

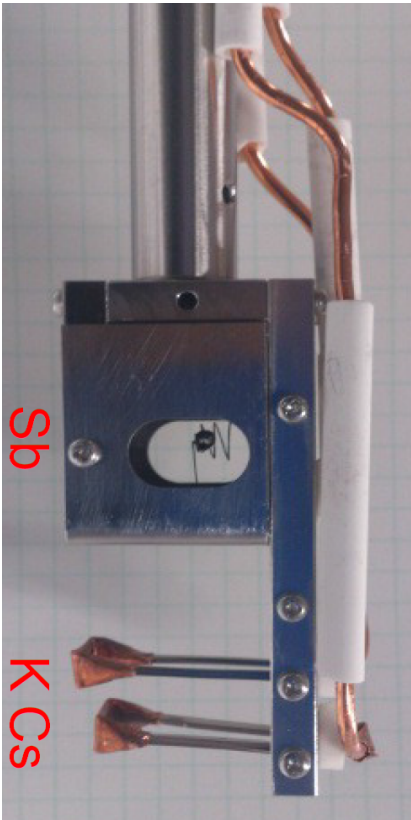
マルチアルカリ光陰極 研究開発情況

2013年12月10日 早稲田大学
広島大学 加速器物理研究室

栗木雅夫、清宮裕史、郭磊、山本記史、三好健太郎、内田和秀

マルチアルカリ試験装置

- SUS基板への蒸着
- QEと膜厚の同時測定を可能にする対称蒸着
- カソード成膜時の基板の温度や蒸着物の膜厚制御



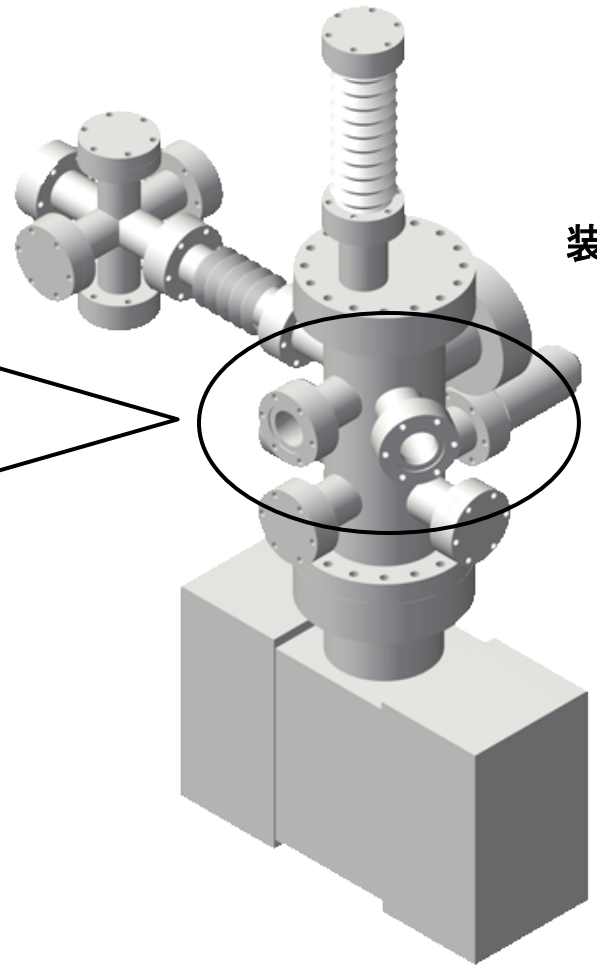
蒸着源
• 複数の材料金属を蒸着

膜厚計
• 蒸着量の制御

光導入

カソード基板
• 光電流測定
• 基板温度制御

装置内部



装置外観

真空度: 約 5×10^{-9} Pa

カソード生成実験

マルチアルカリ生成の手順

1. 基板を600°Cで加熱洗浄(1hour)
2. 基板温度を100°Cまで下げる
3. Sb蒸着 ...膜厚制御
4. K蒸着 ...膜厚制御
5. Cs蒸着 ...光電流がピークに達するまで
6. 基板温度を室温に戻す

BNL、Cornellの生成手順を参考にした
 T. Rao, J. Smedley, et al., *Proceedings of PAC 2011 WEP284*, etc.

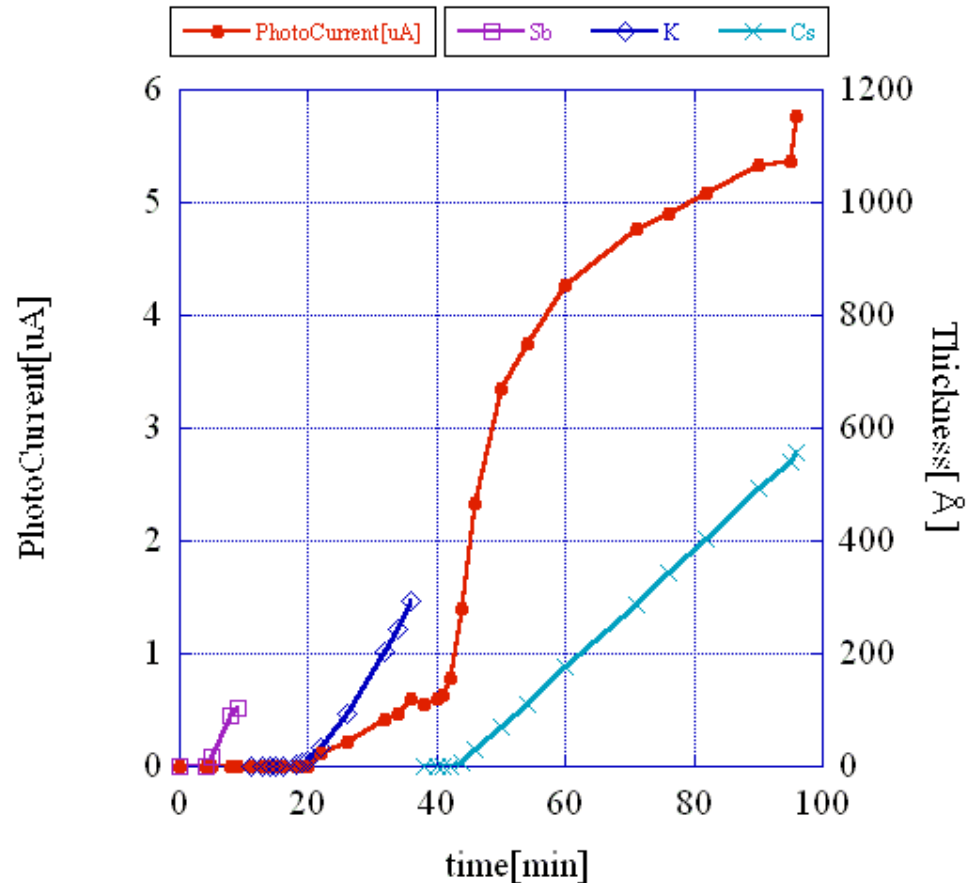


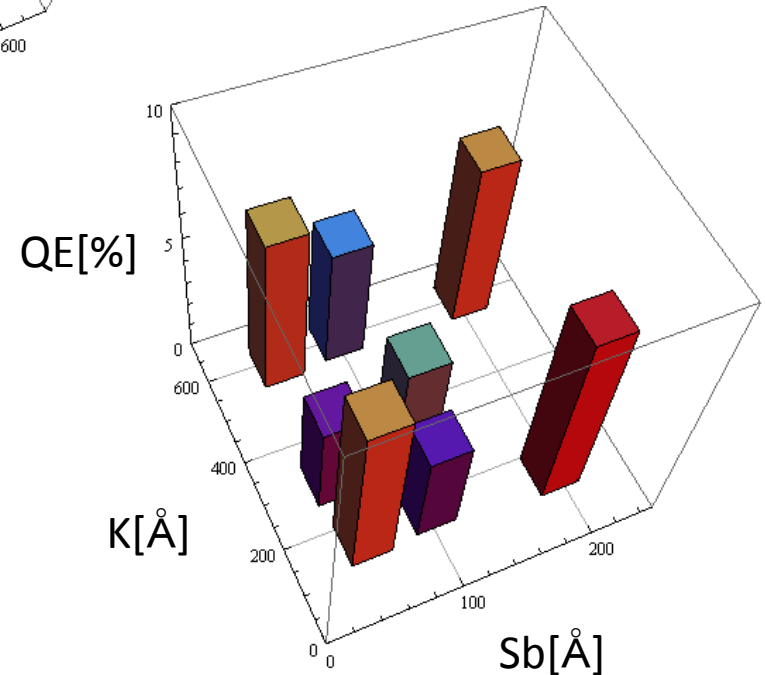
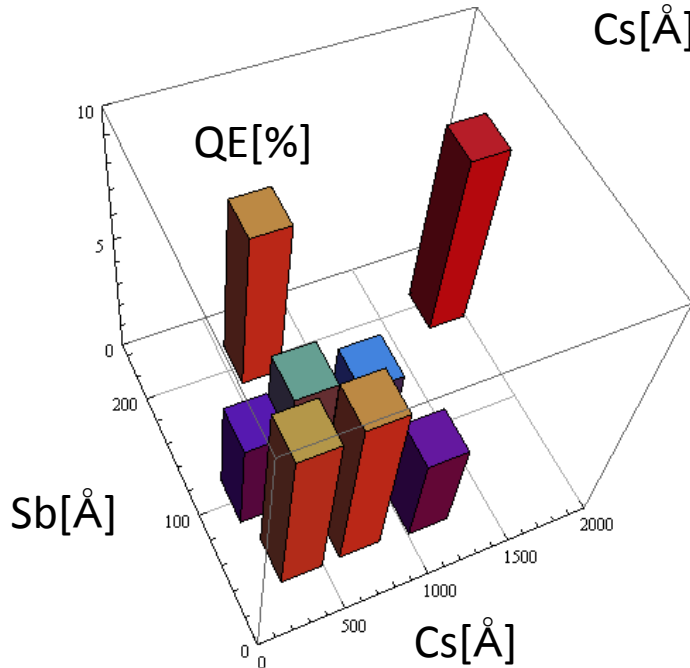
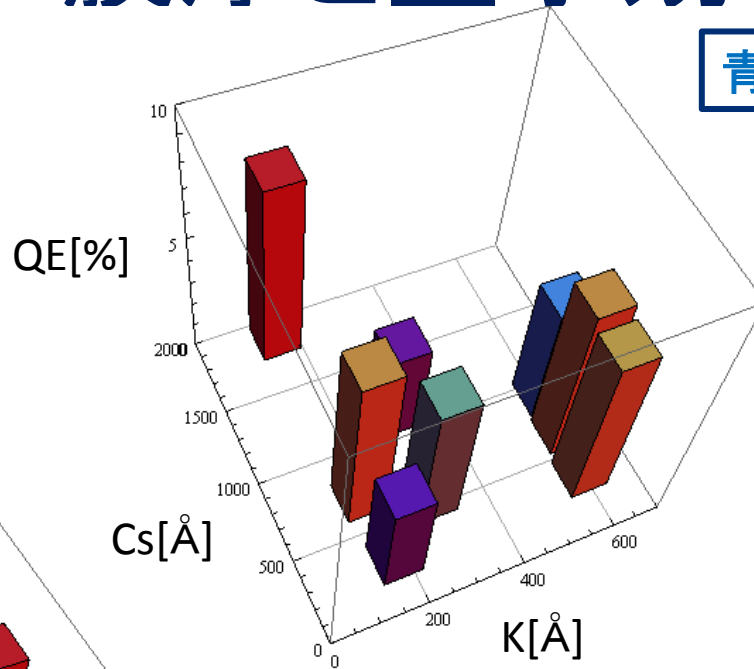
図: 成膜時の光電流変化の一例

カソード生成試験結果

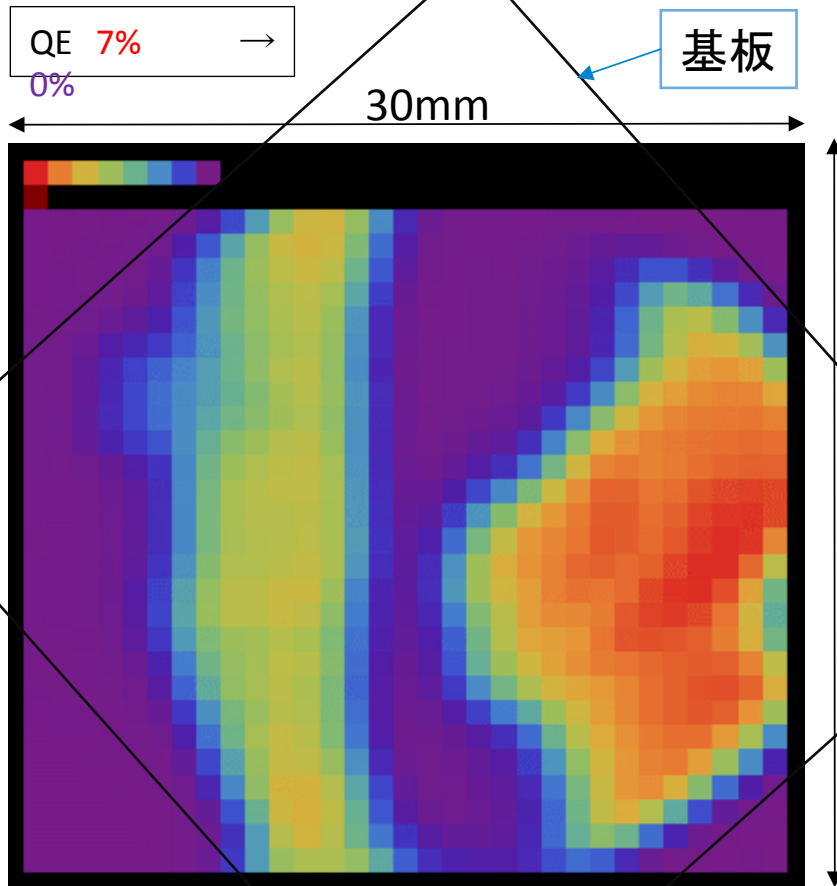
番号	1	2	3	4	5	6	7	8
Sb[Å]	52	49	51	102	102	100	196	204
K[Å]	166	305	592	176	292	605	155	600
Cs[Å]	718	1127	369	308	558	925	1868	662
QE473nm[%]	6.8	3.8	6.6	3.9	5.6	5.0	7.6	6.8
QE532nm[%]	2.9	2.2	1.6	1.7	3.6	3.4	2.8	2.8

膜厚と量子効率

青色レーザー: 473nm

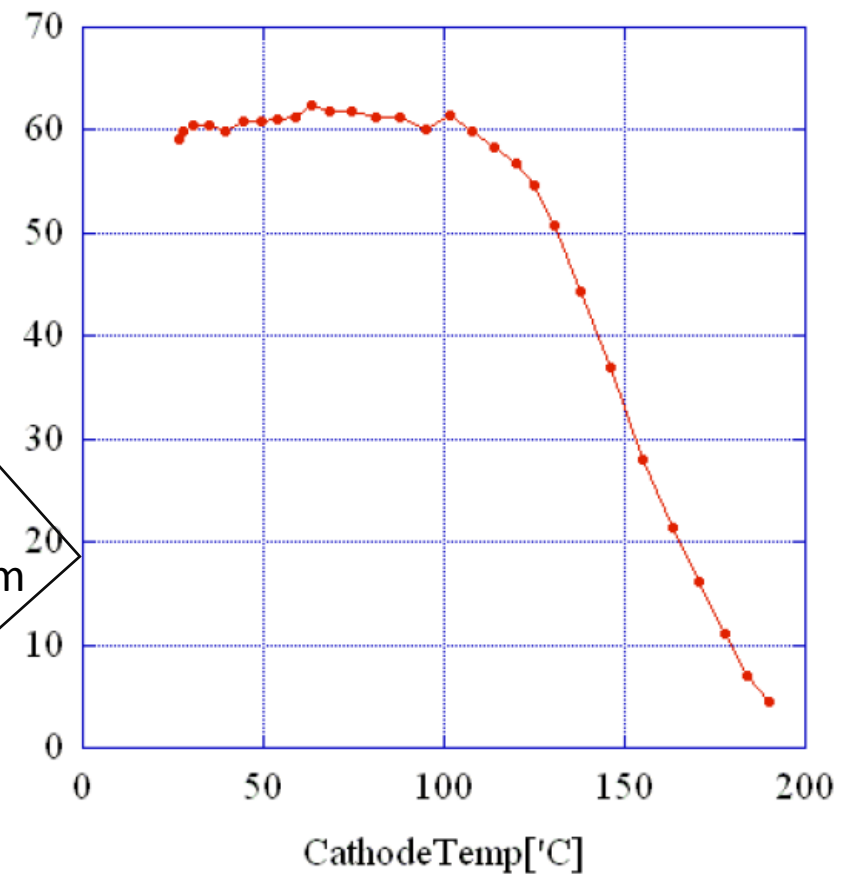


この結果からははっきりとした傾向は見えない
レーザースポット位置をQEが高い場所に動かしつつ測定したのが一因



図：基板上的QEの2次元マップ

- ・QE分布は一様でなく、左右に分かれている
- ・蒸着中、QEは単調に増えているため、基板中心付近の蒸着量が多すぎるためではない



図：基板温度上昇によるQE劣化

- ・100°Cを超えると急激にQEが劣化する
- ・上記の図の測定値は基板の端を測定しているため、基板中心は端より高温であると考えられる。

基板の温度を変えてQEの2次元マッピング予定

電荷密度寿命

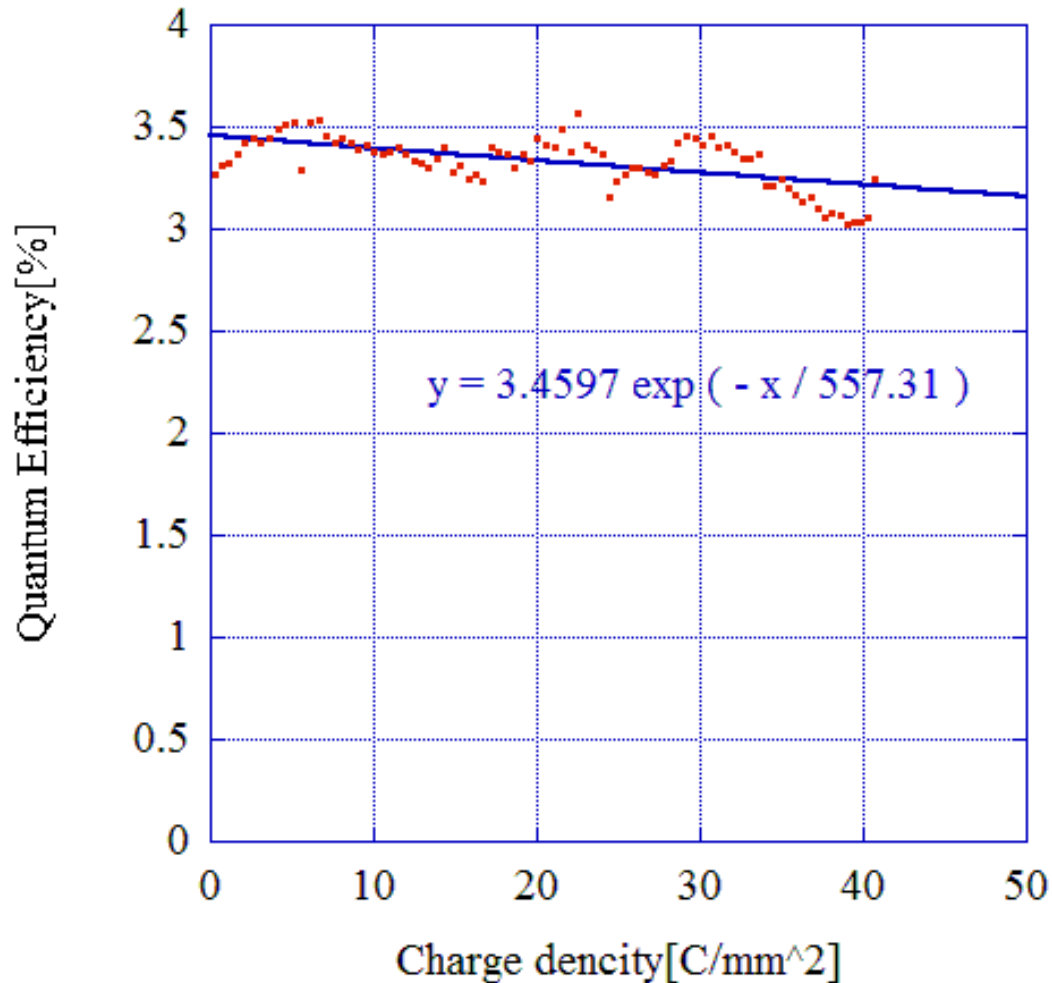


Figure: 電荷引き出しによる量子効率の変化

➤ 広島大学

青色レーザー: 473nm, 5.1mW

スポットサイズ: 1.64mm²(4σ)

引き出し電流値: ~60μA

真空度: ~2×10⁻⁸Pa

電荷密度寿命: **557C/mm²**

➤ コーネル大学

緑色レーザー: 520nm, ~2.3W

スポットサイズ: 4.91mm²

引き出し電流値: 60mA

真空度: 1.5×10⁻⁹Pa~4.0×10⁻⁹Pa

電荷密度寿命: **1320C/mm²**

電荷密度寿命:

量子効率が1/eになるまでに、単位面積当たり、どれほどの電荷を引き出すことができるか

$$\eta(\rho) = \eta_0 \exp(-\rho / \Theta)$$

η: QE, η₀: 初期QE

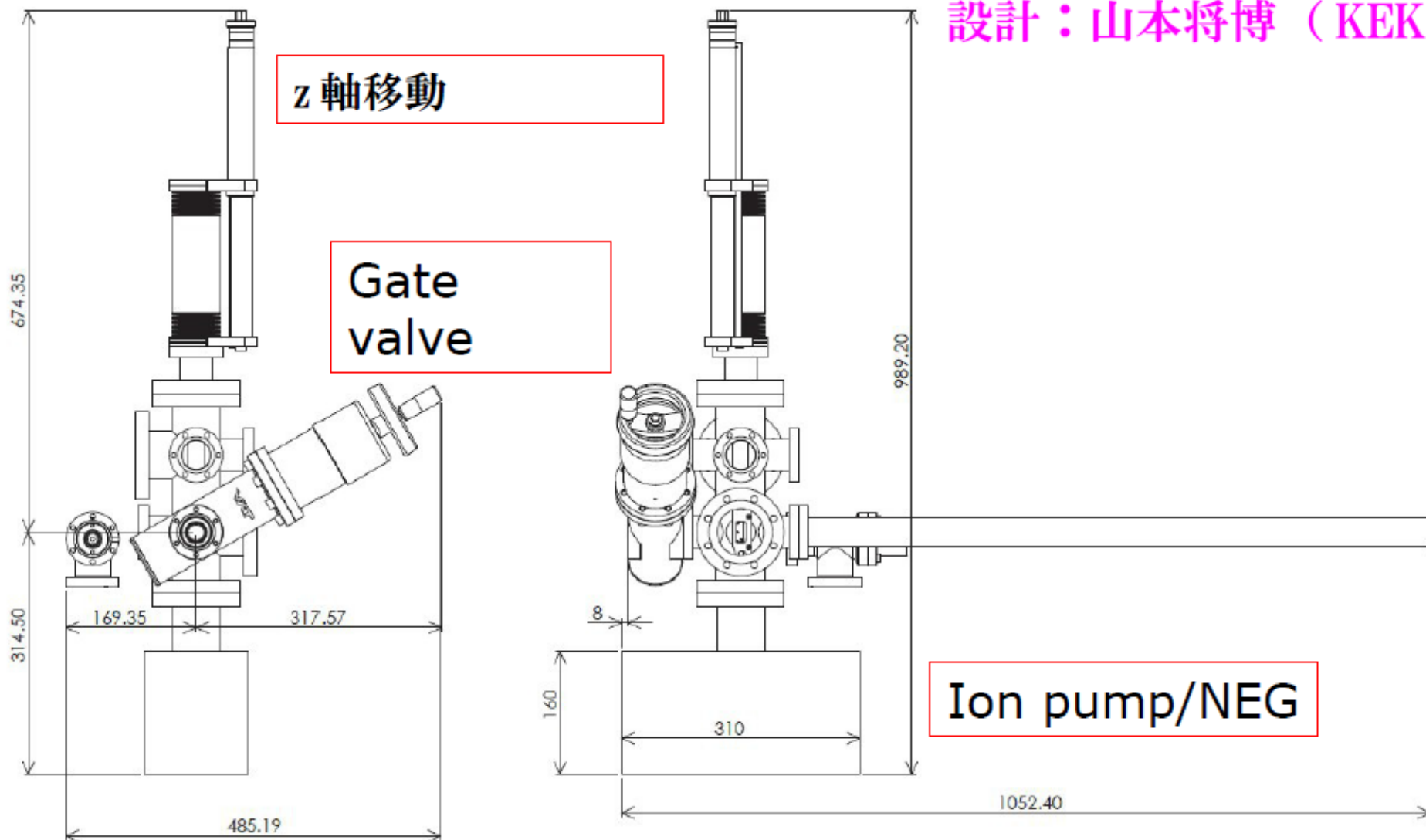
ρ: 電荷密度, θ: 電荷密度寿命

マルチアルカリの加速器での実用化

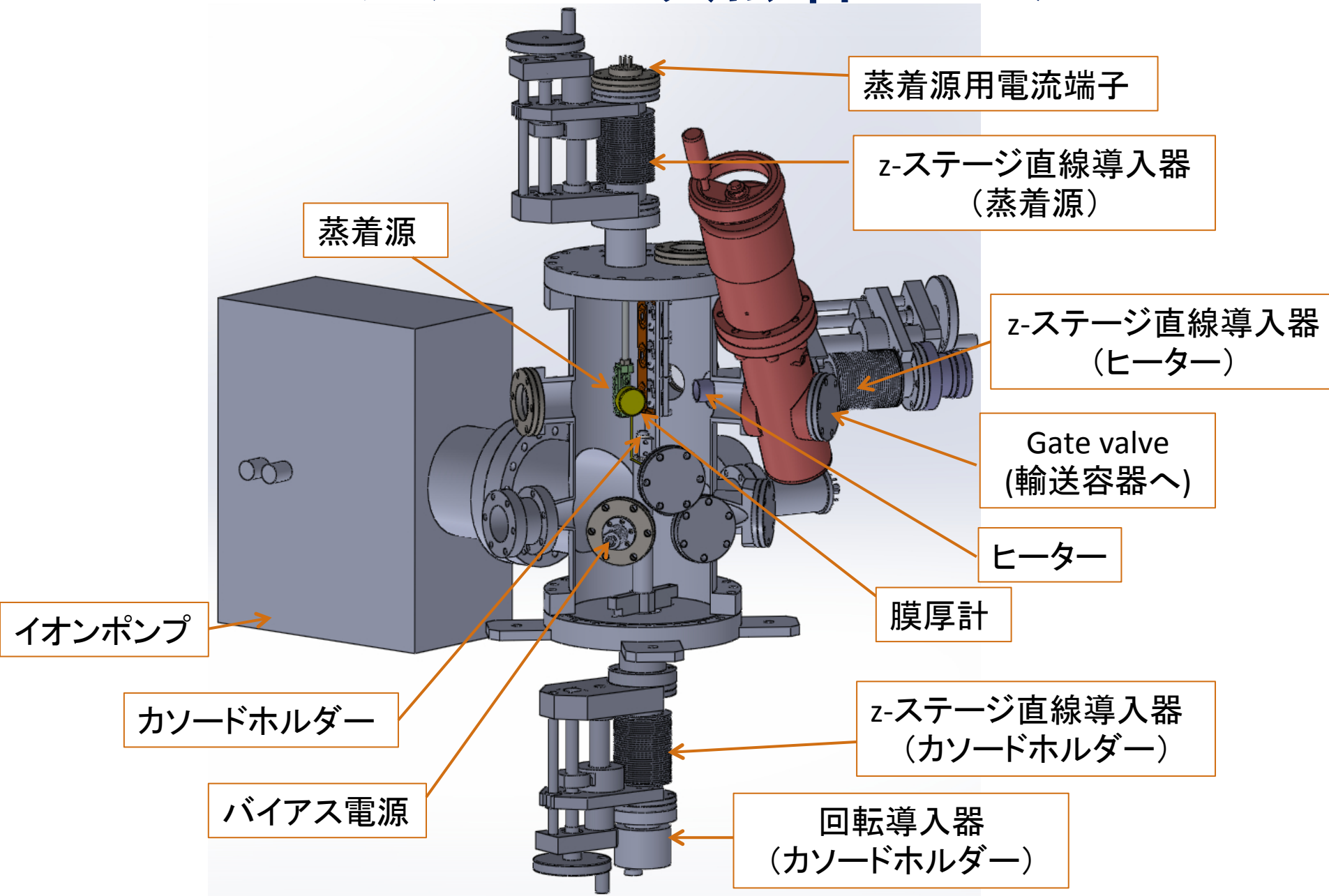
- 運転の観点から、 CsK_2Sb の長寿命カソードはERLのバックアップとなり得る
 - KEKのcERL(現在はNEA-GaAsカソード)への実装を目指す
- カソード開発の継続と加速器運転の両立のため、蒸着槽と電子銃システムを分離
 - カソード蒸着槽の製作、試験(広島大学)
 - 輸送容器の製作(KEK)
- 分離することで、単独の蒸着槽で複数の加速器へのカソード供給も可能(複数のカソードホルダーを設置)

真空輸送システム

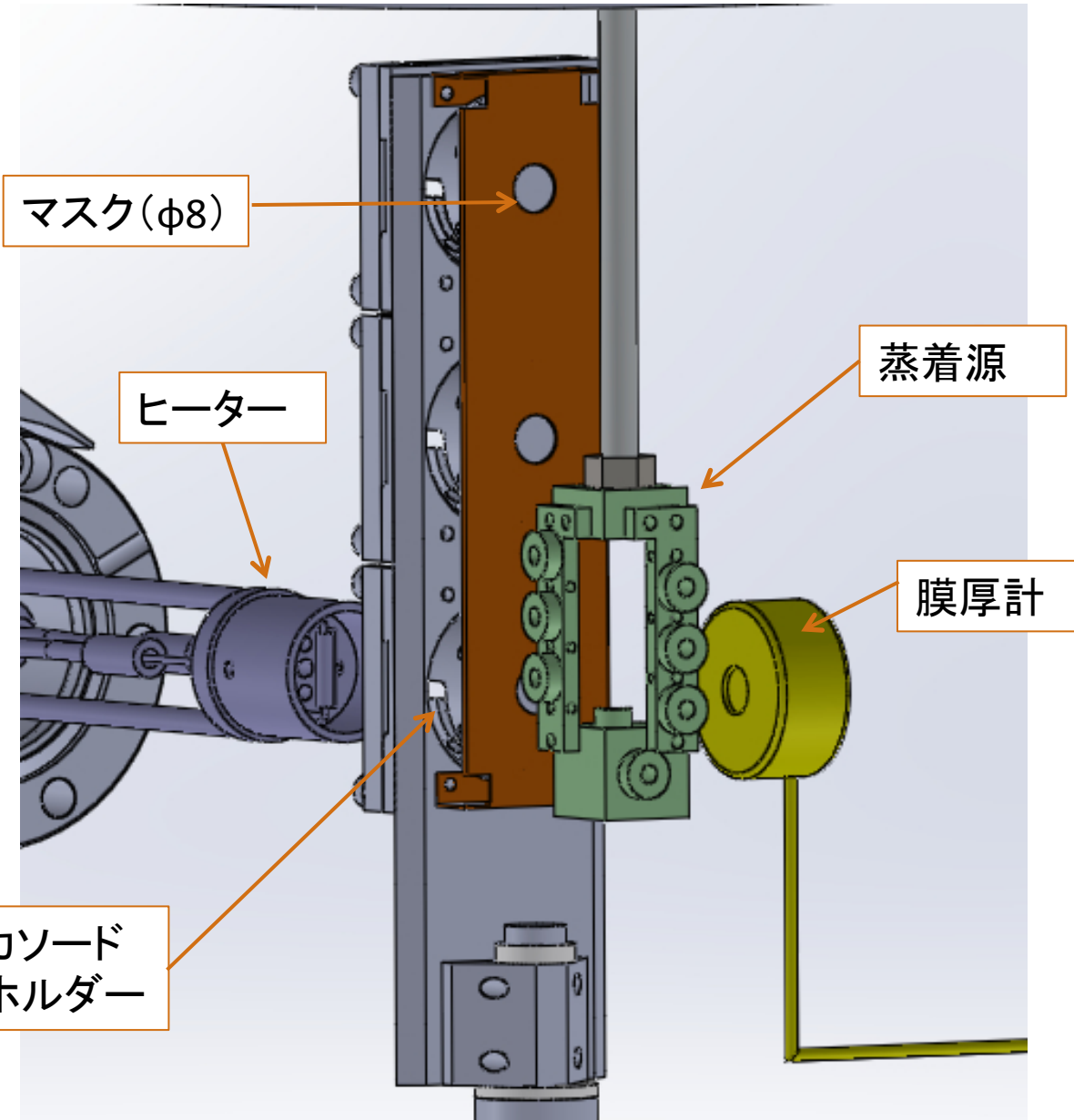
設計：山本将博（KEK）



マルチアルカリ蒸着システム

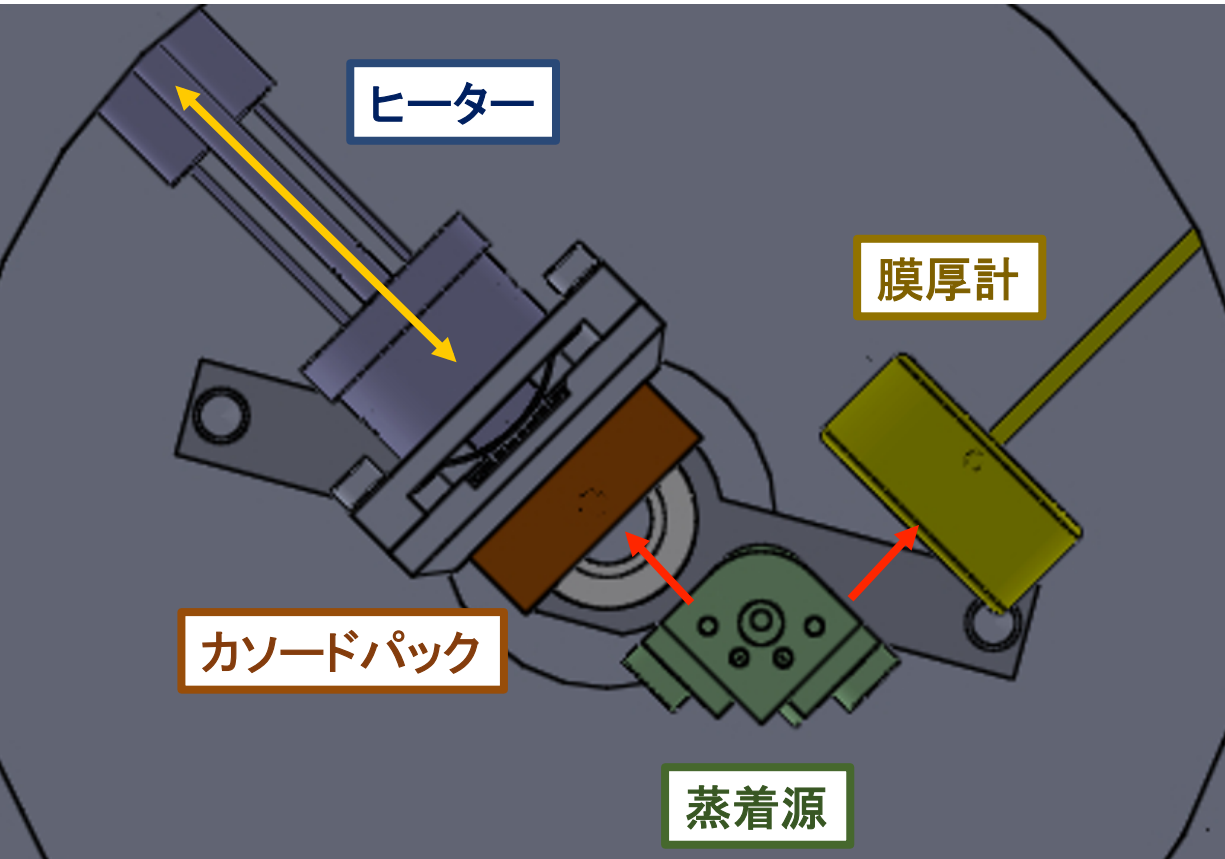


蒸着源付近



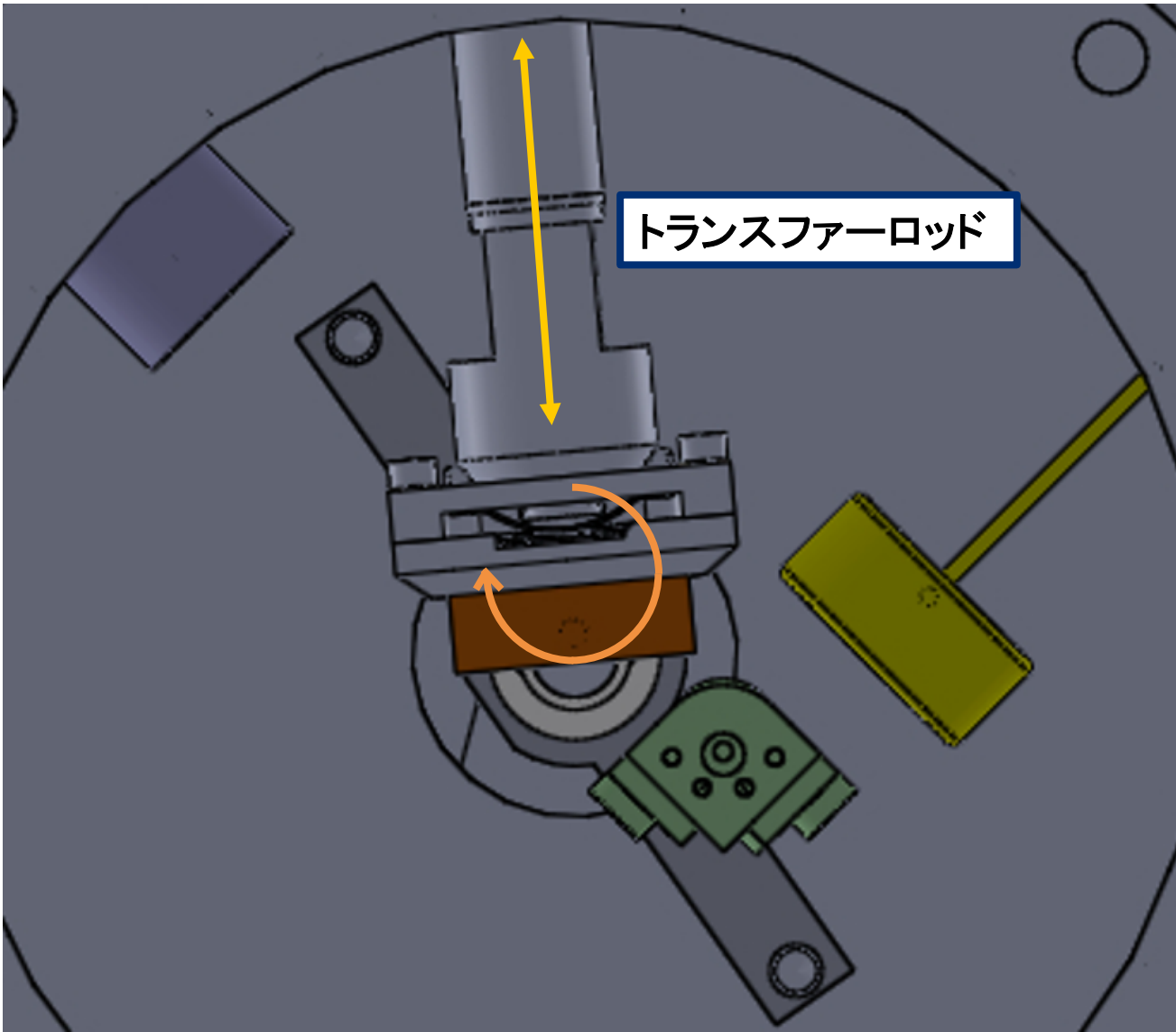
- ◆ 3つのカソードホルダー
- ◆ 6つのディスペンサー (Cs, K, Na)と1つのSb箱
- ◆ 異なる基板による蒸着実験 (Si, Cu, Mo, SUS)
- ◆ 水素原子洗浄による基板表面清浄化

蒸着時



- ヒーター：
加熱洗浄、蒸着の際、
カソードパックの裏に密着
- 膜厚計：
結晶モニターにて測定
- 蒸着源：
蒸着量が同じになるよう
カソードパック、膜厚計との
距離を等しく設計

移送時

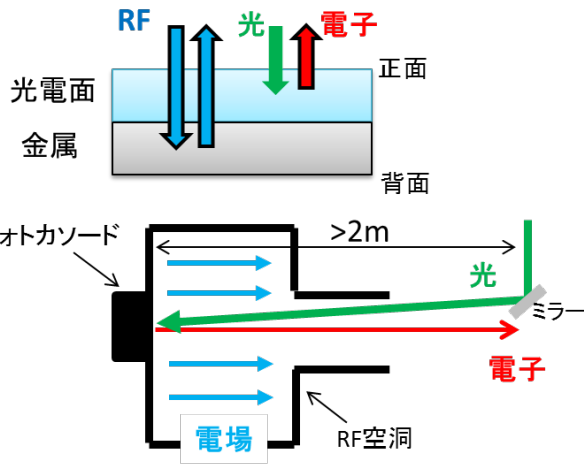


- カソードホルダーがトランスファーロッドの方向に回転、後ろから抜き取る
- ヒーターは衝突を避けるために下がる
- 膜厚計と蒸着源は固定

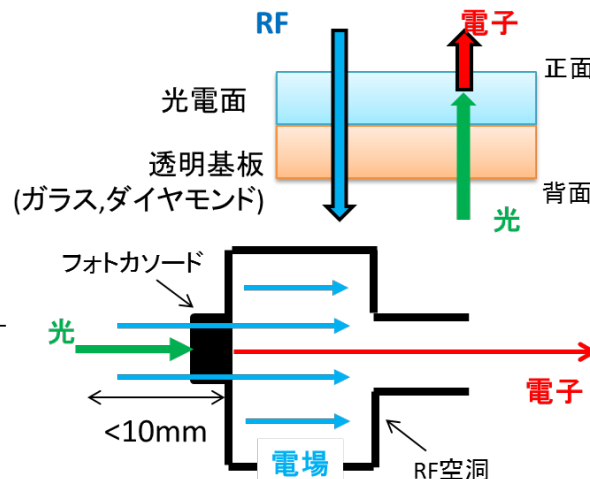
透過型カソード

- マルチアルカリカソードを透過性のある超導体上に成膜することで、RFによる高周波を遮断しつつ背面照射が可能
- レーザー導入の簡略化、スポット操作性の向上
- スポット操作性の向上により、空間電荷効果抑制機構の実用性が向上、初期エミッタンスの縮小化
- 分子研が主となり開発。広島大学は蒸着条件を提供

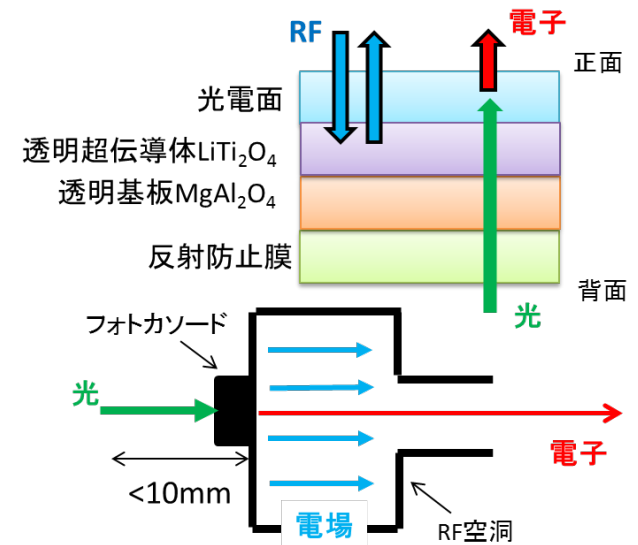
正面照射型フォトカソード



従来の背面照射型フォトカソード

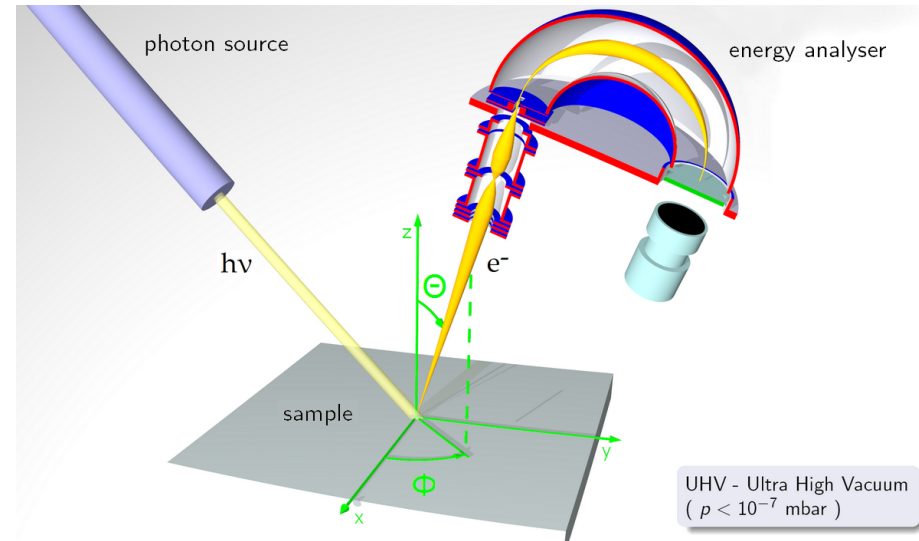


本研究で開発する背面照射型フォトカソード



表面分析

- 最適なカソード蒸着条件を探すために、カソードを評価するよい判断材料が必要
- 分子科学研究所のUVSORで行える表面分析：
 - XPS: 物質の存在比率
 - UPS: バンド構造
 - LEED: 結晶性
- 2013年10月からUVSORと広島大学との共同研究が開始
- 2013年度中に蒸着チャンバーの開発
- 2014年度に実験予定



スケジュール

年度	2013	2014	2015	2016	2017
1. 蒸着条件	実験				
2. 輸送容器	開発				
3. cERL試験	開発	試験開始	大電流		
4. 透過型	R&D				
5. 表面分析	開発	分析			

- QE: 2Dmapのムラの原因特定、スポット位置を固定しつつ膜厚依存性の再調査
- cERLのための蒸着チェンバー最終チェック
- 表面分析のための蒸着チェンバー設計