

# マルチアルカリ高量子効率・ 高耐久フォトカソードの研究

第11回日本加速器学会  
2014年8月11日(月)

清宮 裕史, 栗木 雅夫, 山本 記史,  
郭 磊, 横田 温貴(広島大学),  
許斐太郎(分子研)

# 目次

1. 導入
2. マルチアルカリ蒸着システム
3. カソード性能の評価
4. 進行中のプロジェクト
5. まとめ

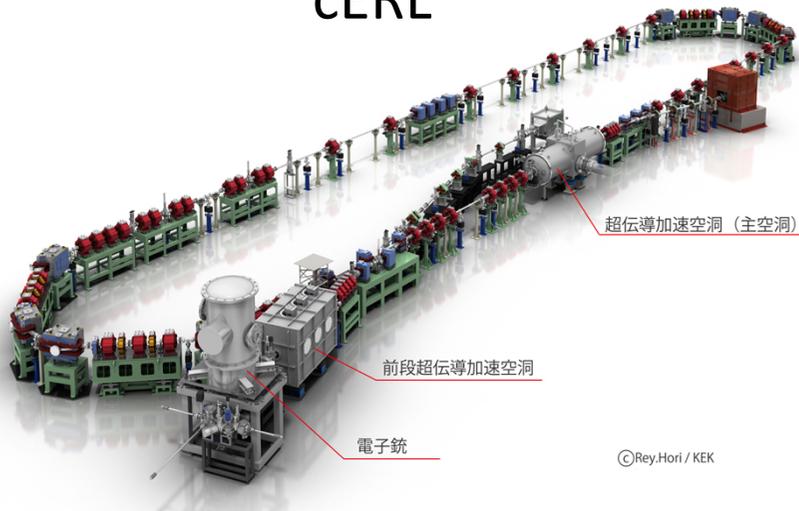
# 目次

1. 導入
2. マルチアルカリ蒸着システム
3. カソード性能の評価
4. 進行中のプロジェクト
5. まとめ

# フォトカソード

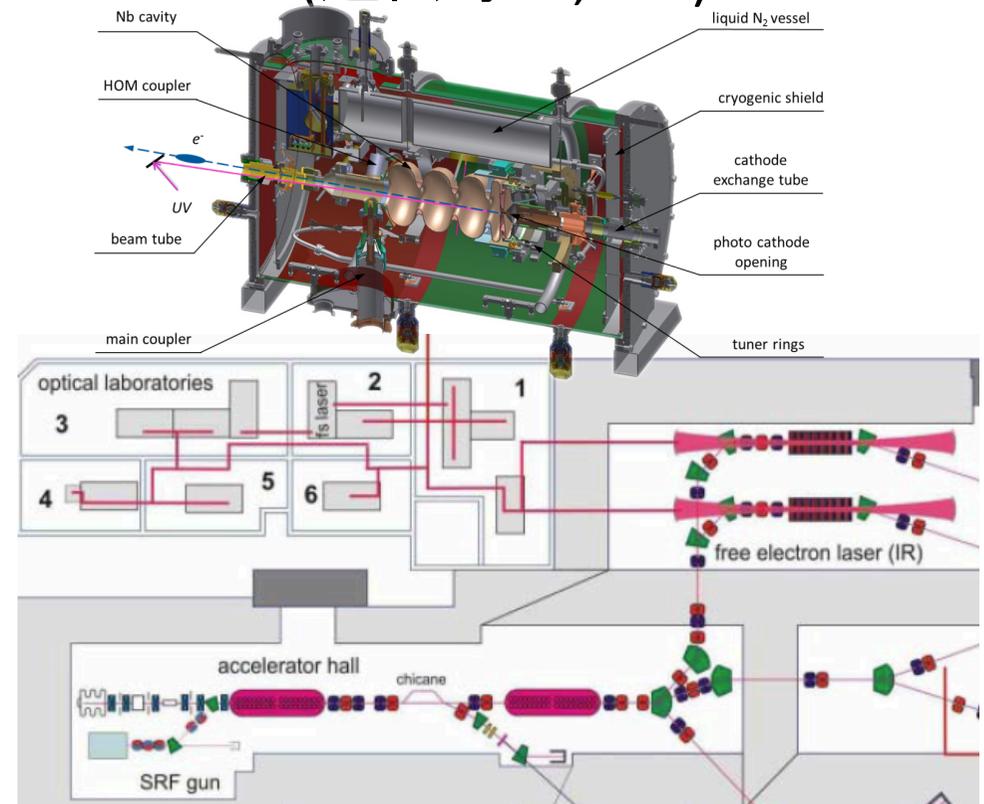
- 熱カソードと比べて
  - スポット径、バンチ長などに高い操作性
  - 低エミッタンスが狙える
- 大電流、低エミッタンスの高輝度線形加速器での課題
  - 高い量子効率
  - 長波長励起
  - 高い耐久性

cERL

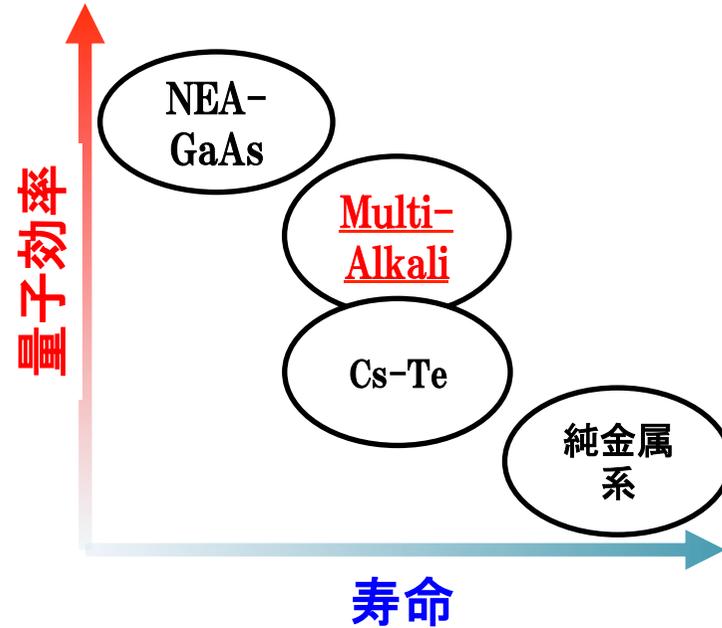
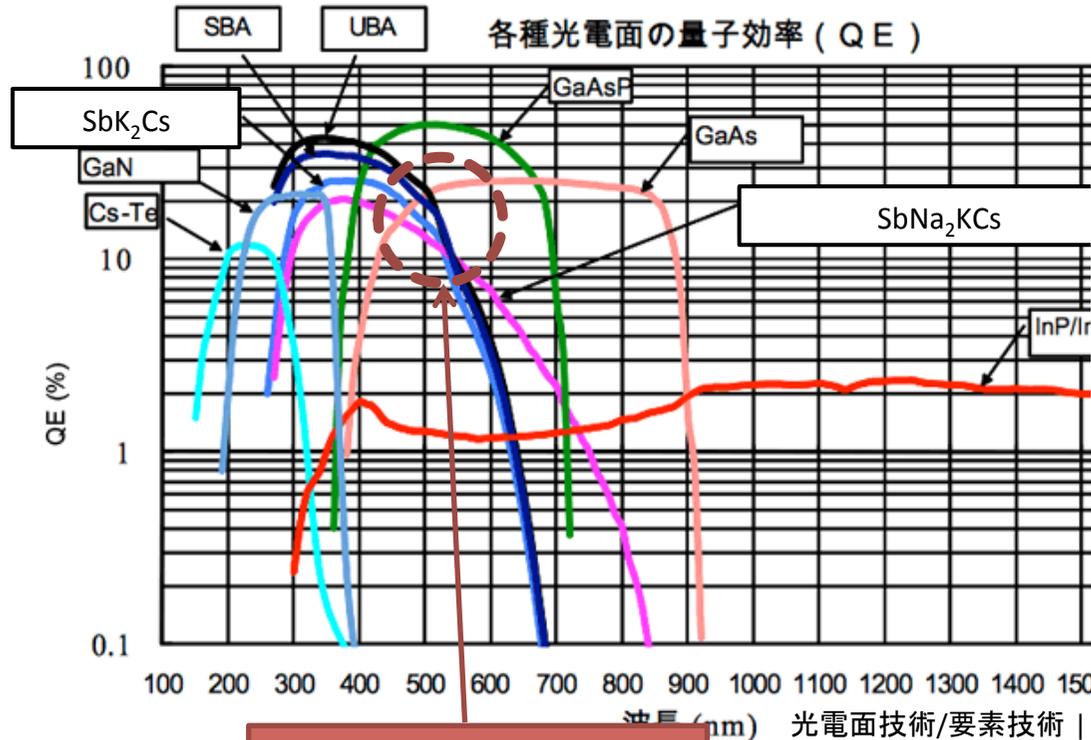


©Rey.Hori / KEK

ELBE (超伝導RF, FEL)



# 様々なフォトカソード



可視光&高量子効率

GaAs: 高量子効率、赤色励起、短寿命

純金属: 低量子効率( $\sim 10^{-4}$ )、紫外光励起、長寿命

マルチアルカリカソード( $\text{CsK}_2\text{Sb}$ ):

高量子効率、緑色励起、長寿命

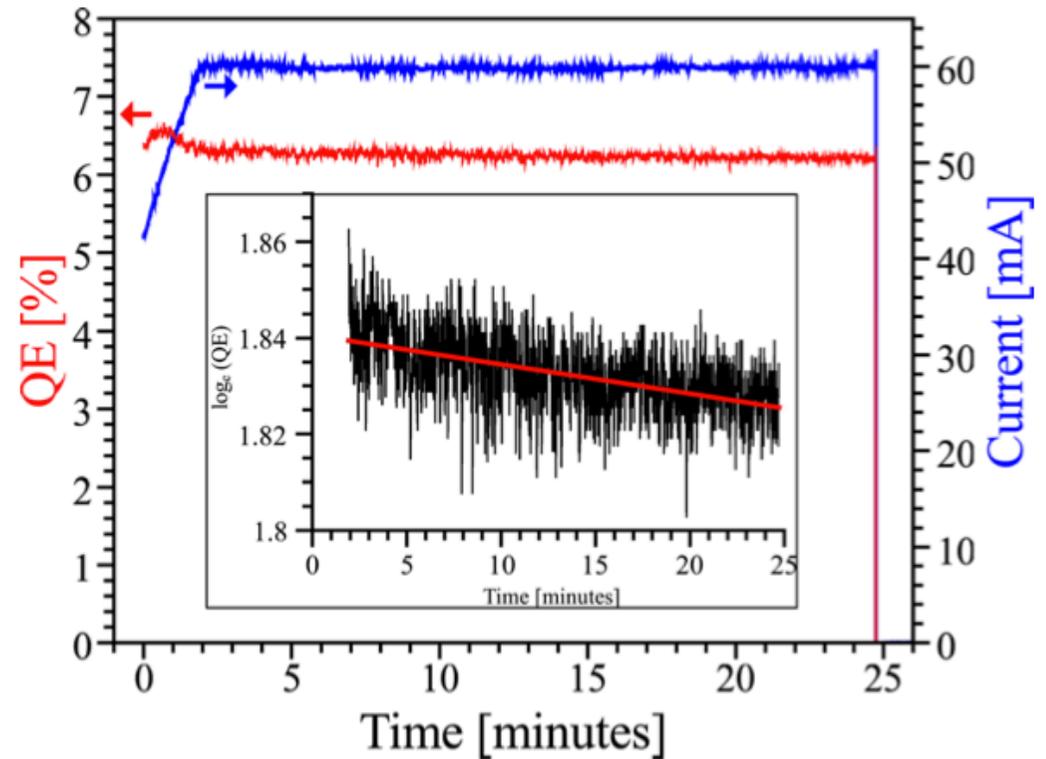
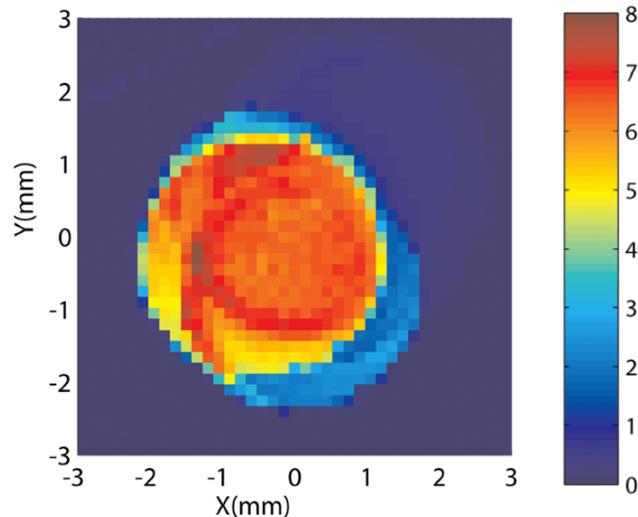
◇ 一般的に、短波長領域のレーザーはパワーを得にくい

大電流運用厳しい

大電流用フォトカソードの最有力候補

# コーネル大学のCsK<sub>2</sub>Sb性能

- Si基板
- 緑色レーザー: 520nm, ~2.3W
- スポットサイズ: 4.91mm<sup>2</sup>
- 引き出し電流値: 60mA
- 真空度:  $1.5 \times 10^{-9}$ Pa ~  $4.0 \times 10^{-9}$ Pa
- 量子効率: 6-7%@520nm
- 1/e lifetime: 30h
- 電荷密度寿命: **1300C/mm<sup>2</sup>**
- 寿命はGaAsの100倍以上



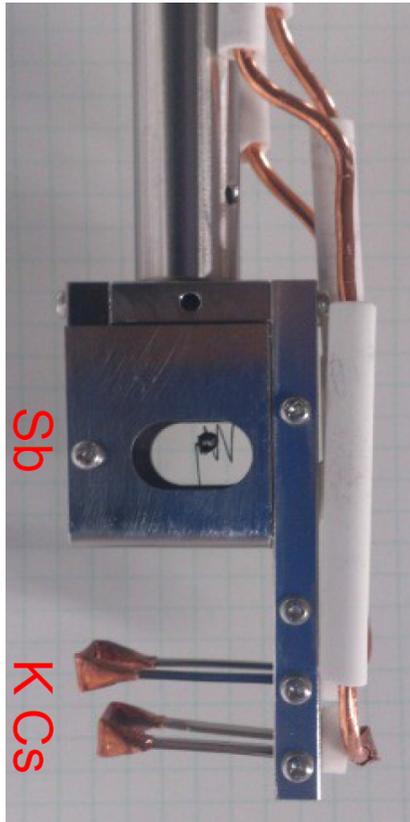
B. Dunham, APL 102,034105(2013)

# 目次

1. 導入
2. マルチアルカリ蒸着システム
3. カソード性能の評価
4. 進行中のプロジェクト
5. まとめ

# マルチアルカリ蒸着装置

- SUS基板 (30mm×30mm) への蒸着
- 量子効率と膜厚の同時測定を可能にする対称蒸着
- NEG, IPポンプ (ベース真空度 $5 \times 10^{-9}$ Pa)



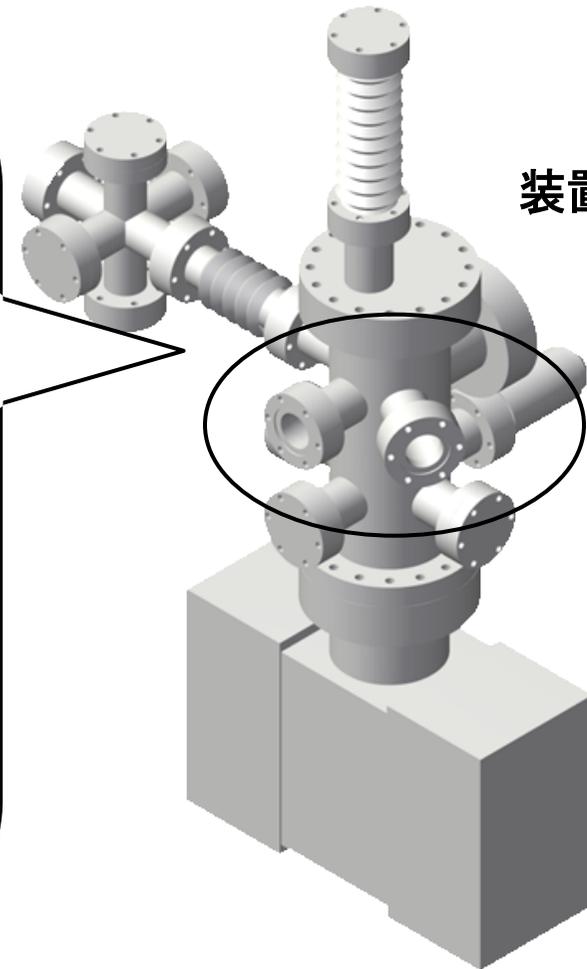
蒸着源  
•複数の材料金属を蒸着

膜厚計  
•蒸着量を制御

光導入

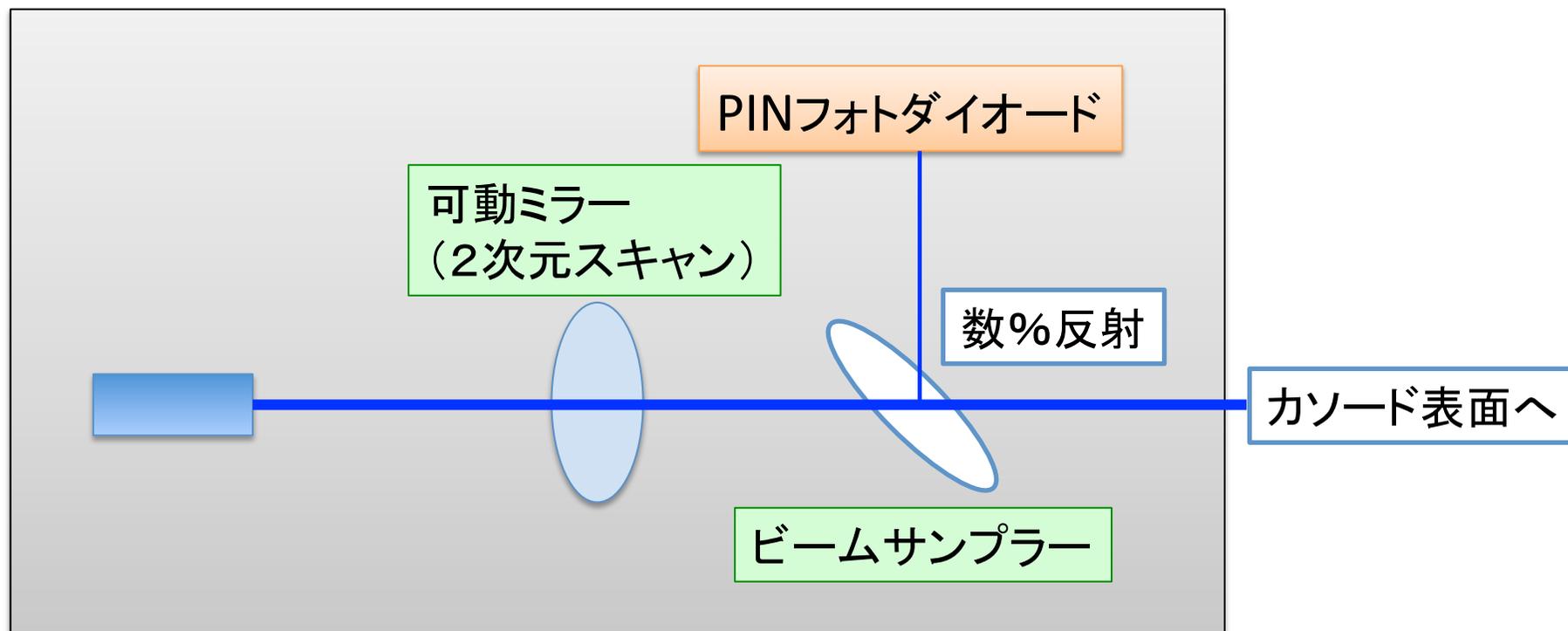
カソード基板  
•光電流測定  
•基板温度制御

装置内部



装置外観

# 光学系概要



- 青色レーザー(473nm)と、緑色レーザー(532nm)が使用可能
- 各々量子効率のマッピングが可能
- ビームパワーのサンプル測定により、レーザーのパワー変動補正が可能(本報告の量子効率、寿命測定では未使用)

# レーザーパワーと位置の安定性

パワー変動: 温度や電源の揺らぎに依存

青色レーザー: 2.2%  
(レーザー筐体温度17°C)  
緑色レーザー: 0.077%

$$(\Delta P_{x,m})^2 = (C_x \Delta x)^2 + (\Delta P_{time})^2$$

レーザー光半遮蔽時のパワー変動 = レーザー位置揺らぎによるパワー変動 + レーザーパワー全体の變動

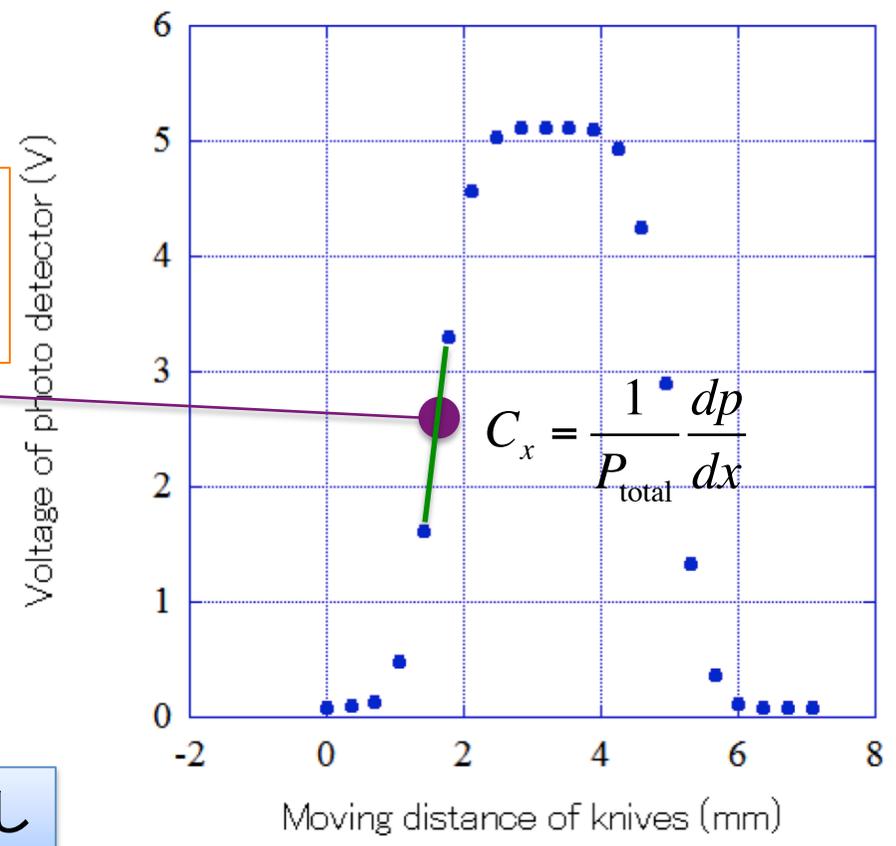
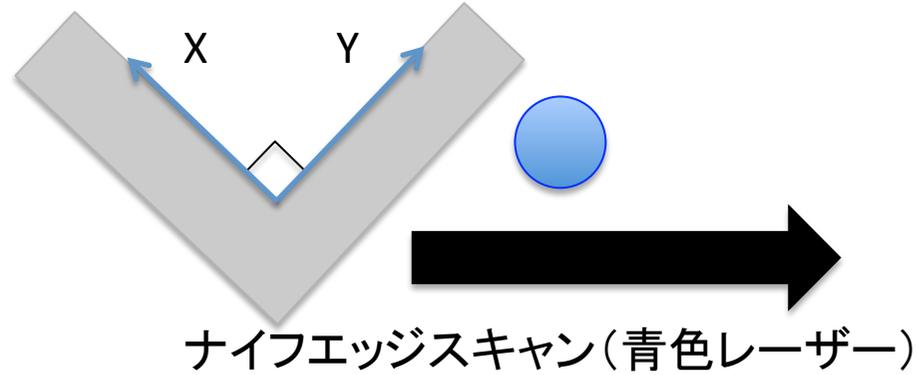
青色:  $\Delta x = 31\mu\text{m}$ ,  $\Delta y = 22\mu\text{m}$

サイズ変動  $\Delta S/S=0.4\%$

緑色:  $\Delta x = 4.1\mu\text{m}$ ,  $\Delta y = 7.7\mu\text{m}$

サイズ変動  $\Delta S/S=0.03\%$

測定にほとんど影響無し



# 目次

1. 導入
2. マルチアルカリ蒸着システム
3. カソード性能の評価
4. 進行中のプロジェクト
5. まとめ

# マルチアルカリ蒸着実験

## マルチアルカリ蒸着手順

1. 基板を加熱洗浄 (600°C)
2. 基板を冷ます (100°C)
3. Sb蒸着 (目的の膜厚まで)
4. K蒸着 (目的の膜厚まで)
5. Cs蒸着 (QE Max.)
6. 基板温度を室温に戻す

### BNL、Cornellの生成手順を参考

T. Rao, J. Smedley, et al., *Proceedings of PAC 2011 WEP284*, etc.

2013/08/29

基板温度	100°C
Sb膜厚	102Å
K膜厚	292Å
Cs膜厚	558Å
QE@473nm	5.6 ±0.4%
QE@532nm	3.6 ±0.03%
電荷量寿命	535C

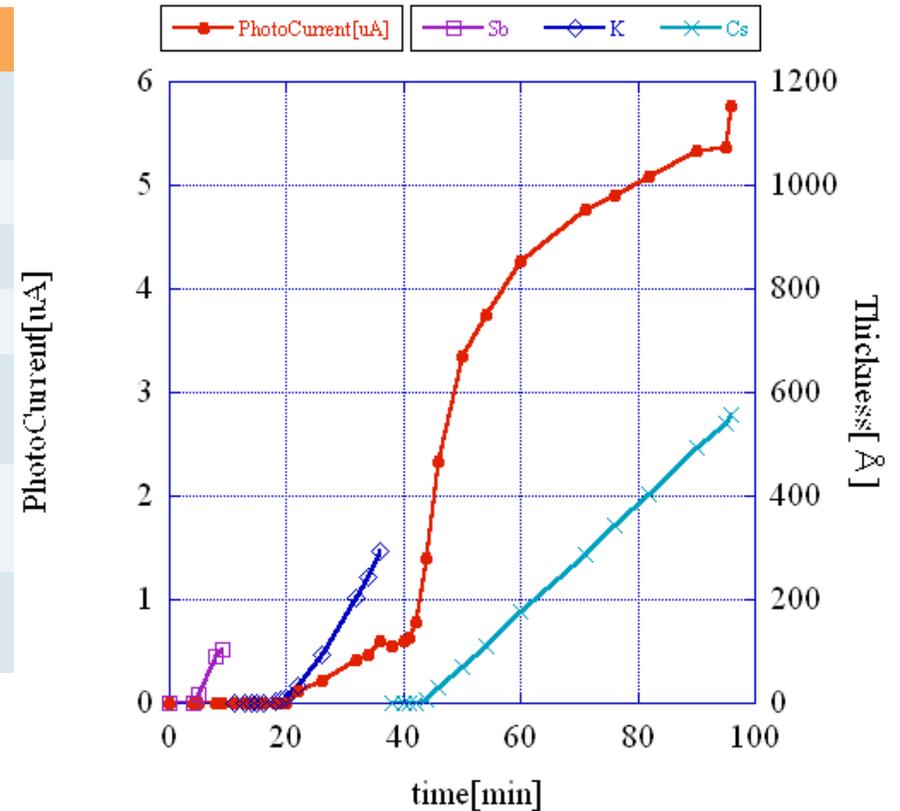


図: 成膜時の光電流変化の一例

- K蒸着中から量子効率を観測
- Cs蒸着時に大幅に上昇
- Cs蒸着停止後も、徐々に上昇
- QE@532nm>3%, QE@473nm>6%

# カソード寿命 二成分モデル

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

時間寿命:  $\tau$

電荷密度寿命:  $\Theta$

## 時間寿命

- 時間による劣化  
(ガス吸着など)
- 実効的にゼロ電流での測定

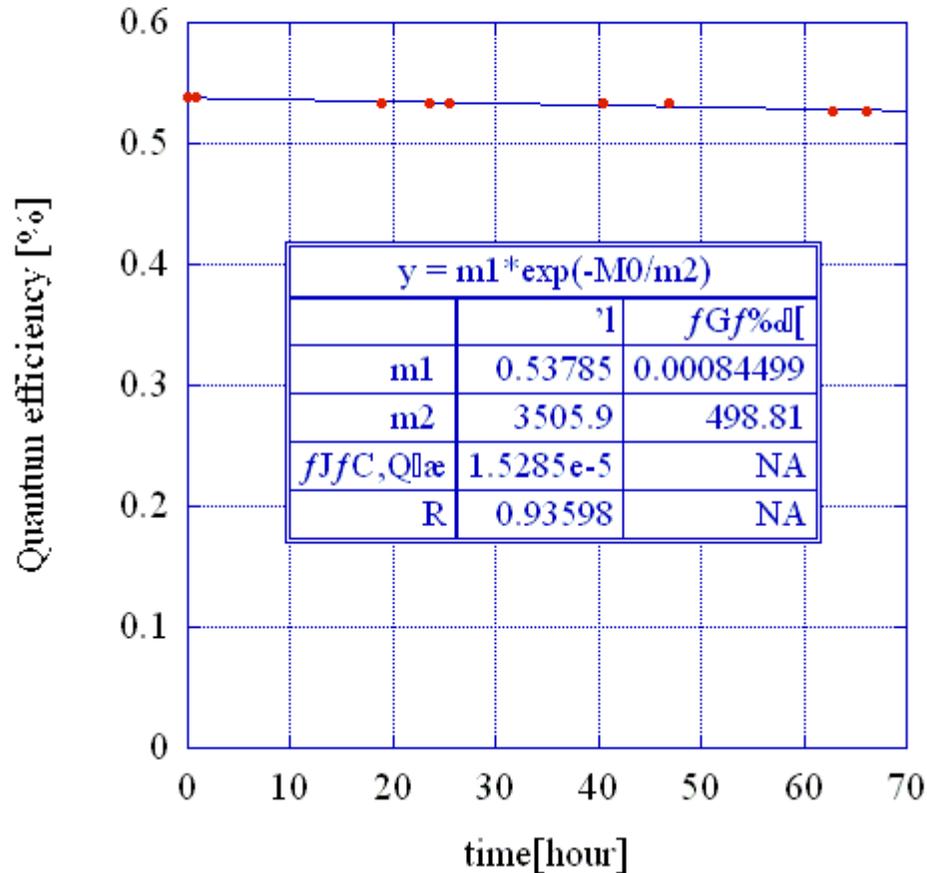
$$\eta(t) = \eta_0 \exp(-t/\tau)$$

## 電荷密度寿命

- ビーム引出による劣化  
(イオン逆流など)
- 連続レーザー照射による測定
- 時間成分を補正

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

# 時間寿命測定



量子効率の時間劣化

$$\eta(t) = \eta_0 \exp(-t / \tau)$$

時間寿命  $\tau$

**3500±500 [hour] ~ 5ヶ月**

緑色レーザー(532nm) ~0.7mW

総引き出し電荷 < 1mC

(平均電流10nA以下)

真空度:  $2.0 \times 10^{-8}$  Pa

温度: 室温

青色レーザーの場合:

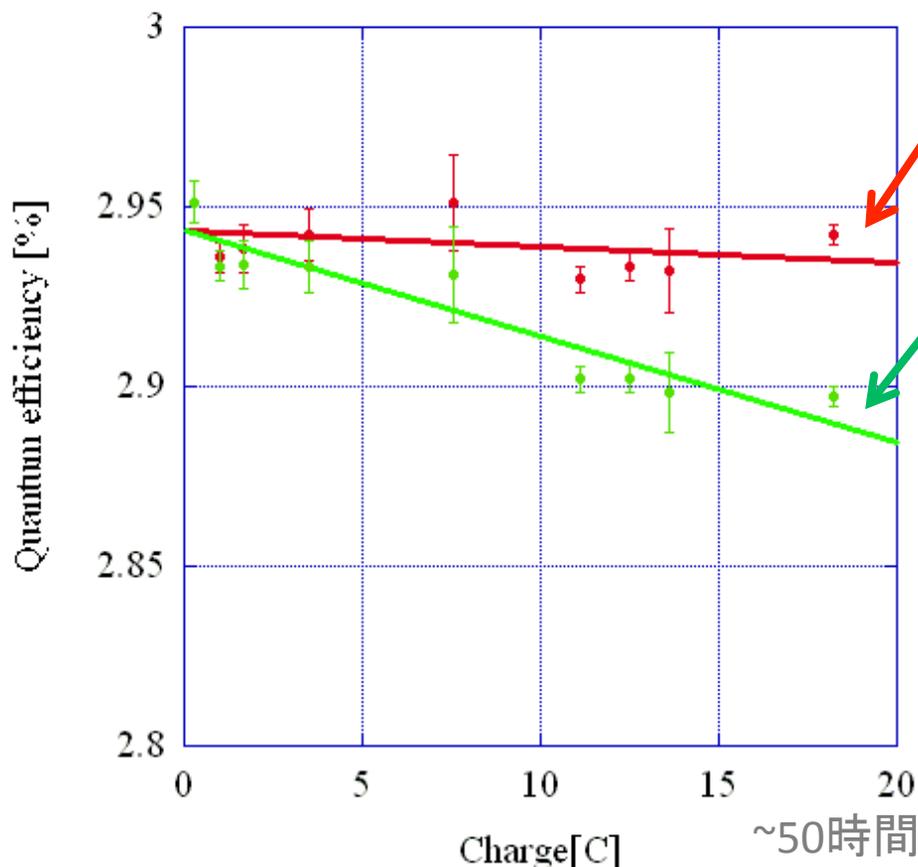
ガス吸着などによって表面ポテン

シャルが増加しても、その障壁を青

色レーザーの場合は飛び越えられる

→寿命が延びる

# 電荷密度寿命測定



量子効率の引出電荷量による劣化

青色レーザー(473nm) ~5mW  
平均電流: 90  $\mu$ A  
真空度:  $2.8 \times 10^{-8}$  Pa  
温度: 室温

補正データ

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

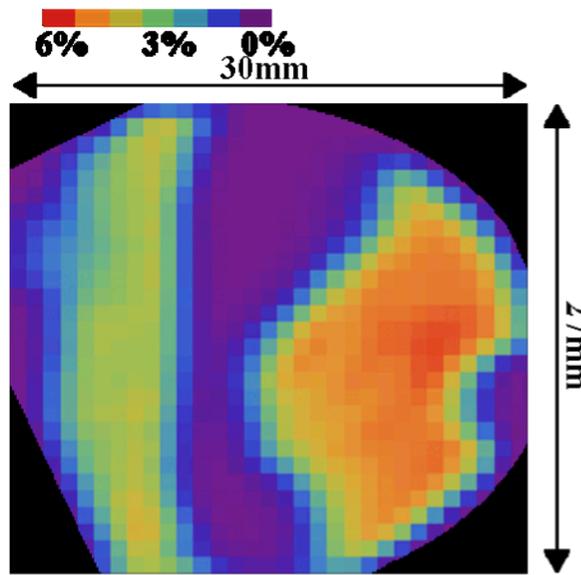
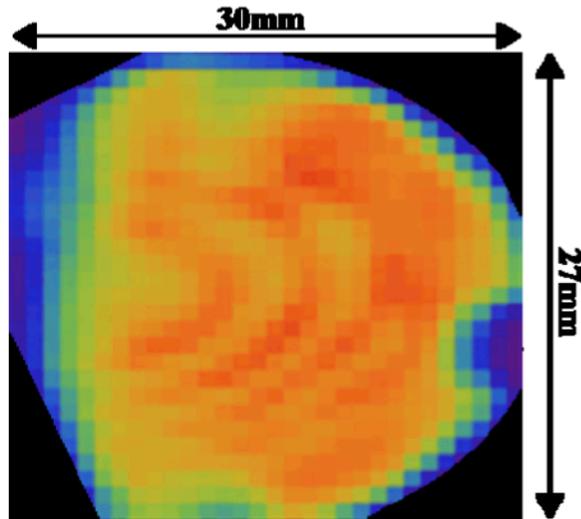
測定データ

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

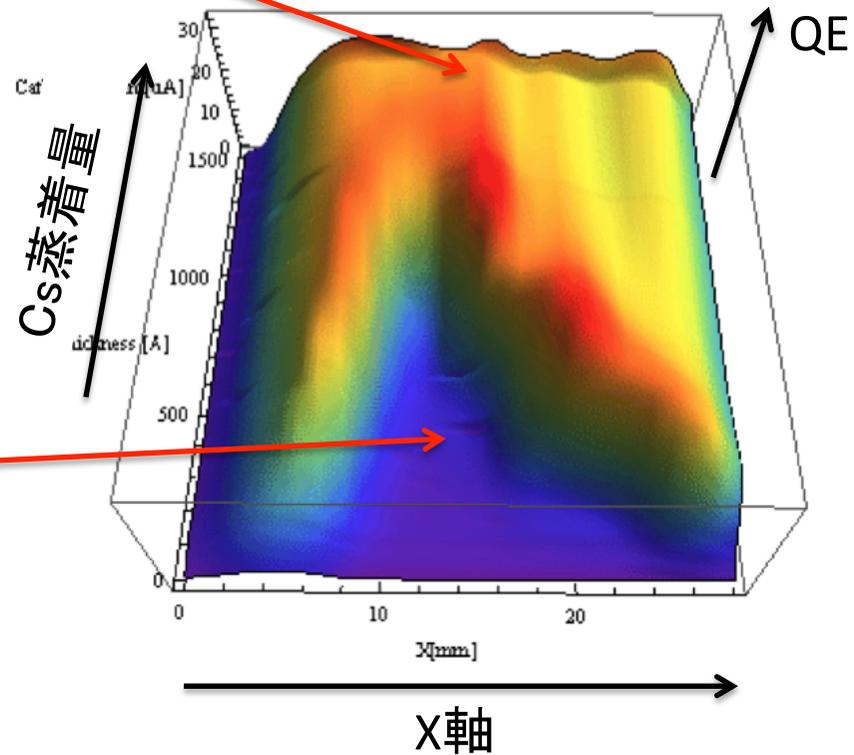
電荷密度寿命  $\Theta$

- **8300[C/mm<sup>2</sup>](Preliminary)**  
100mA、レーザースポット直径が3mm、QEが1/e<sup>2</sup>まで使用  
→約2週間に相当する寿命
- **未補正1200[C/mm<sup>2</sup>]**  
コーネル大学の未補正  
**1300[C/mm<sup>2</sup>]に匹敵**
- 緑色レーザーでの時間寿命  
測定値で補正しているため真の寿命は1200~8300[C/mm<sup>2</sup>]

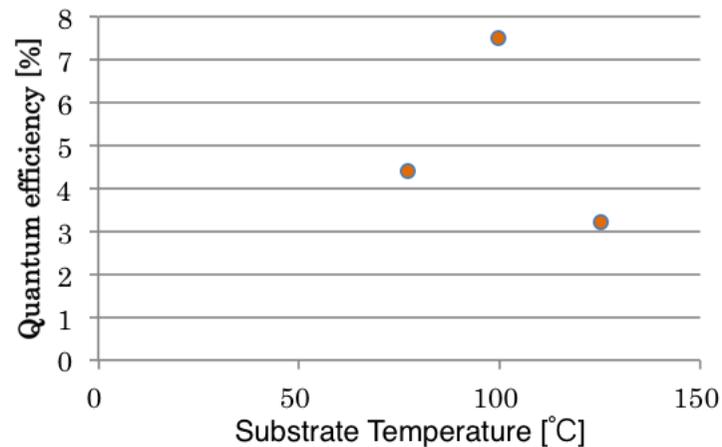
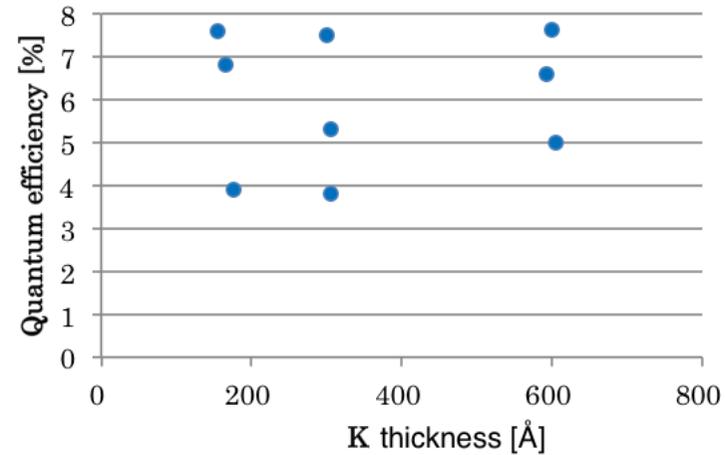
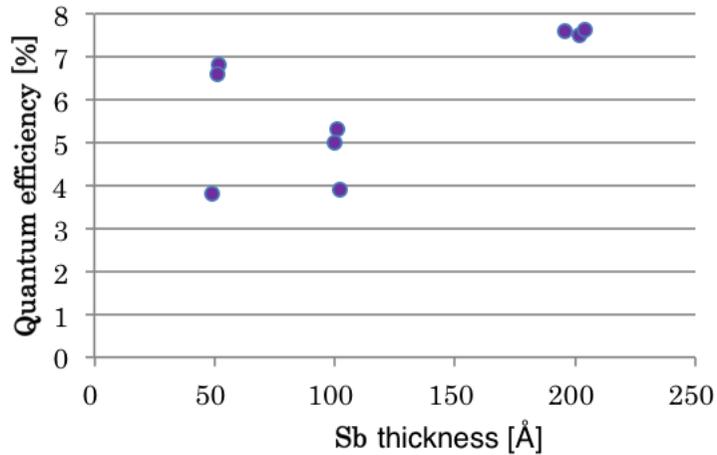
# 量子効率の一様性



- レーザーの二次元スキャンによりQE分布を評価。
- 当初のレシピではQEにむら。
- Cs過蒸着により一様性が向上。



# 量子効率と蒸着条件



- アンチモン膜厚200Å程度で高量子効率。
- カリウム膜厚依存性は見えない。
- 量子効率は温度に大きく依存し、100°C程度が適切

# 今後の予定

- レーザー温調、ビームサンプル測定によるパワー補正を実装し、高精度で量子効率、寿命を測定。
- 各々の波長による、寿命評価。
- 量子効率、寿命の膜厚、蒸着速度、基板温度、真空度などのパラメーターに対する依存性。

# マルチアルカリプラットフォーム



# まとめ

- 高量子効率、長寿命を持つマルチアルカリカソード生成法を確立
- 時間寿命は3500時間(532nm)と非常に長い。
- 電荷密度寿命 1200 – 8300C/mm<sup>2</sup>(473nm)。
- Csを過蒸着することでQE6%以上(473nm)の、一様なカソード。
- カソード性能は成膜時の基板温度に大きく依存。100°C程度で高量子効率。
- 今後は、再現性の確認、精度の向上とともに、UVSORでの光電子分光およびLEED測定による最適なカソード生成条件の同定とその物理的解釈、KEKでの実用化試験に向けた準備を行う。