

ERL用高輝度電子銃開発

2010年4月22日
ERL評価専門委員会

高エネルギー加速器研究機構
山本将博

ERL用電子銃開発主要メンバー



R. Hajima, N. Nishimori, R. Nagai
Japan Atomic Energy Agency (JA EA)



T. Miyajima, Y. Honda, M. Yamamoto , K. Sato,
T. Uchiyama, E. Nakamura, Y. Saito, M. Kobayashi
KEK



M. Kuriki, H. Iijima, C. Shonaka, D. Kubo, S. Matsuba (KEK)
Hiroshima University



M. Kuwahara, T. Ujihara, Y. Takeda , S. Okumi, T. Nakanishi
Nagoya University



H. Kurisu
Yamaguchi University

cERLでの最初の目標

- ・ビーム電流 10mA
(7.7pC/bunch, 20ps, 1.3GHz)
- ・規格化エミッタンス
0.5 pi.mm.mrad以下
- ・カソード寿命 30時間以上
(Charge lifetimeで1000C以上)

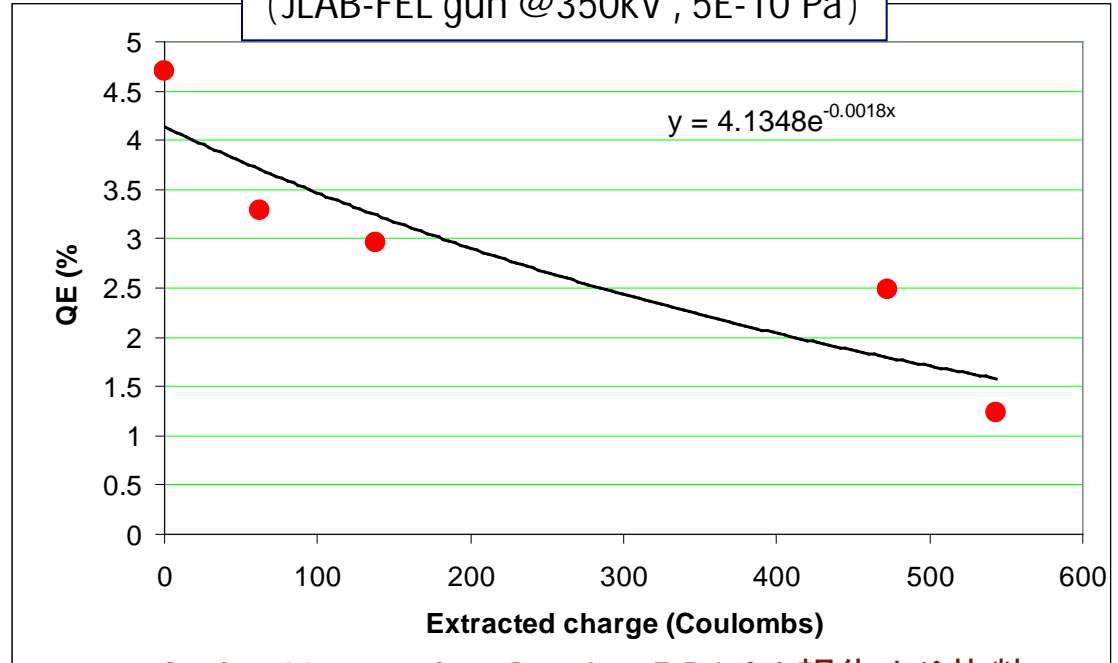
JLAB-FEL gun
(500 Coulombs@5mA)
を超える。

・性能仕様

* 電子銃

- 加速電圧 500kV以上
- 真空度 3E-10 Pa以下(運転時)
- 電極間暗電流 10nA以下
- ロードロックによるカソード交換機能

出力電流5mA時のカソード寿命
(JLAB-FEL gun @350kV, 5E-10 Pa)



Carlos Hernandez-Garcia, ERL 09 報告より抜粋

* ビーム移送系

- 電子銃出力部の真空度 E-10Pa台
- 初段加速空洞までのビーム損失
1E-5以下(絶対量として100nA以下)

開発の指針

【高電圧系】

* 安定に高電圧をかけられるシステムとする。

- ・セラミック管の絶縁破壊問題への対応
分割型セラミック管を採用。
- ・低暗電流を実現できる材料の選択
電極材料としてチタン、モリブデンを採用。



【真空系】

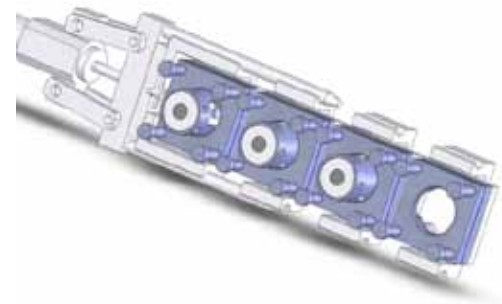
* $1\text{E}-10$ Pa以下を狙える真空システムを構築する。

- ・ガス放出速度の小さいチタン材を用いて構成。
- ・極高真空環境においても高い排気速度を有するポンプを採用。

【カソード準備系】

* 実際の運転状況を考慮し、カソードを効率よく準備できるシステムを構築する。

- ・カソードStockシステム, 多重Puckシステム。



・開発の指針(つづき)

【カソード開発】

- ・高量子効率化、早い応答性 → カソード構造の最適化
- ・低い熱エミッタンス → 超格子構造
- ・レーザー加熱問題の解決 → 透過光吸収型カソード

KEKでは200kV電子銃を利用してカソード評価を行う。

【JAEAとKEKサイトで電子銃を開発することに関して】

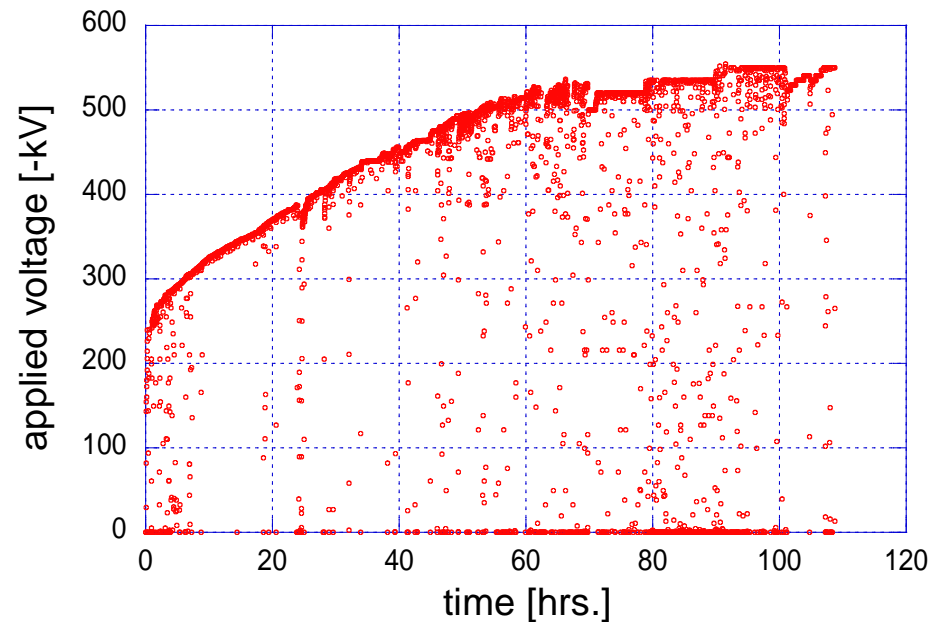
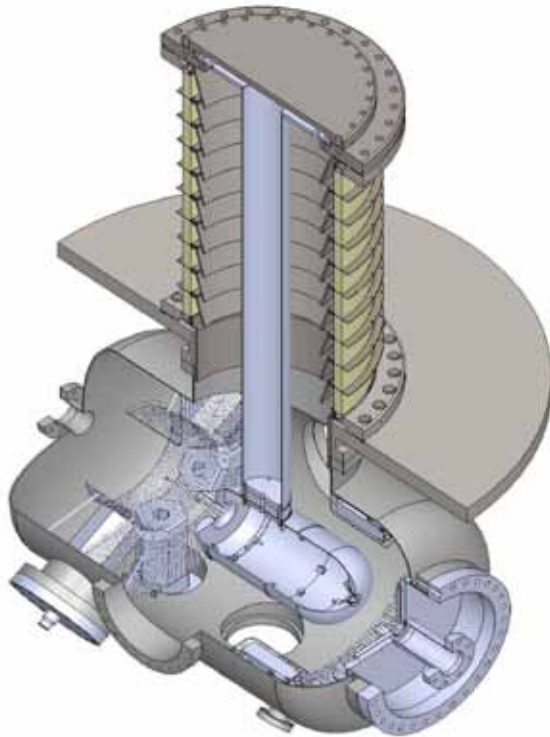
- ・電子銃は開発要素が多く、未だ開発途上の段階でさらなるR&Dが必要。
- ・東カウンターホールへ移設の際は、そのタイミングで性能が優れている電子銃をインストールし、別の1台はバックアップ・R&D機として目標以上のビーム性能を実現すべく開発研究を続ける。
- ・KEK電子銃は、セラミック管など重要な部品などJAEA電子銃と接続部を共通化させ、インストールした電子銃に重大な故障が発生した場合に、交換対応ができるようにする。

これまでの状況(1)

【JAEA:500kV第一電子銃】

電子銃容器は低ガス放出速度を実現可能なチタン製。
セラミック管は分割型を採用し、カソードサポート付で初めて500kV印加に成功する。(2010年3月10日プレスリリース)

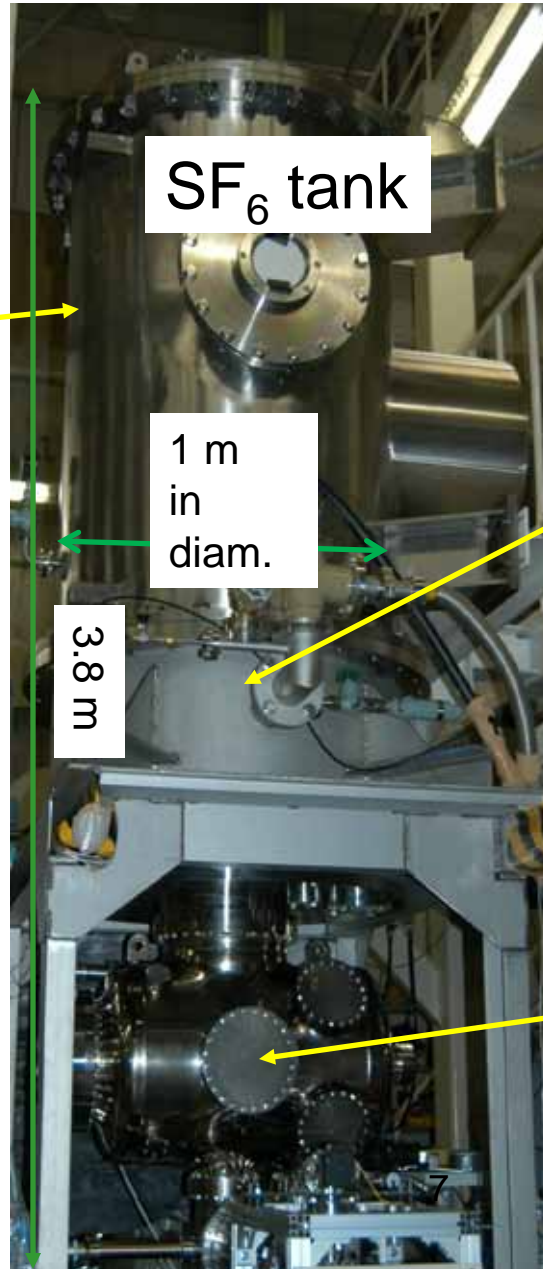
極高真空生成は現在挑戦中。カソード準備系もほぼ整備され、電子銃の真空生成が完了次第カソードを電子銃へ送る準備を進めている状況。



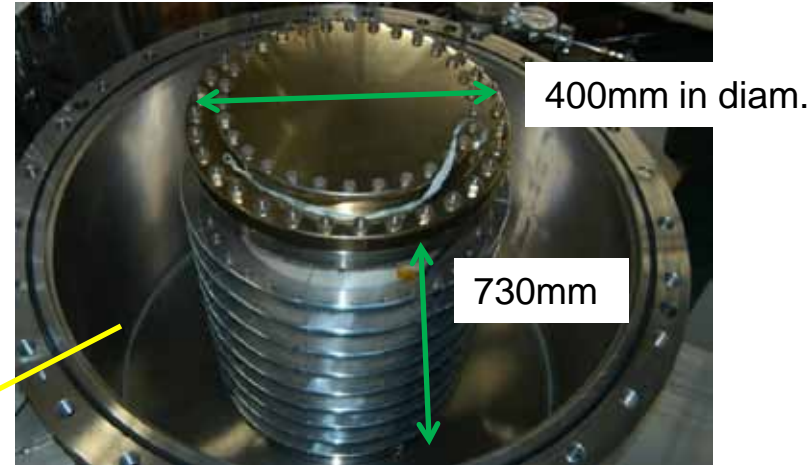
R. Nagai et al., "High-voltage testing of a 500-kV dc photocathode electron gun", published in RSI.

これまでの状況(2) 【JAEA:500kV第一電子銃】

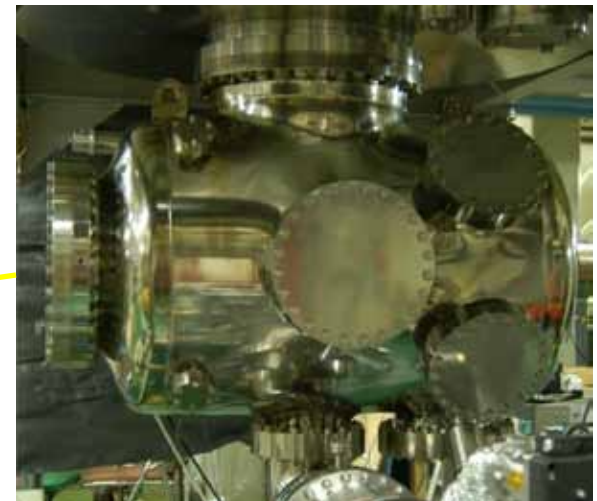
550kV Cockcroft
Walton power supply



segmented insulator

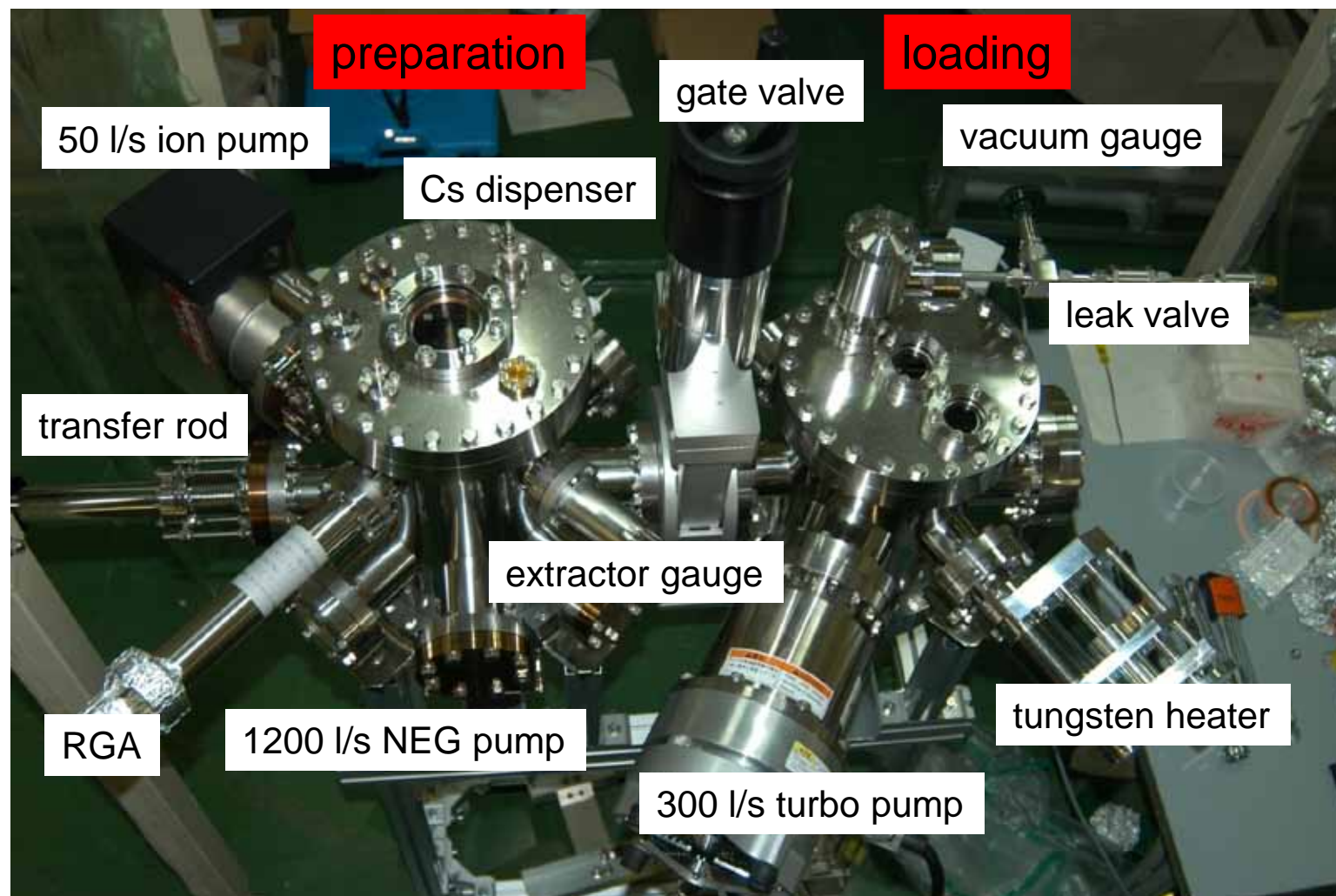


gun chamber made of titanium



これまでの状況(3) 【JAEA:500kV第一電子銃】

Cathode preparation system



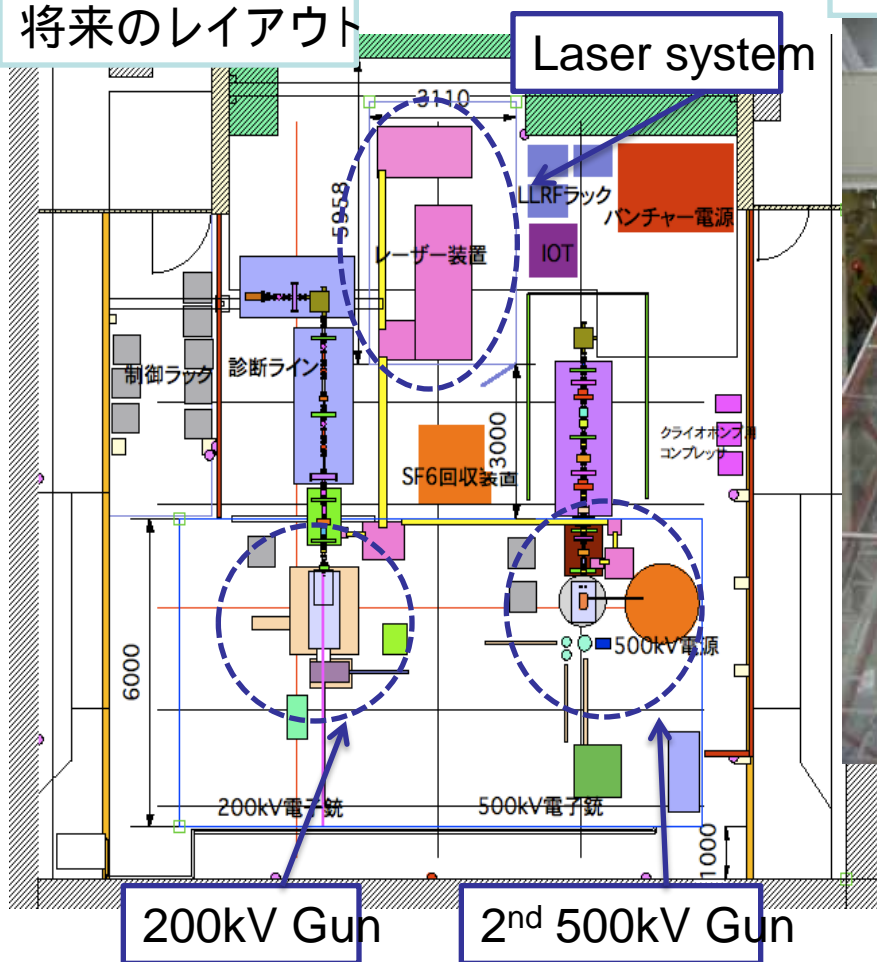
Vacuum: 5×10^{-10} Pa at preparation, $<5.0 \times 10^{-8}$ Pa at loading.

これまでの状況(4)

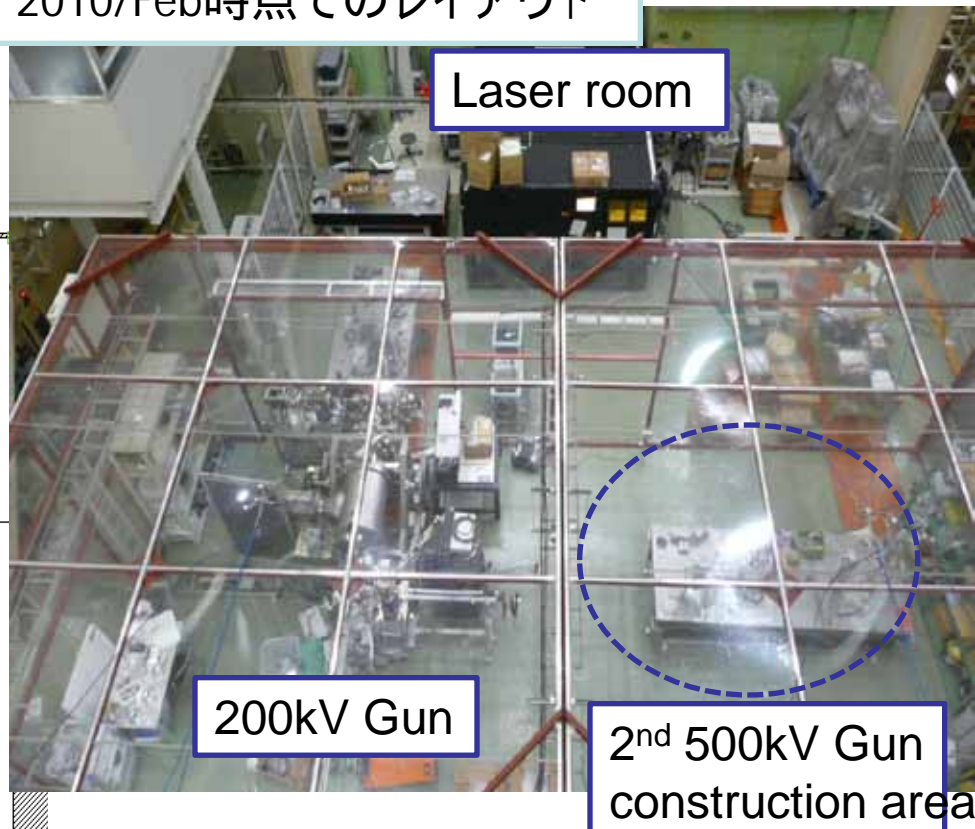
Photocathode DC Gun Test Facility at KEK

PF-AR南棟実験エリア

将来のレイアウト



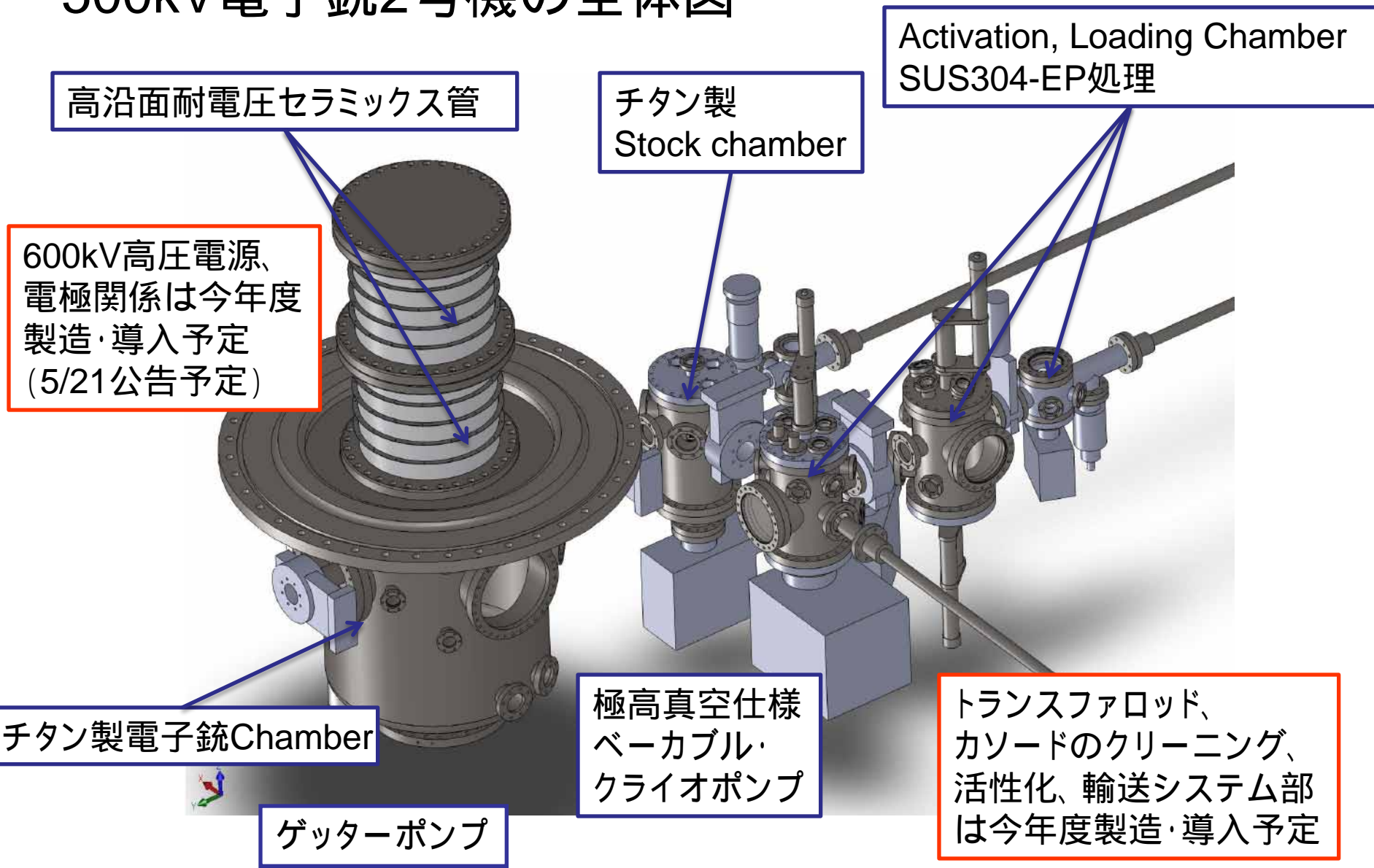
2010/Feb時点でのレイアウト



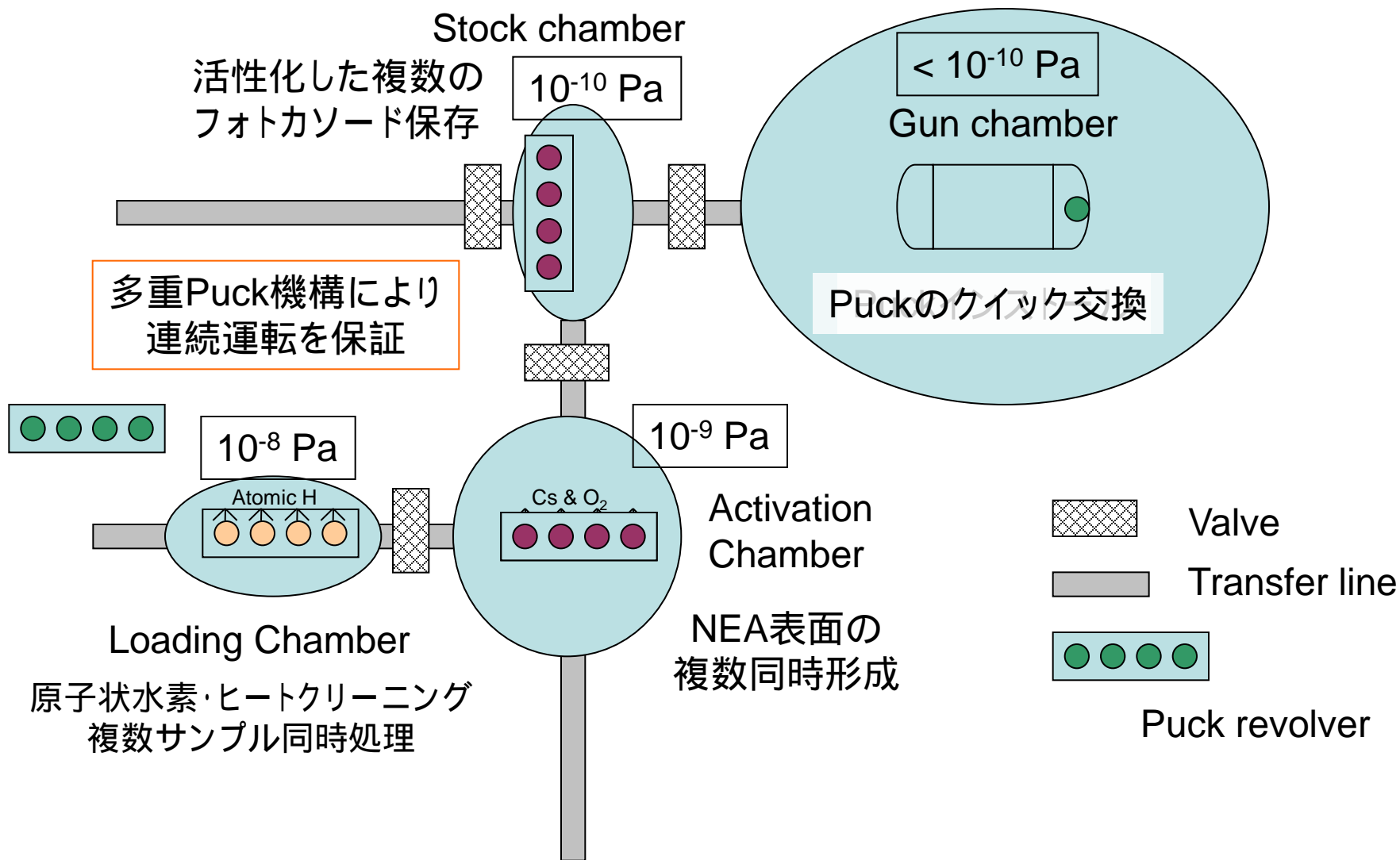
昨年、名古屋大よりAR南棟へ移設、今月初旬よりビーム試験を開始している。500kV電子銃評価のためのビーム診断系の調整を200kV電子銃にて5月以降から開始。

これまでの状況(5)

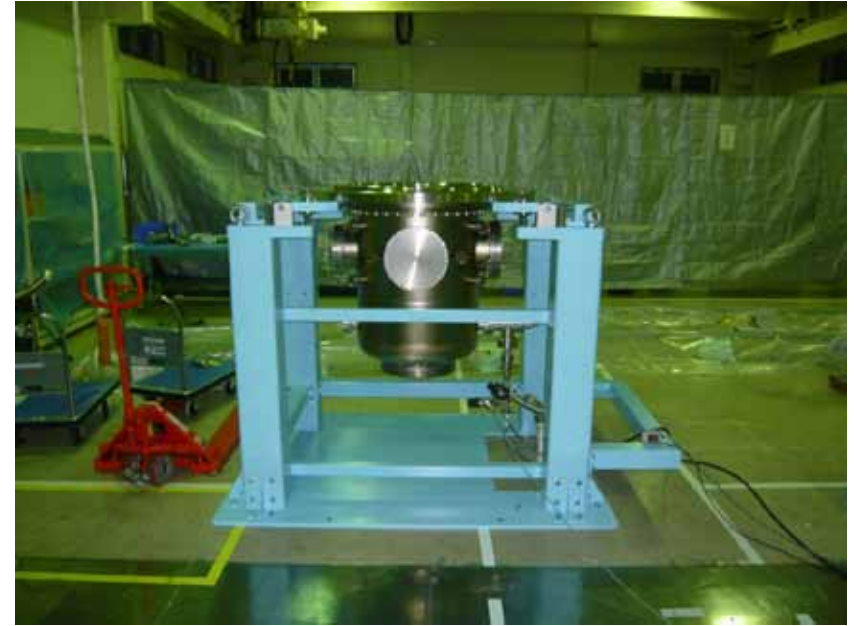
500kV電子銃2号機の全体図



これまでの状況(6) ERL電子銃のためのロードロックシステム



これまでの状況(7) **500kV電子銃チタンChamber**



納入前にガス放出速度の測定試験を実施。(コヤマエレクトロン社)
測定法:流量法　オリフィス径 ϕ 3mm、コンダクタンス $C=6.3E-4$ m³/s

全ガス放出速度 $Q= \underline{2.26E-10}$ Pa.m³/s

ただし、ステンレス製のガス放出速度測定系自身からの全ガス放出速度がE-10 Pa.m³/s台であったことから、チタン製電子銃Chamberからのガス放出速度はE-11 Pa.m³/s台以下(SUSとの比較で1/10以下)であると推測される。

これまでの状況(8) カソード準備系Chamber



ベークブルクライオポンプ、排気速度測定系



今後の予定 (AR南棟エリア)

500kV電子銃2号機の開発

2010年度 電子銃・カソード準備系の真空試験

電極の設計・多重カソードシステムの詳細設計

2011年度 高電圧試験、多重カソードシステムR&D開始

2012年度～ 寿命試験およびビーム性能試験 (AR南)

実用に耐えうる結果が得られれば東カウンターホールへ
(JAEA電子銃で問題なければ、バックアップ・R&D機として開発続ける)

200kV電子銃 (NPES-3)

2010年度～ ビーム診断系のテスト用ビームの供給

ERL用に開発されたカソードの評価

cERL電子銃のバックアップ

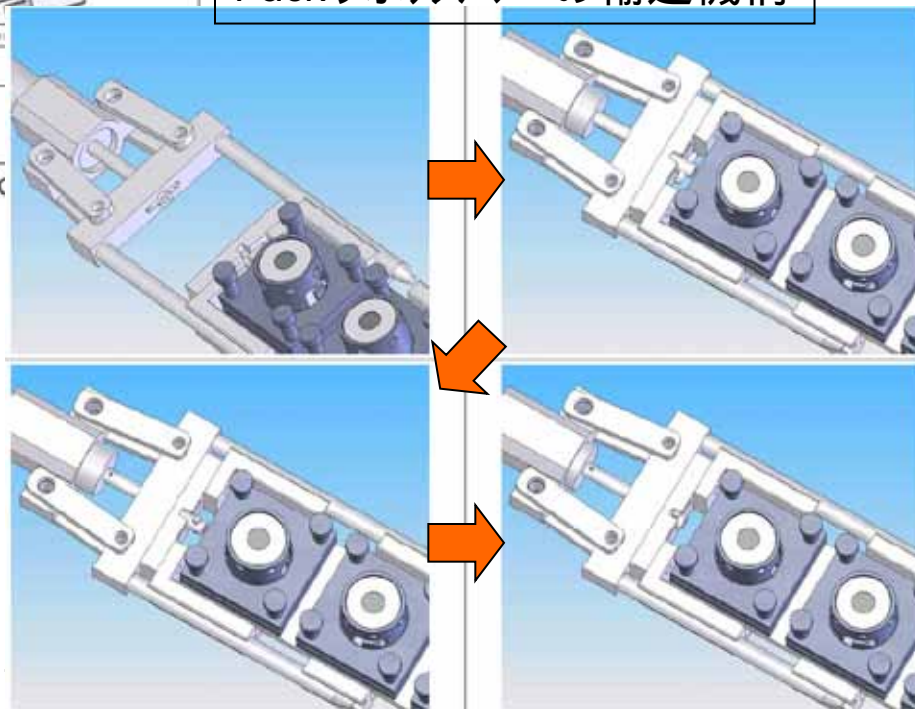
(500kV電子銃インストールが共に難しい状況となった場合)

今年度設計・製作(予定)

多重カソードシステム

他の研究機関では未だ取り入れられていないシステムだが、現状の技術で長期的にビームを供給するには必須なシステムと考える。

Puckリボルバーの輸送機構



Puckリボルバー構造

- ・リボルバー設計
- ・リボルバー輸送・保持機構の開発
- ・多数同時のクリーニング、活性化の条件出し

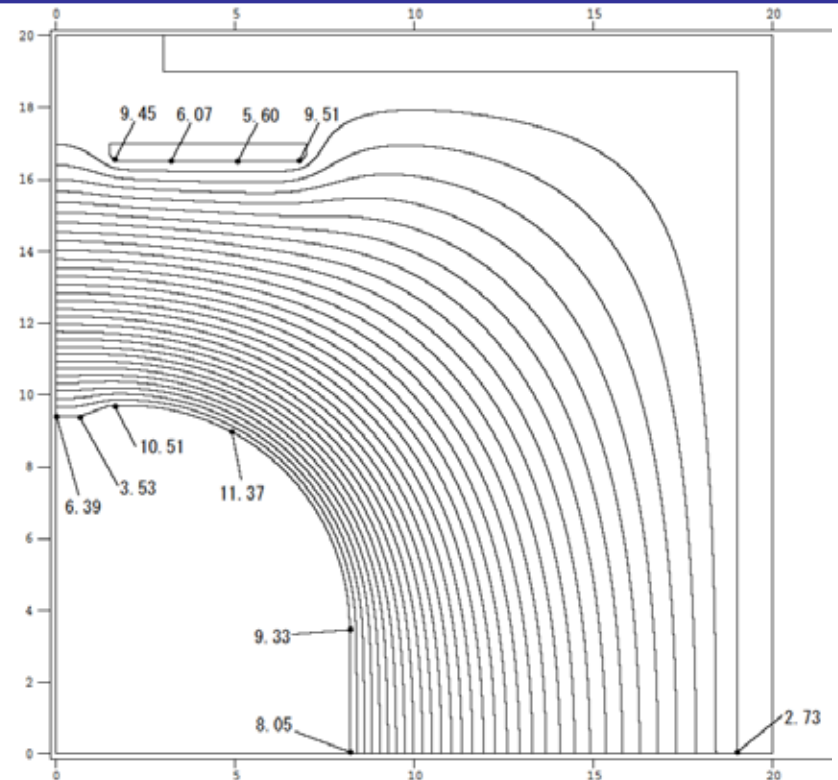
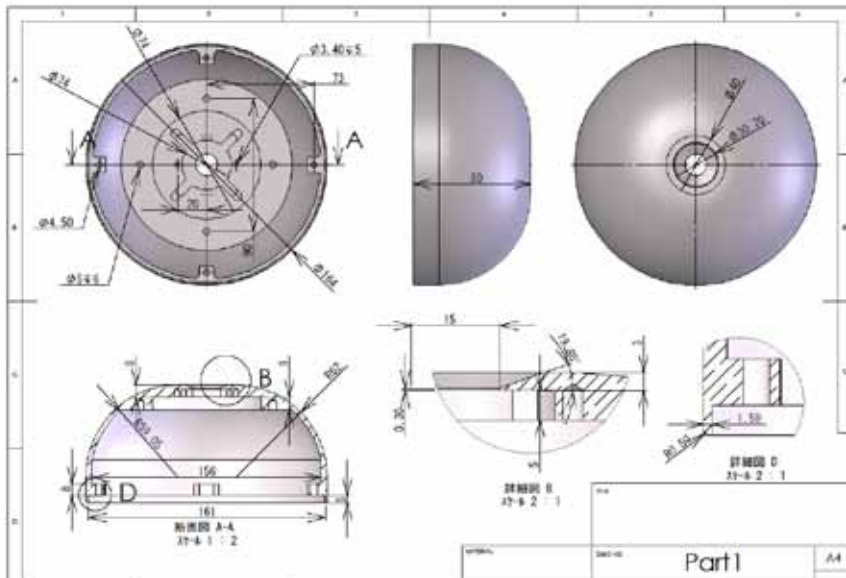
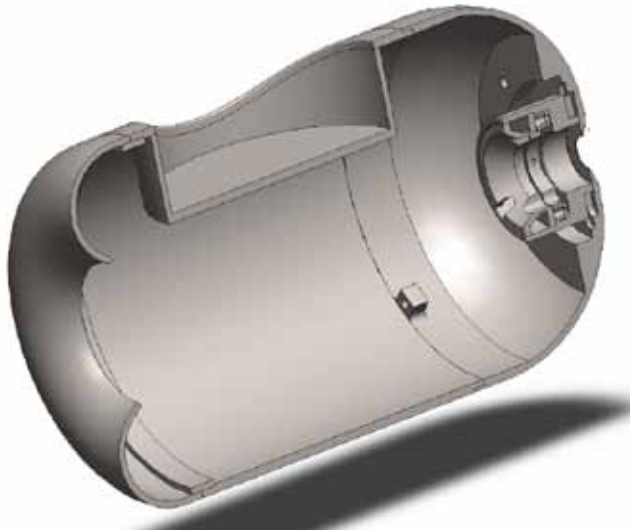
超~極高真空環境で機能するように設計・開発する必要がある。

今年度設計・製作(予定)

高電圧電極関係

- ・カソード・アノード電極
- ・セラミックス管ガード電極
- ・カソードサポート電極

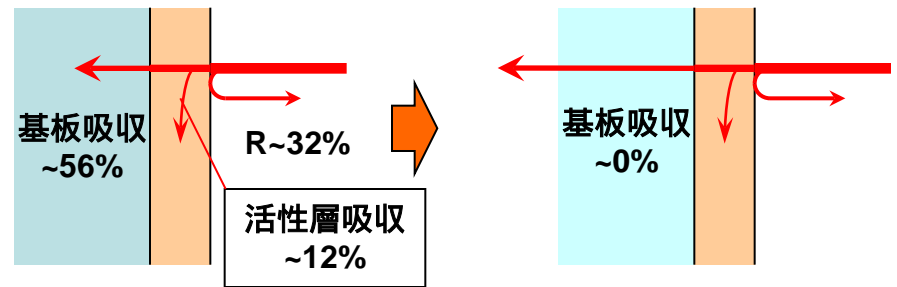
特に、カソード・アノード電極は製造方法とビームダイナミクスの両方を考慮した設計とする。



ERL電子源用半導体フォトカソード

新たに予想される問題

数W以上のレーザー照射により、局所的に結晶が加熱され、NEA表面が失われる可能性が高い。



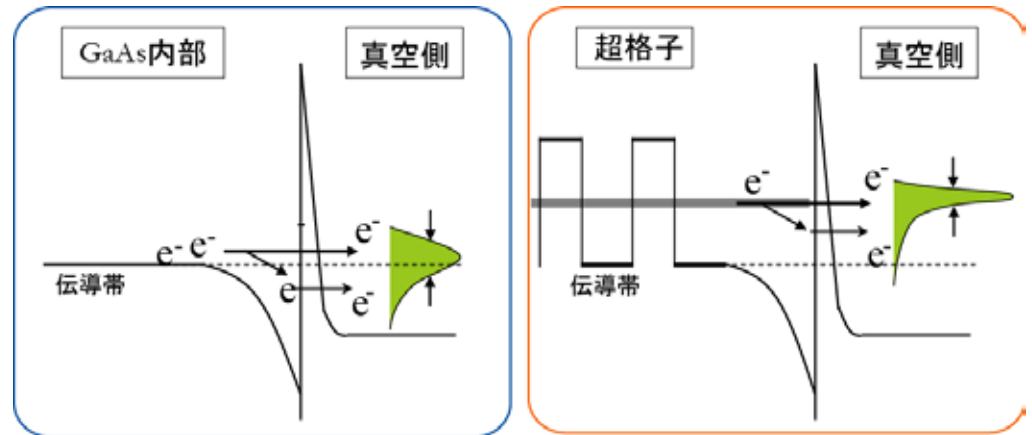
透過型フォトカソードの利用

励起光を透過する基板を用い、基板でのレーザー光吸収を無くす。

Active layer ~ 100 nm
吸収長 ~ 1mm
基板吸収率 ~ 56% → この分をカット！

超格子フォトカソード

伝導帯における閉じ込め効果により、電子のエネルギー幅の広がりが抑えられる可能性。
表面電荷制限の抑制にも効果的。



スピン偏極低速電子顕微鏡 (SPLEEM) 用の背面照射方式透過光吸収型 GaAs-GaAsP超格子フォトカソードはすでに実用化されている。(名古屋大)

N. Yamamoto et al., J. Appl. Phys. 103 (2008) 064905

X.G. Jin et al., J. Crystal Growth 310 (2008) 5039

