

500keV電子銃開発への提言

～200keV電子銃開発の観点から～

名古屋大学 偏極電子源グループ

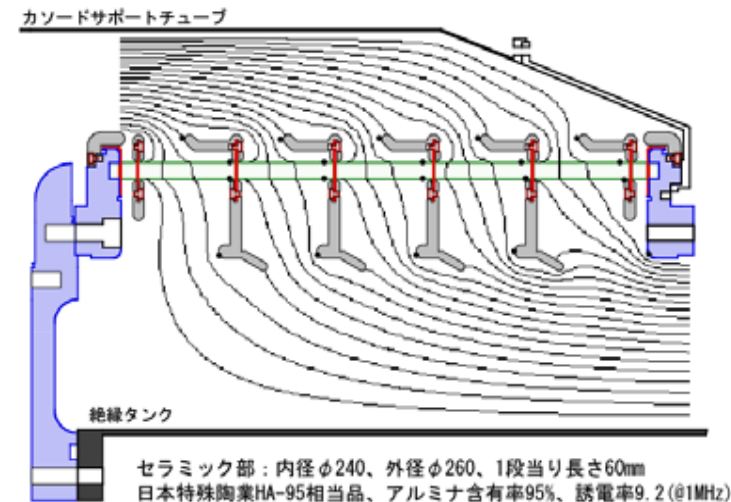
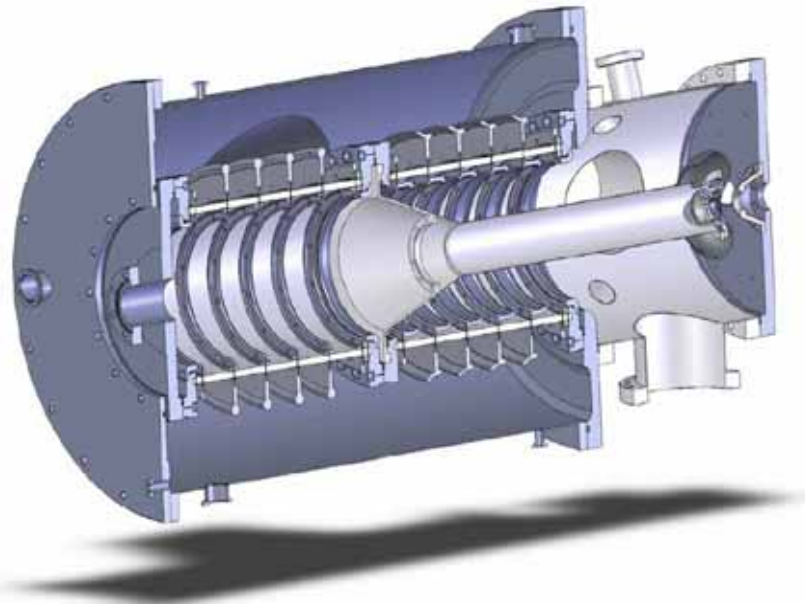
200keV電子銃開発のこれまでの失敗と実績

高電圧・高電界対策

※多段分割式耐圧セラミック ※チタン・モリブデン電極

最大8.6MV/m(220kV時)、暗電流<10nA

運転電圧200kVにて暗電流 ≤ 1 nA、500時間以上維持可能



当初はセラミックロウ付け方法に問題があり
ベーキングによるリークが発生したが、熱膨張
の逃げを考慮して問題解決。
高圧印加に伴う放電・リーク発生のトラブルは無い。
モリブデン電極は溶接過程で割れが発生したが、
溶接条件が見つかりほぼ解決。



200keV電子銃開発のこれまでの失敗と実績

真空対策

※200°C100時間ベーク ※クロム酸化膜処理

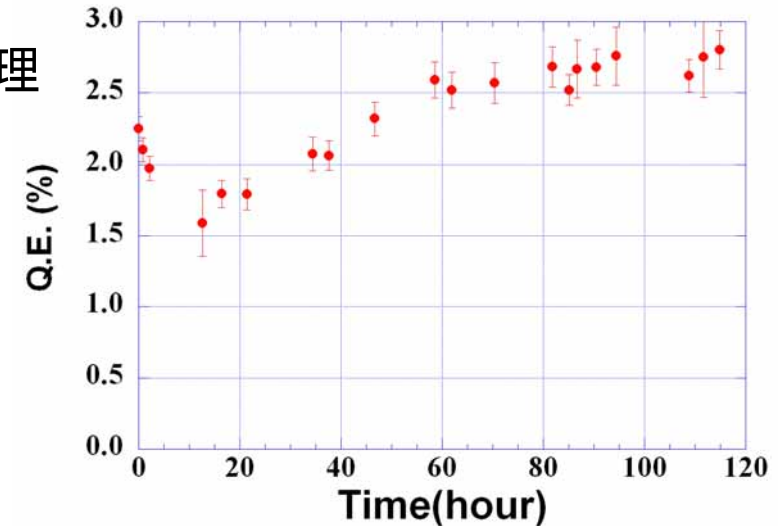
※電解研磨 ※大型NEGの採用

到達真空度 $2 \times 10^{-9} \text{Pa}$

(NEG増強時 $5.7 \times 10^{-10} \text{Pa}$)

Dark-Lifetime 数百時間以上

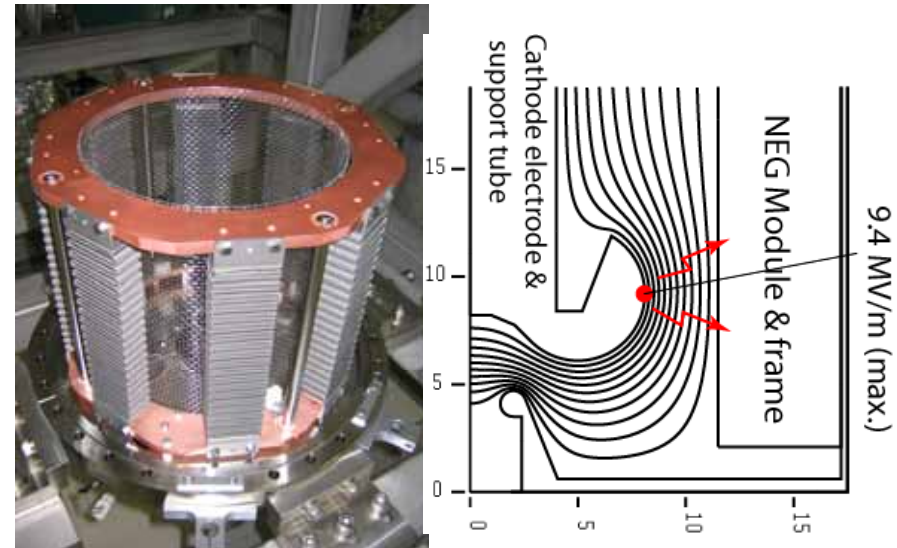
(立上げ当初(2000年頃)のDark-Lifetimeは数十時間。)



Gun chamberに十分なスペースが無く、NEG増強時は暗電流増加し200kV印加できず。さらに、NEG粉体がカソード電極上に付着し、電界放出がさらに増加。

電子銃改造による真空度改善は困難。

教訓: 設計段階でNEG増設可能に十分なスペースを確保する必要がある。



200keV電子銃開発のこれまでの失敗と実績

寿命・ビーム試験

1.Mott測定器による偏極度測定

工学研究科竹田研究室の協力により迅速・系統的なフォトカソード開発のできる環境。

2005年度～現在まで20サンプル以上の結晶交換・測定を実施。(bulk-GaAs含め)

NPES-3用丸型基板GaAs-GaAsP歪み超格子開発 P~86% QE~0.2%

歪み補償型GaAs-GaAsP歪み超格子フォトカソード開発 P~77% QE~0.8%

2.Pepper-Pot法による初期エミッタンス測定

GaAs,GaAs-GaAsP超格子について測定

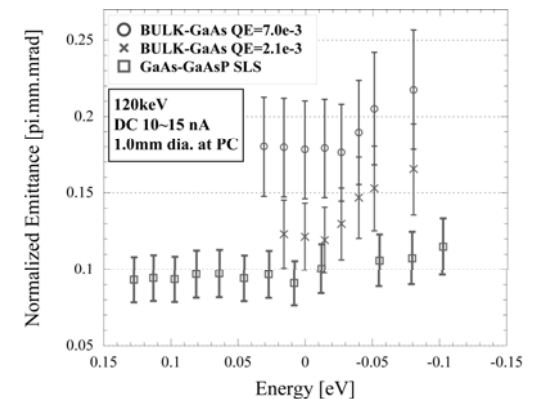
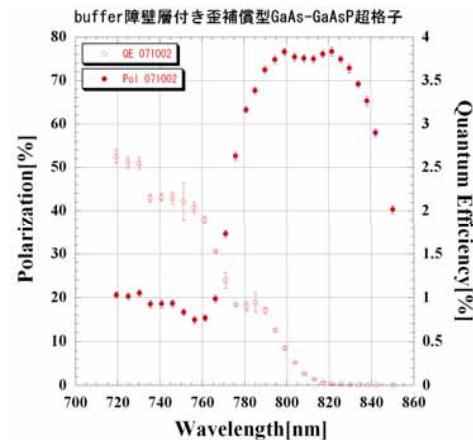
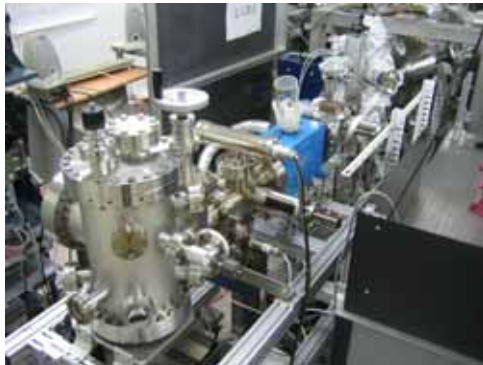
初期エミッタンス ~0.1 π .mm.mradを実測

初期エミッタンスでも超格子結晶が有利な結果

②



①



200keV電子銃開発のこれまでの失敗と実績

寿命・ビーム試験(続き)

3.NEG-module付きbeam-dumpを用いた
 寿命測定 & QE-mapping
 2008年6月時点で 200keV, 50 μ A, ~120時間
 アノード下流部で発生したイオンの逆流でダメージ
 ビーム損失の少ないビーム光学系、移送系が必要。

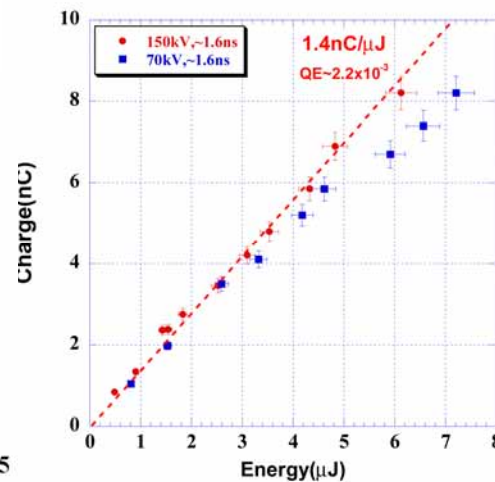
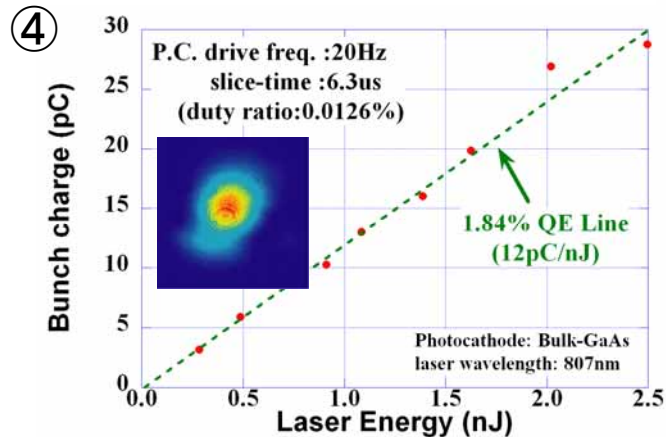
4.ナノ秒・ピコ秒電子ビームの生成

GaAs-GaAsP超格子フォトカソード

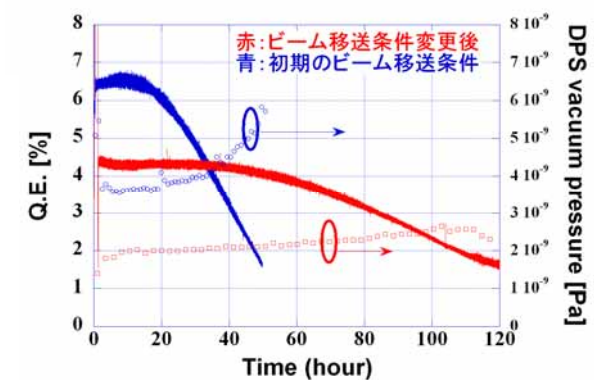
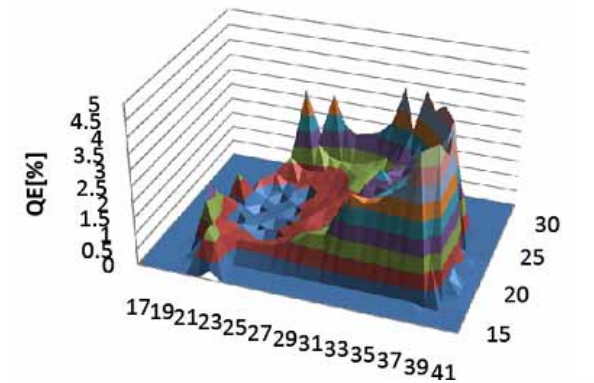
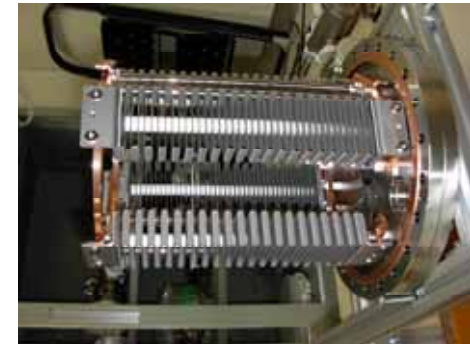
- ・1.6ns幅にて8nC/bunch
- ・25ps幅にて3.3pC/bunch (~ ϕ 1mm)

Bulk-GaAsフォトカソード

- ・28ps幅にて30pC/bunch



③



200keV電子銃で可能なメニュー

昨年までのおよそ10年間近く装置(電子銃)の立上げに時間を要した。
ようやくこれからが本番試験！

※ビーム移送系改良、NEA領域制限による長寿命化

※初期エミッタンス測定によるフォトカソード開発

※数十pC/bunchビーム生成、エミッタンス測定

※電源出力増強による大電流試験

など、原理実証的・基礎的な試験が行える。

名古屋グループでは特にビーム移送系やモニター系に関する開発
経験や実績が少ない。経験ある方の協力が不可欠。

NEA表面寿命の比較

200keV-Gun (2008.Jun)	50 μ A, ~120時間	⇒	~20C
J-LAB 100keV-Gun	10mA, ~5時間	⇒	~200C
ERL-Gun最低目標	10mA, 30時間	⇒	~1000 C

J-labとの差の要因は、①NEA領域の制限、②NEG-coat beam pipeの採用の効果が効いていると考えられる。

500keV電子銃開発に不可欠と思われる基礎研究項目

極高真空対策

- * 真空容器素材、表面処理法の試験・選定
- * 排気系の開発・増強

高電圧・高電界対策

- * セラミック材料・構造の開発
- * 低暗電流・放電耐性材料の開発

加わる新たな問題への対策

- * フォトカソード加熱問題の調査
- * フォトカソード開発
- * 高圧部冷却手法の開発

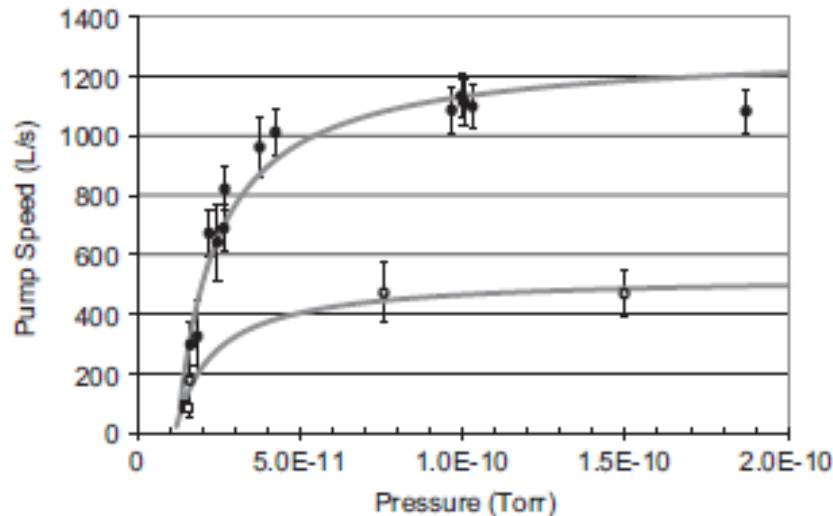
200keV電子銃の開発では、暗電流に対する徹底的な基礎研究を行い、その成果を応用して初めて定常的な運転が可能になった。
500keV電子銃開発では特に超高真空対策に徹底した基礎研究が必要だと考える。

電子銃の真空について

- ※極高真空を作製できた確かな実績のある素材、表面処理法を採用。
- ※本体容器にNEGモジュールを十分に設置できるスペースを確保する。

- * フォトカソード周囲を重点的に排気する
- * NEG粉体が電極にかからない構造にする必要有り

- ※本体容器の粗排気口は十分大きく取り排気速度の大きなTMPで引ける構造
- * NEG活性化時に大量に放出されるガスを十分かき出さないと、NEG自身もつ十分に低い平衡圧力($<10^{-10}$ Pa)が得られずポンプ作用が得られない。極高真空環境下でのNEG排気速度に関してまだ十分解明されていない。



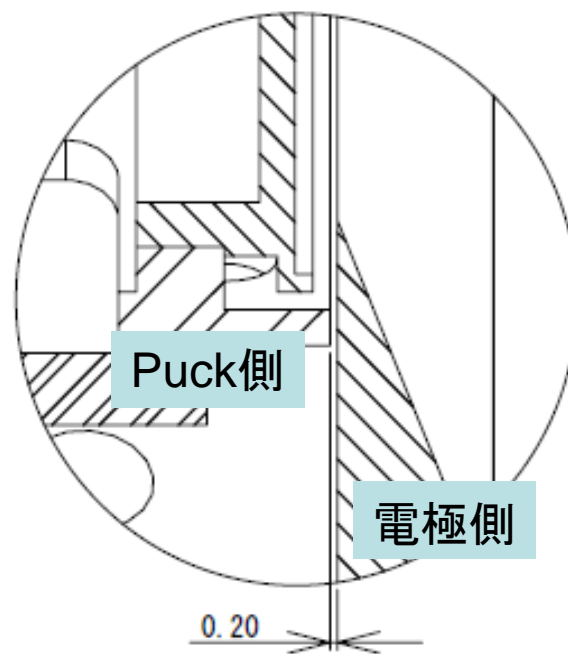
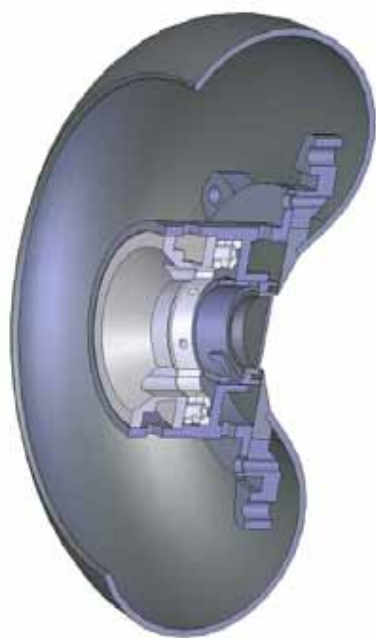
J-Labグループによるスループット法を用いたNEG排気速度試験。

NEGポンプ2倍で排気速度を上げるが到達真空度は変わっていない結果。活性化時の排気は十分だったのか？

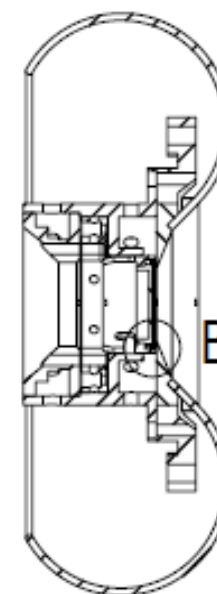
M.L.Stutzman et al., (2007) NIM-A より抜粋

電極等について

- ※カソードサポート管、真空部のガードリングにはチタンを採用する。
- ※アノードは純チタン、カソードはモリブデン。カソード材は純チタンでも良いと思われるが、チタンの場合、放電時のダメージに耐性があるかは不明。
- ※フォトカソードの脱着時に発生するパーティクルが電極表面に出てこない構造とする。(結晶・Puckが電極に直接触れない構造)
- ※構造をできるだけシンプルにして、部品のガス抜き加工等を徹底する。
- ※アノード駆動機構をどうするか。



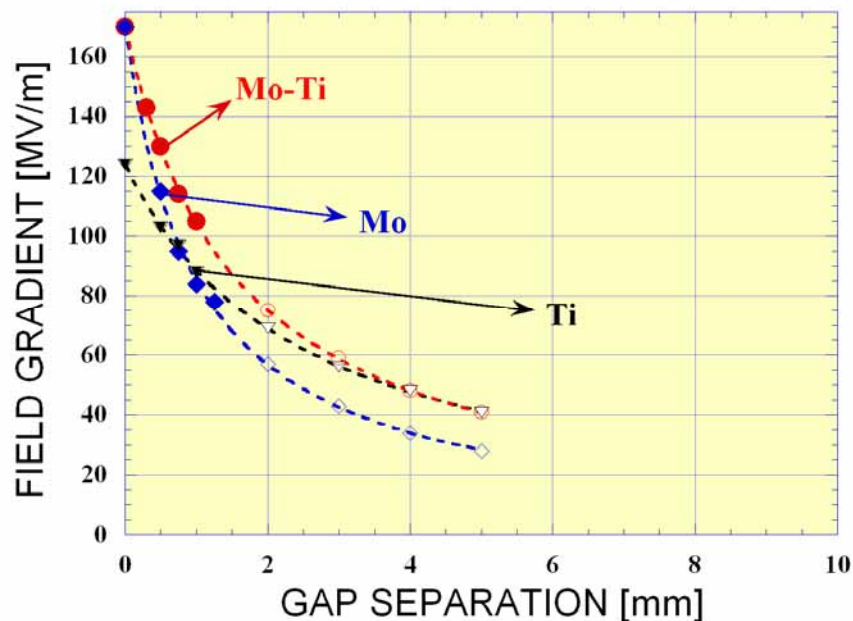
詳細 B
スケール 5 : 1



断面図 A-A

印加電圧と電界強度限界について

- ・200kV電子銃では現時点(2008/Jun)にて電極間放電開始電圧225kVより安定的に運転できる状態では~8.5MV/m程度。コンディショニングでどこまで改善が可能かは今後の課題。(もし300kV印加可能なら約12MV/m)
- ・印加電圧上昇による電界強度限界の低下の関係がはっきりわからないが、上記の結果から500kV時の限界を7~8MV/m程度に設定すべきではないだろうか。(この値でも安全であるといえる確証はないが。)



Dark-Currentが1nAに達する点の電極間Gapと陰極表面の電界強度の関係。(古田史生氏D論データより見積り)

1mm程度のGap依存性測定の結果がどこまで適応できるかは不明だが、Gap5mm程度ですでに40MV/mまで低下。

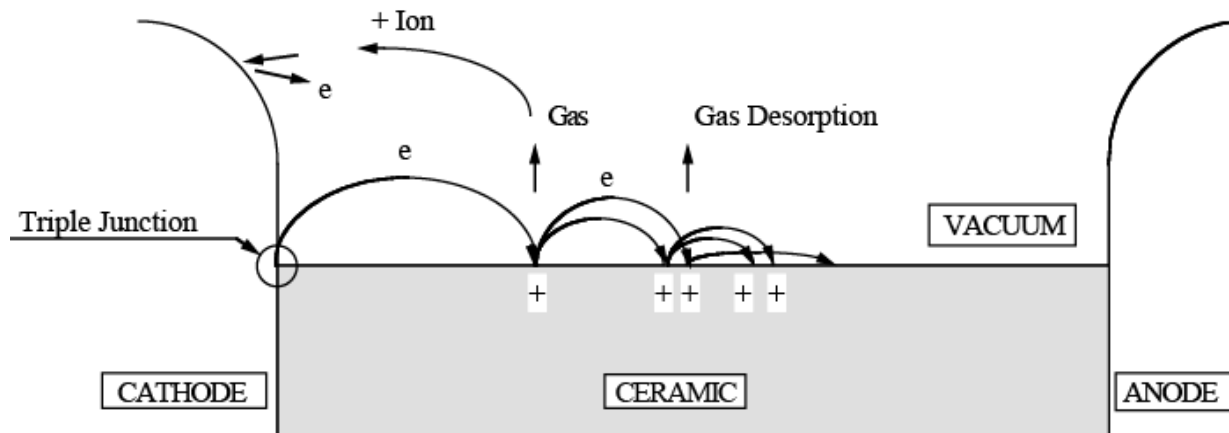
セラミックについて

高圧印加時のセラミックのリークトラブルは、以下の2点どちらが(どちらも)主要か？

- ① サポート管からの電界放出暗電流が直接セラミックをたたく
- ② ①やtriple-junctionを起点に発生する2次電子の雪崩的な増大

NPES-3では碍子部はサポート管より部分的に見えている構造だが、沿面放電の開始点となり得るトリプルジャンクション部の電界強度を低く抑え、2次電子の雪崩現象の阻止する事に重点を置いた設計。現在のところサポート管-セラミック部の放電やリーク発生などの問題は特に発生していない。

①の対策が最も確実であるが、もし②の対策で十分であれば、ガードリングの径を大きくすることでサポート管の最大表面電界を下げる設計が考えられる。ICFに限らず、メタルリングシールを含め、選択できる最大のセラミック径は？



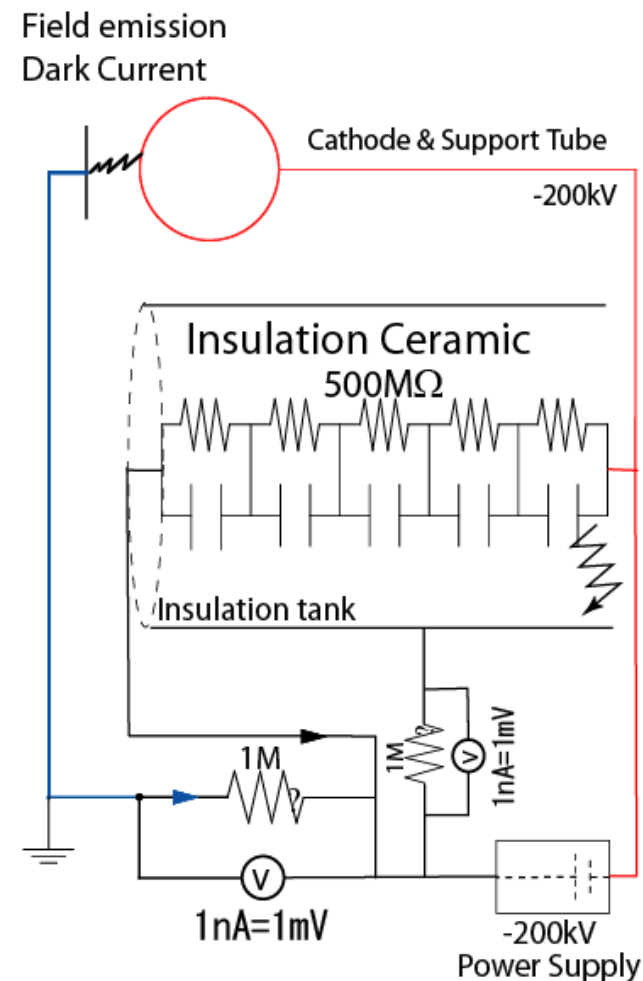
高圧電源、電流モニターについて

※電極等のコンディショニングの際は放電によるダメージを防ぐため、運転モードとコンディショニングモードの様な切替えの仕組みが必要。

※運転時に放電が起こらないようにするため、運転電圧の~1.3倍程度が必要。

※無負荷(ビーム引出し無し)時に微小暗電流をモニターできるシステムが必要。

※放電箇所がある程度特定できる仕組みがあれば問題解決に役立つ200keV電子銃では、タンク側、真空側のどちらで暗電流や放電が発生しているかが判別できる。



フォトカソード開発および加熱問題について

※Eg~532nmの低エミッタンスフォトカソード開発。

- ・この開発が成功すれば800nm帯のドライブレザーの技術的な困難が緩和もしくは解決される可能性あり。
- ・この領域で超格子結晶の作製可能ならば、構造の工夫次第で初期エミッタンスを低く抑えられる可能性あり。

※レーザーによる加熱問題

* どの程度のレーザーパワー(および密度)でNEA表面がダメージを受け始めるか要調査。(早急課題)

* 透過光吸収型にすることでレーザーによる加熱を数分の1に抑えられる。
電子顕微鏡用に開発された透過光吸収型フォトカソードでは、パワー密度 $400\text{W}/\text{mm}^2$ を超える条件下(ビーム引出しは無し)で数時間の測定ではあるが、QEに変化は見られなかった。(山本尚人氏D論)

* 電子銃の構造、フォトカソード受渡し機構によりカソード冷却方法が制約を受ける。構造決定初期の段階から冷却方法を考慮する必要あり。