側12kV/cm、陽極大気側13kV/cmであり沿面絶縁破壊の起こらない安全な値であると思われる。図2に初段電極の等ポテンシャル線の様子を示す。

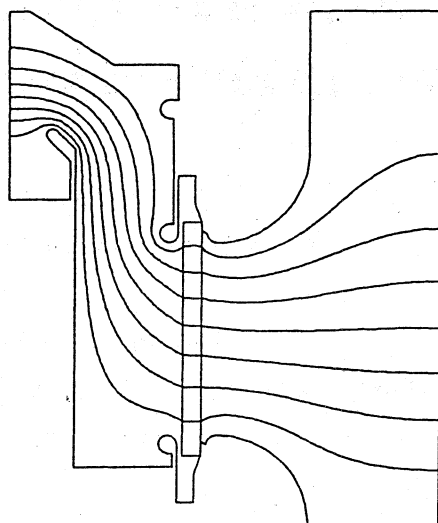


図2 初段電極の等ポテンシャル線

2段目（3段目）加速電極のギャップは電子ビームの経路からはセラミックスを見えなくするように30mmと初段より短い値とした。電極先端の曲率を4mmとして電界計算を行った結果、加速電極の最大表面電界は陰極側で14kV/cm、陽極側で37kV/cm、トリプルジャンクション付近の表面電界は初段加速電極と同じという結果が得られた。初段電極と同様に絶縁破壊は起こらないと思われる。

3. 電子ビーム軌道計算

前節で決定した加速電極構造を用いて、シミュレーションコードEGUNを使いフォトカソードから100mmの位置（40keV加速後）でのビームエミッタンスのレーザー径依存性を調べた[5]。電流値100mA、50mA、10mAに対する結果をそれぞれ図3に示す。

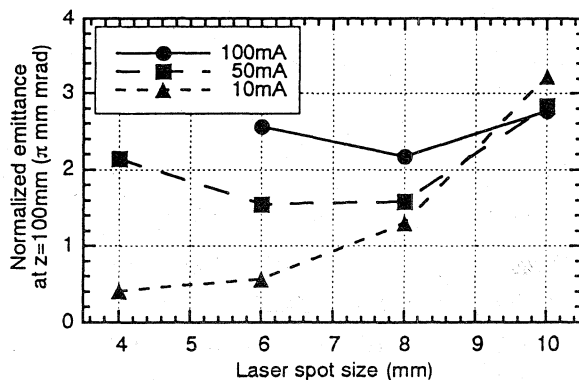


図3 エミッタンスのレーザー径依存性

この結果は最小のビームエミッタンスを与えるレーザー径の最適値が引き出す電流値に依存することを示しており、加速器の運転状況によってレーザー径を変化させる必要があることを示している。図4に電流値100mA、レーザー径8mmでの電子ビーム軌道図を示す。

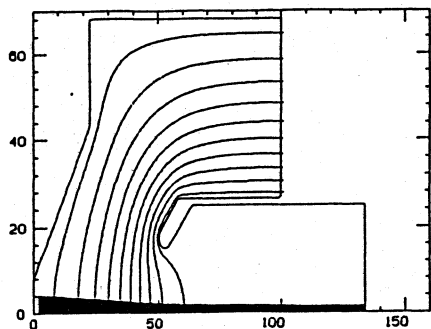


図4 電子ビーム軌道図

4. 電極表面処理

暗電流を削減する為に電極の表面処理は不可欠な作業である。電極材料にはステンレスSUS316Lを選んだ。電極表面の研磨方法として電界複合研磨を採用した。電界複合研磨によって金属表面の凹凸が 0.1μ 以下に抑えられることが報告されている[6]。図5に電界複合研磨処理を施したステンレス表面の写真を示す。旋盤による切削の痕跡が依然残っているものの全体的に滑らかに仕上がっている様子が見られる。

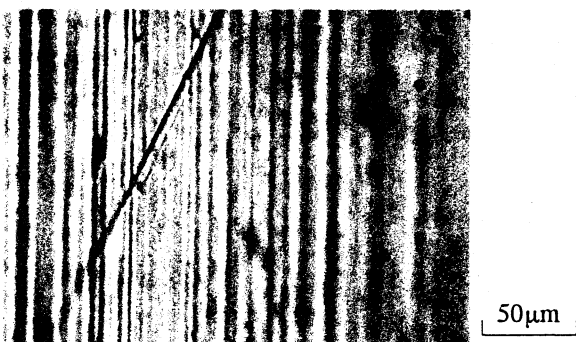


図5 電界複合研磨処理をした電極表面

表面処理の最終過程には抵抗値 $18M\Omega$ cmの超純水洗浄を行った。放電暗電流の種となる金属表面に付着した埃を取り除くのに超純水洗浄が有効であると言われており、実際、RFキャビティの暗電流削減に非常に有効であることがKEKグループにより報告されている[7]。

超純水洗浄後、各電極をそれぞれ窒素封入パックをしてボン大学に輸送し、組み立てを行った。

5. 高電圧印加試験

-120kVの直流電源電圧を3本の分圧抵抗(一本当り $100M\Omega$)を使い40kVずつ3分割して各電極間に印加した。初段電極間に流れる暗電流の測定結果を図5に示す。第2段及び第3段電極に対してもほぼ同じ結果が得られ、全暗電流を約10nAまで削減できたことを確認した。

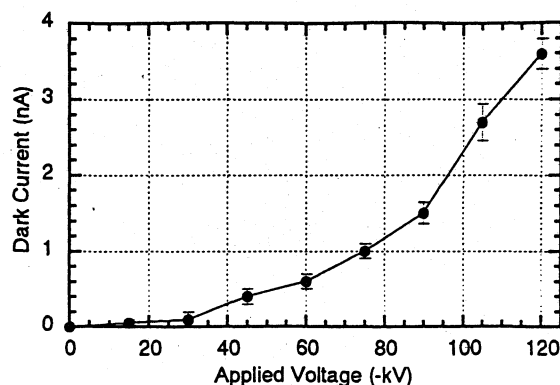


図6 初段加速電極の暗電流

6. まとめ

ボン大学偏極電子銃の加速電極の設計、製作を行った。-120kVの高電圧印加試験ではシステム全体の暗電流が10nA以下という非常に良好な結果を得ることに成功した。現在、偏極電子銃から20MeVリニアックまでのビーム移送系の構築及びパルスレーザー照射による電子ビーム引き出し試験の準備を行っており、近日中にELSAへの偏極電子ビームの入射を行う予定である。

参考文献

- [1] ELSA Proposal, "Measurement of the Drell-Hearn-Gerasimov Sum Rule"
- [2] T.Nakanishi et.al., Phys. Lett. A158(1991)345-349
- [3] BONN-IR-87-30
- [4] LA-UR-87-115
- [5] W.B.Herrmannsfeldt, SLAC-Report-331 (1988)
- [6] Y.BABA and K.SATO, 15th International Symposium on Discharge and Electrical Insulation in Vacuum, 1992, Darmstadt
- [7] M.Yoshioka et.al., Proceedings of the 1994 International Linac Conference, vol.1, 302-304