

マルチアルカリ高量子効率・ 長寿命カソード開発

2014年9月30日 日本原子力研究開発機構

広島大学 加速器物理研究室

栗木雅夫、清宮裕史、郭磊、内田和秀、横田温貴、浦野正洋

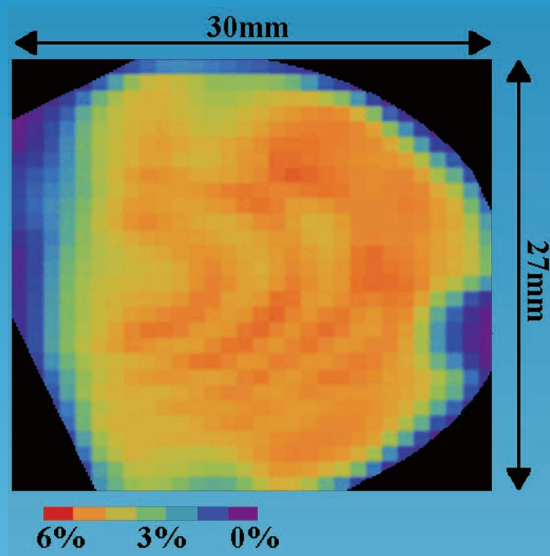
分子研 UVSOR

許斐太郎、加藤正博

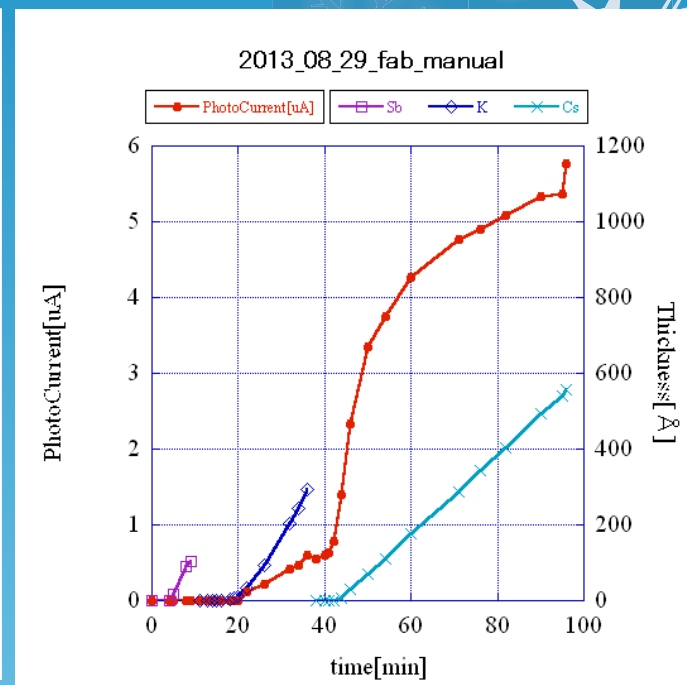
マルチアルカリカソード開発項目

1. 可視光励起、高量子効率カソードの蒸着:OK
2. カソード生成条件の最適化、再現性の確立。性能試験:
On going.
3. 真空輸送システムの構築: On going.
4. 加速器でのビーム生成試験: 2015 -
5. 透過型カソードの開発: 2014 -
6. 透過型カソードの加速器での試験: 2016 ?-

カソード生成試験



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



カソード生成手順

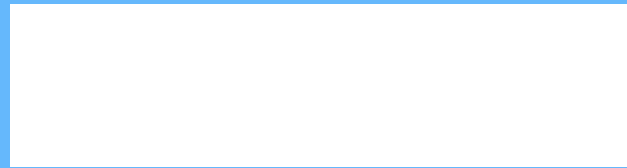
- 1) 基板加熱洗浄 (600°C)
- 2) Sb蒸着 (膜厚制御)
- 3) K蒸着 (膜厚制御)
- 4) Cs蒸着 (QE Max)

カソード劣化モデル

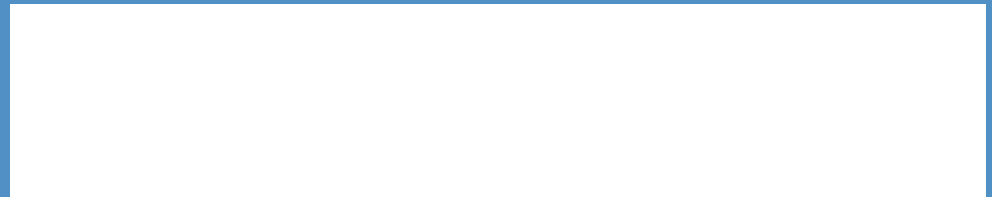
量子効率の劣化が、二成分あると仮定。

- 時間依存成分（ガス吸着等）
- 引出電荷密度（イオン逆流等）

ダークモード測定
(極小電流での実験)



ビームモード測定
(大電流による実験)



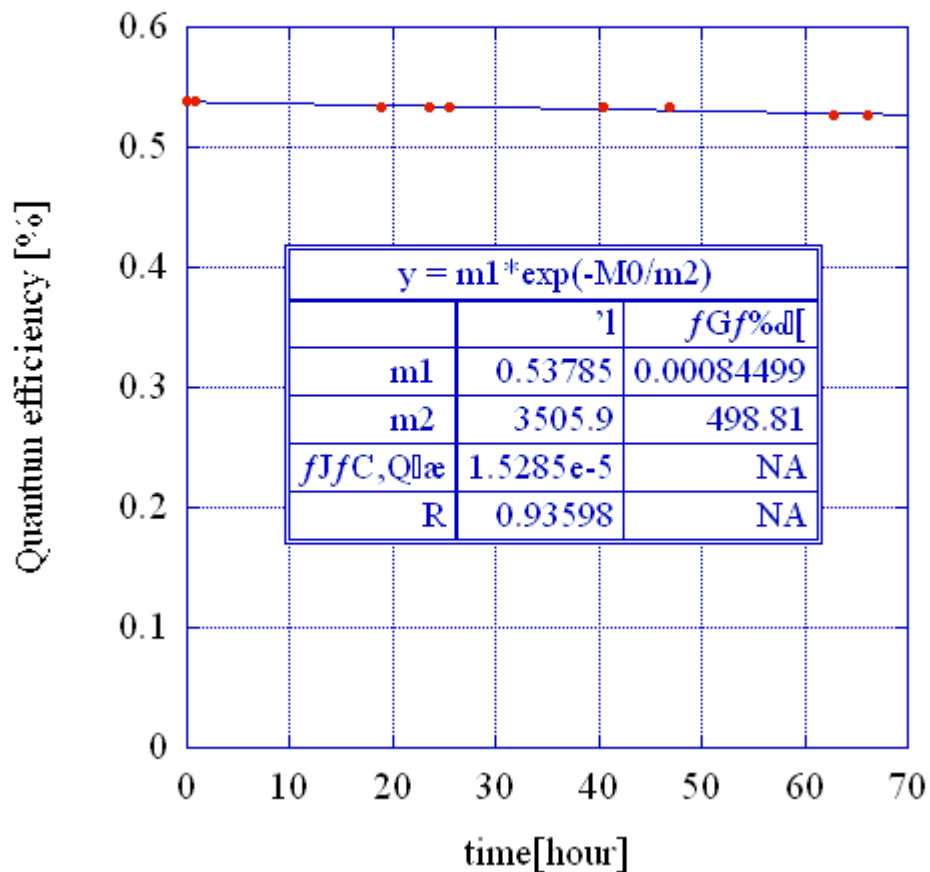
$\eta(t)$: 量子効率

τ : 時間寿命

Θ : 電荷量(密度)寿命

Q : 積算電荷量

ダークモード測定結果



量子効率の時間劣化

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

時間寿命

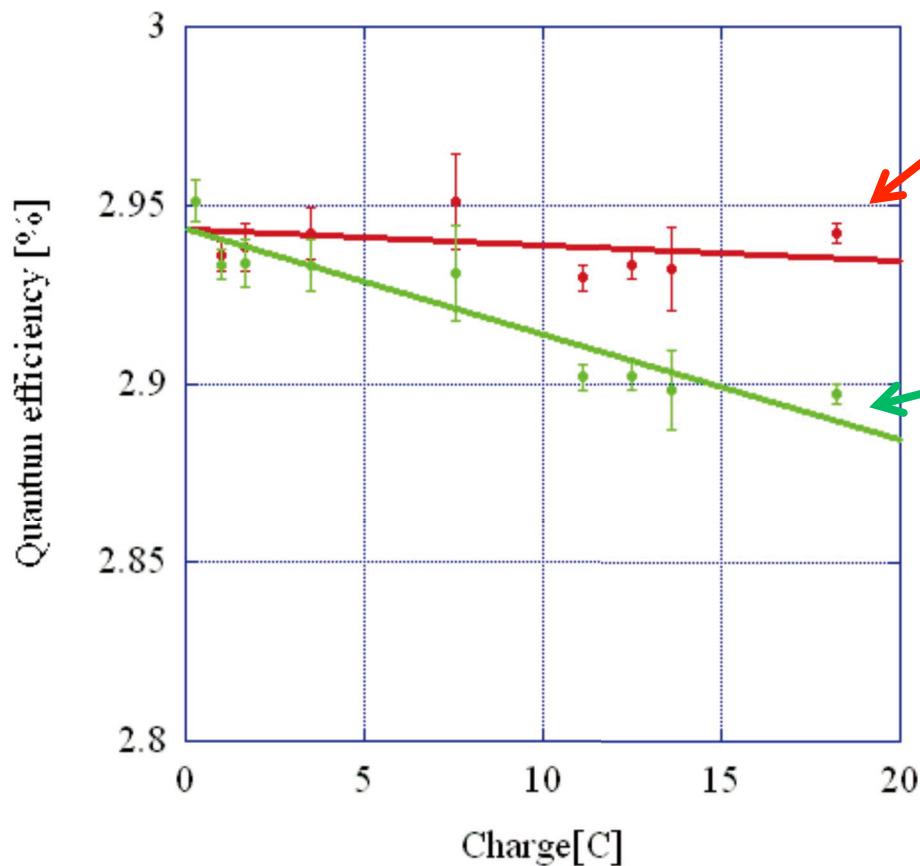
3500 ± 500 [hour]

平均電流数nA

532nm green laser

2.0e-8 Pa

ビームモード測定結果



補正データ

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

測定データ

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

電荷密度寿命 Θ
8300 [C/mm²]
(未補正 1200 [C/mm²])

量子効率の引出電荷量による変化

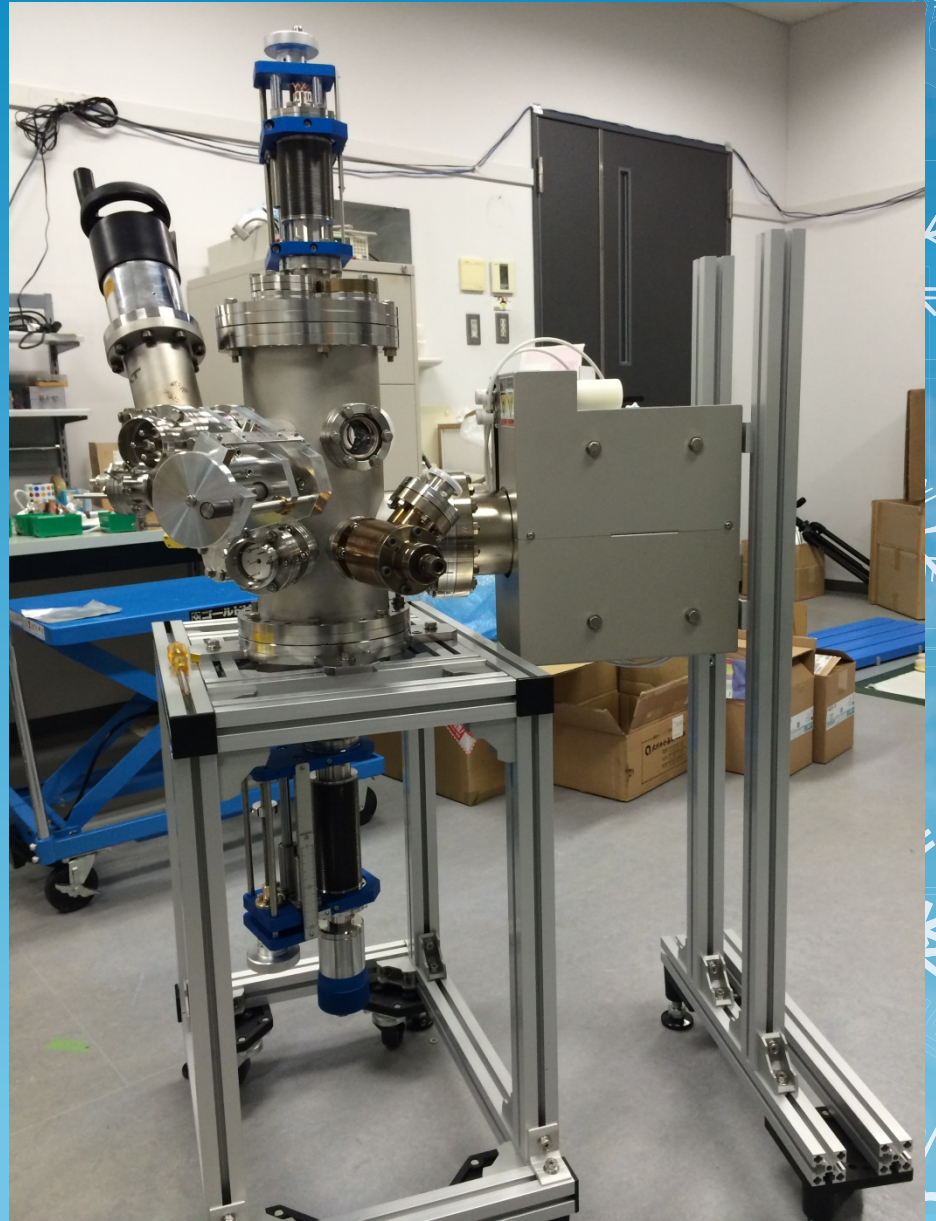
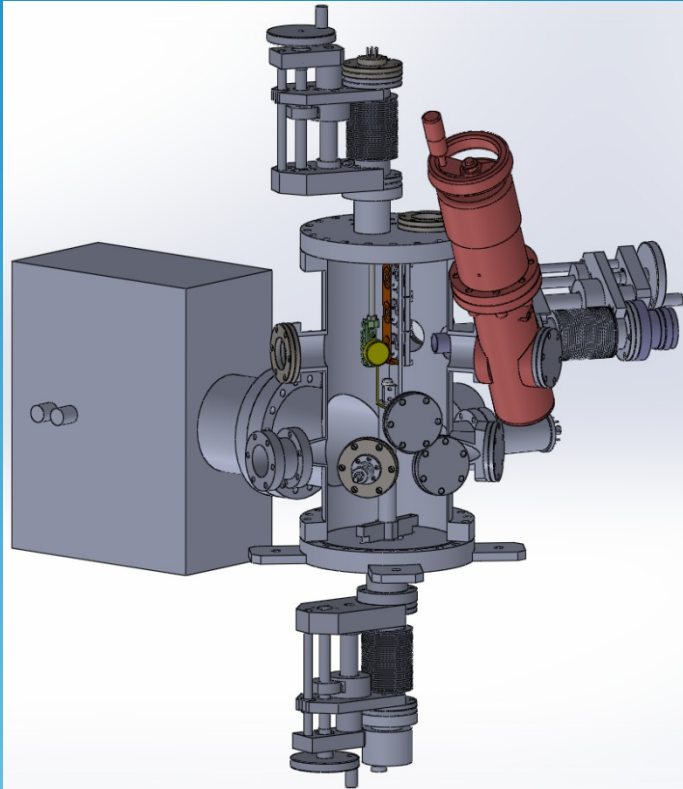
平均電流 90 μ A
レーザー 473nm
2.8e-8 Pa

cERL実装試験

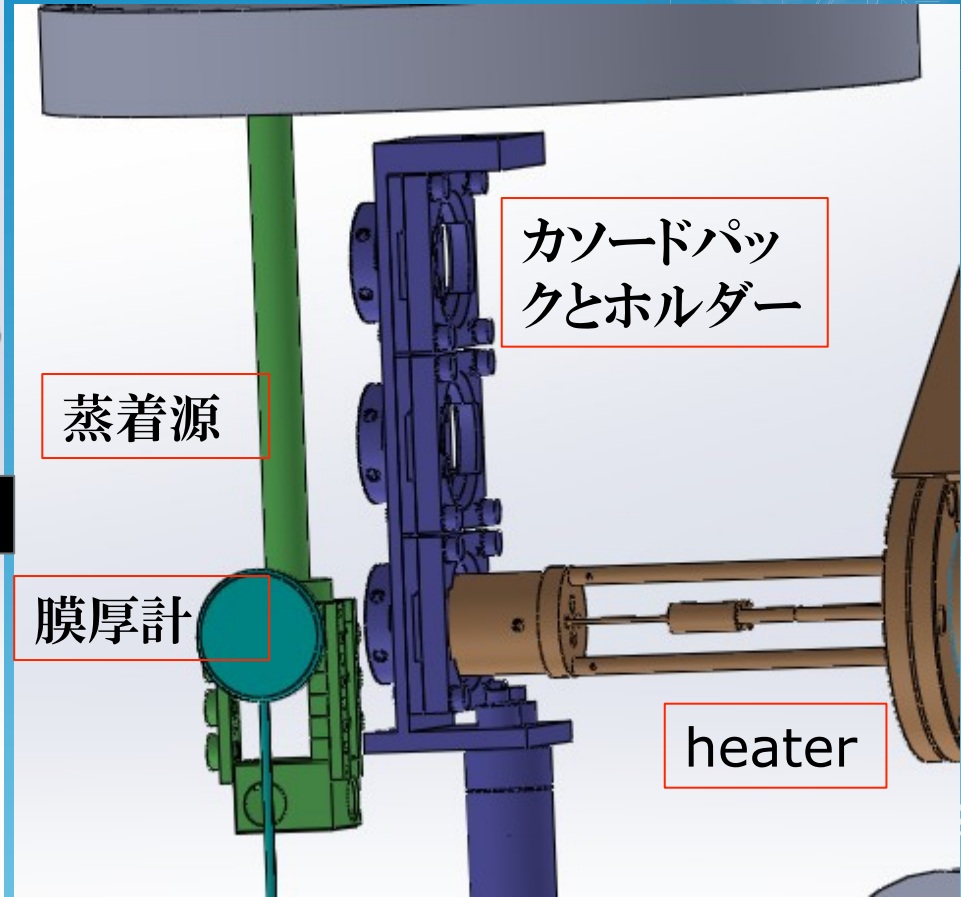
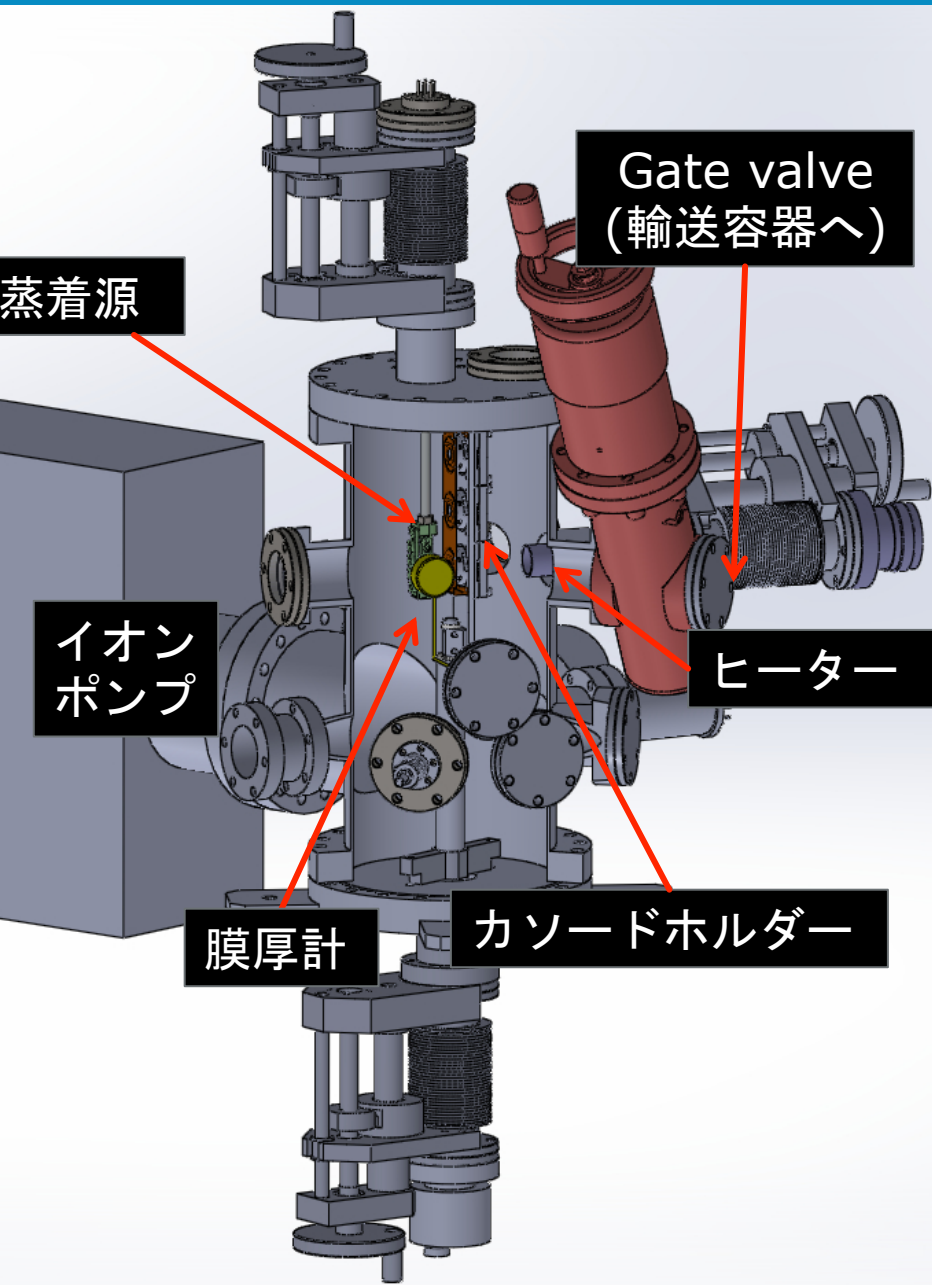
- マルチアルカリカソードをKEK-cERL(ERL実証器)で実証試験。
- 真空輸送容器を利用し、シールド外の蒸着装置で生成したカソードを加速器に実装。
- 真空輸送容器:KEK担当により製作。
- 広島大学は蒸着容器の製作を担当。



真空輸送容器対応蒸着装置

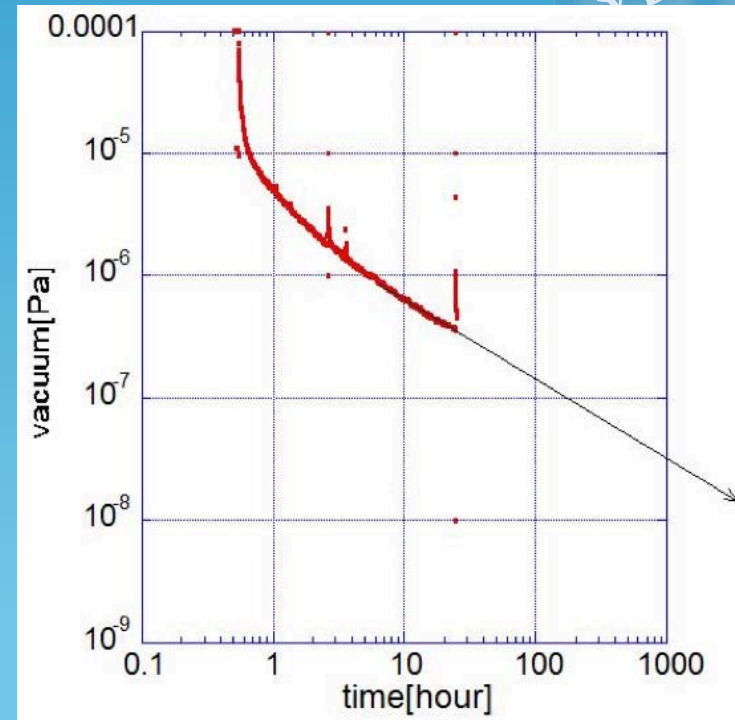
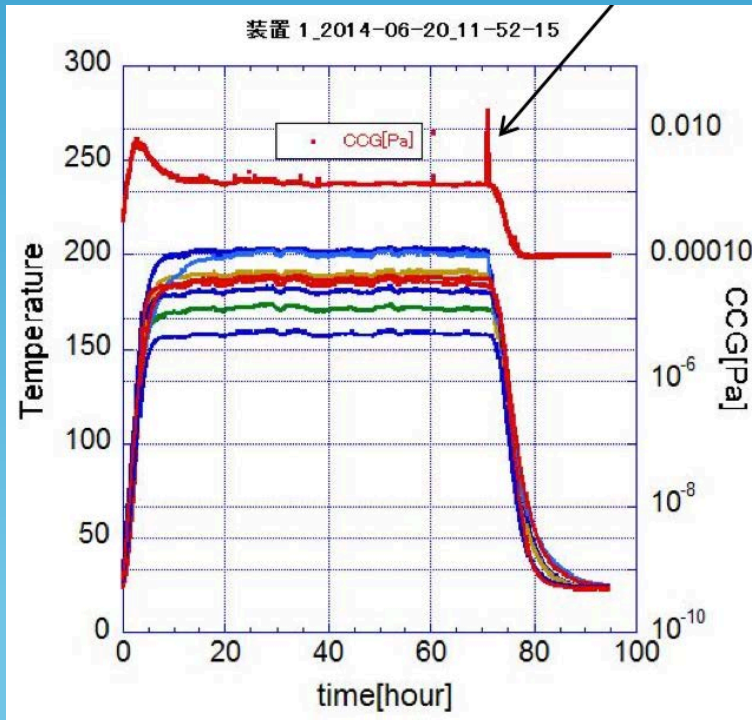


cERL用蒸着槽



cERL実装用蒸着装置の現状

- ベーキングを行っても真空の下がりが遅い
- 大きなリークは無いことを確認
- 各部分ごとに真空度の減衰を評価、蒸着源の部品としてZnが使用されていることが判明。補修済。
- Q-massによる調査



今後の予定 (cERL実装試験)

○ 11月～12月：真空度 10^{-9} Pa台で蒸着試験

○ 高量子効率、

○ 均一性、

○ 寿命試験、

○ 再現性、

○ 真空度依存性、

○ 基板依存性のデータ取得

○ SUS, Si(100), Si(110), Si(111), Mo

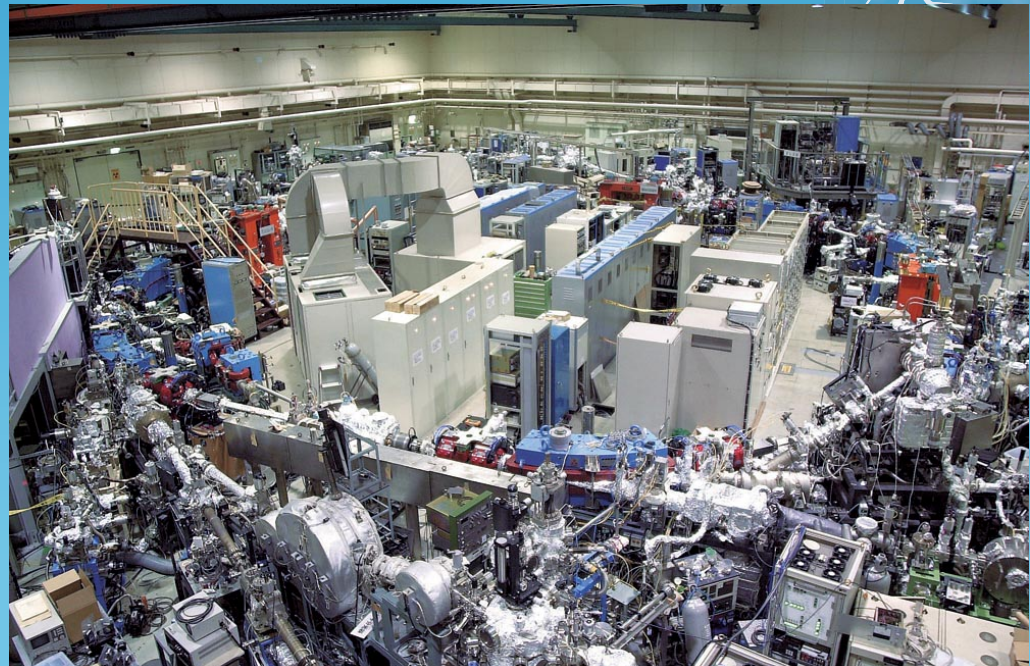
○ KEKに移送、cERLでの試験運転(2015-)



表面分析

清宮、許斐

- マルチアルカリカソードの生成条件の最適化のため、量子効率以外の指標が必要
- XPS/UPS, LEEDによる表面評価
 - XPS/UPS: 元素分析、結合状態分析
 - LEED: 結晶性分析
- UVSOR-BL2Bを利用



蒸着装置

イオンポンプ

蒸着源用Zステージ

レーザー光入射

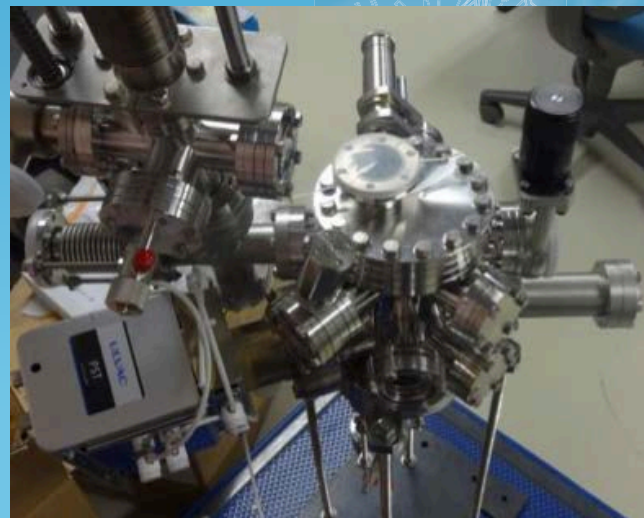
基板の交換

粗排気AV

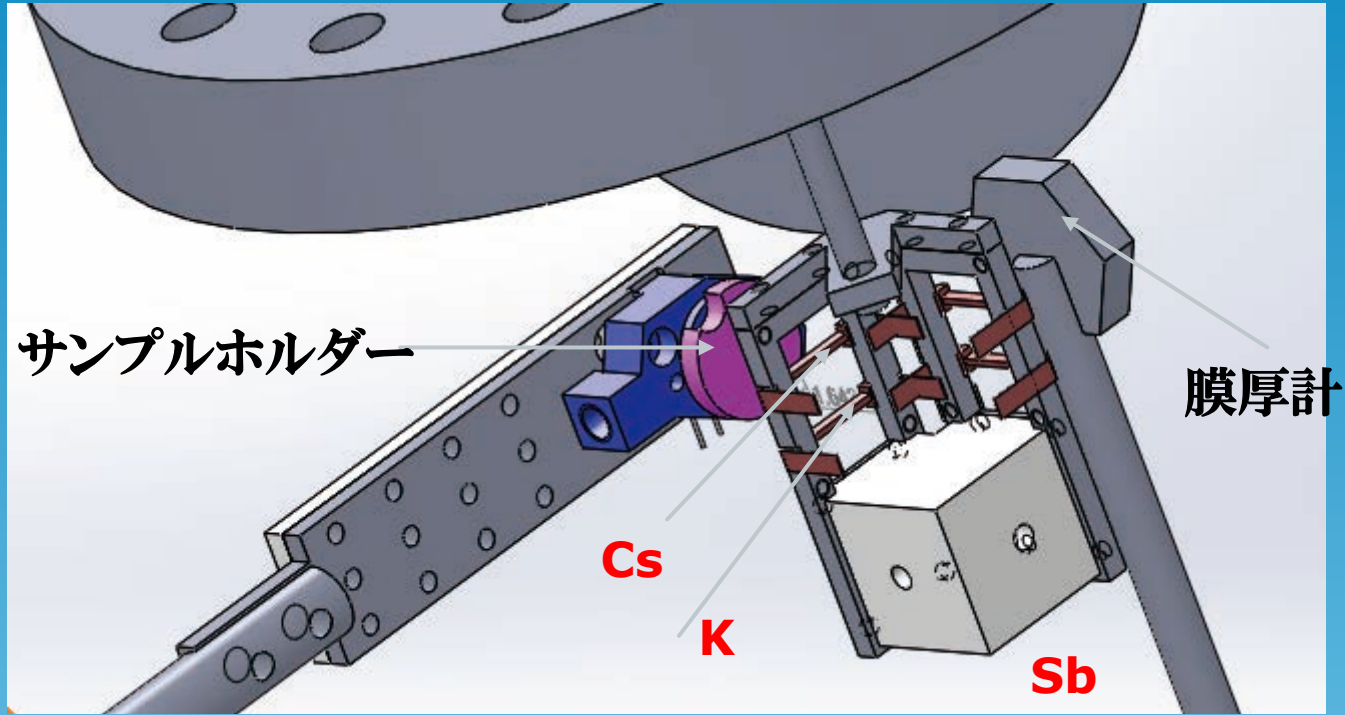
ビューポート

トランスファーロッド

サンプルホルダ



蒸着装置内部

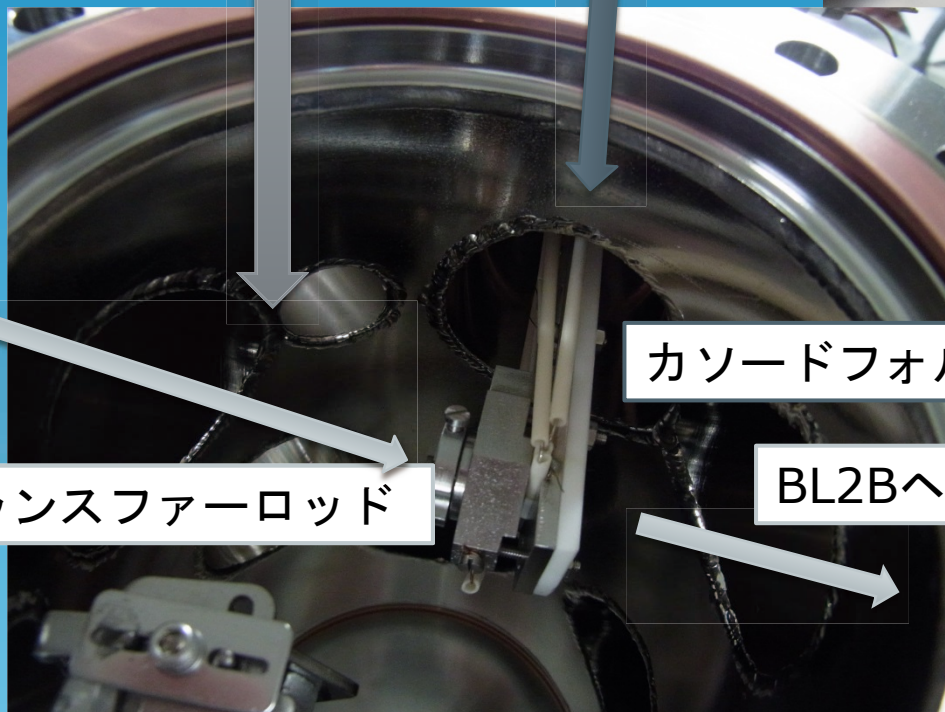


蒸着装置(測定室とゲートバルブを介して接続)内で蒸着。
サンプルホルダーを測定室にトランスファーロードで移動
in-situに測定

表面分析用蒸着装置



蒸着源



トランスファーロッド

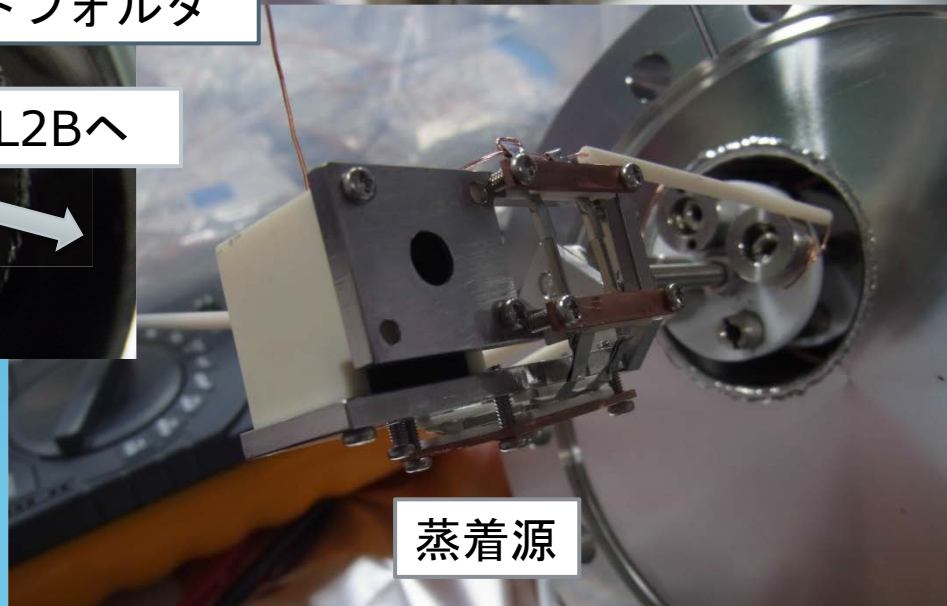
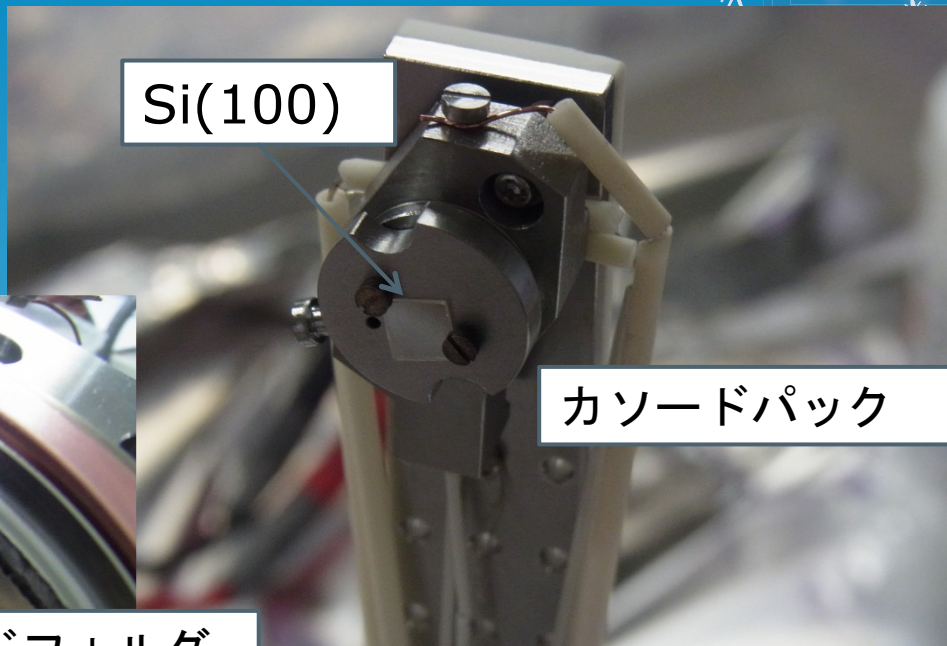
カソードフォルダ

BL2Bへ

膜厚計

Si(100)

カソードパック



蒸着源

UPS experiment at UVSOR

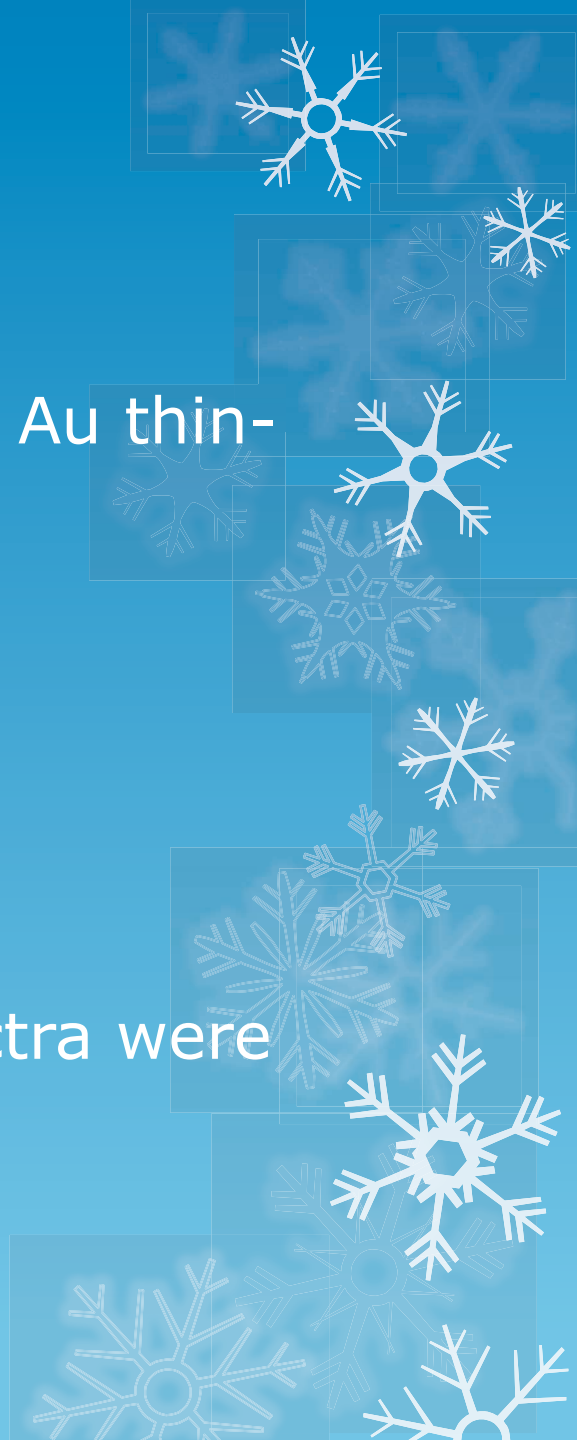
- UVSOR BL2B (25 – 250 eV UPS, XPS, LEED) にて、UPS測定を実施。
- CsK₂Sb蒸着チャンバーを構築。
- Sb, Cs, K, 蒸着源、基板温度制御(含む、加熱洗浄)
- 405nm, 530nm laser for QE measurement.
- 排気系:IP(50l) + NEG (200l).
- ベース圧力:5.0e-7Pa.

UVSOR BL2B-CsKSb蒸着装置現状

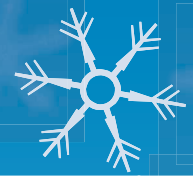
- 蒸着装置ベース真空度が 5×10^{-7} Paと悪い。
 - セラミックシートがガスを出している？
 - ベーキングの温度が 150°C と低い（ヒーター増強）
- 基板ヒーター温度は未校正、かつ出力不足。
- LEED, XPSはまだ立ち上がっていない。
- 7/22 UPSデータ取得をめざし、初のビームタイム。
 - BL2Bの調整不足。SRのフラックスが不足。
 - 蒸着装置の調整不足により、QE確認できず。またサンプル移送に失敗し、データとれず。
- 9/22、二回目のビームタイム。
 - BL2Bの調整が進展。
 - サンプル移送に問題がないことを確認。
 - CsKSbのUPS測定に成功。

Experiment Procedure

- CsK₂Sb is formed as thin film on Au thin-film on Si baseplate.
- Evaporation process.
 - 10nm Sb.
 - K giving a peak QE.
 - Cs giving a peak QE.
- For each evaporations, UPS spectra were taken.



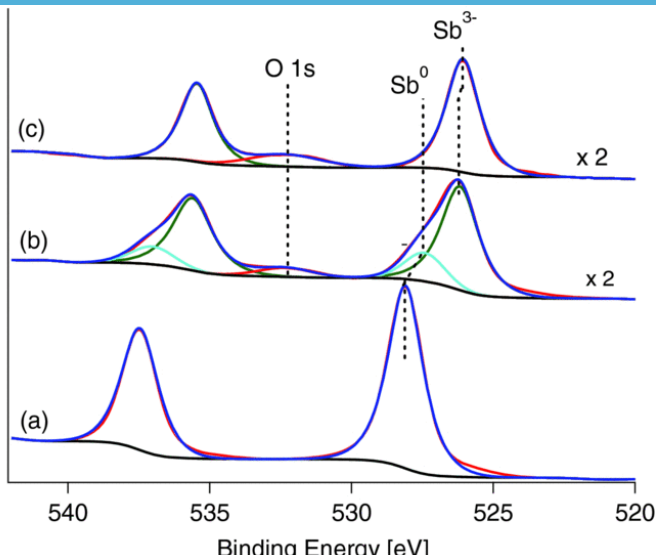
Binding Energy (eV)



Element	K 1s	L ₁ 2s	L ₂ 2p _{1/2}	L ₃ 2p _{3/2}	M ₁ 3s	M ₂ 3p _{1/2}	M ₃ 3p _{3/2}
O (8)	543.1	41.6					
Si (14)	1839	149.7	99.82	99.42			
K (19)	3608.4	378.6	297.3	294.6	34.8	18.3	18.3

Element	M ₁ 3s	M ₂ 3p _{1/2}	M ₃ 3p _{3/2}	M ₄ 3d _{3/2}	M ₅ 3d _{5/2}	N ₁ 4s	N ₂ 4p _{1/2}
Sb (51)	946	812.7	766.4	537.5	528.2	153.2	95.6
Cs (55)	1211	1071	1003	740.5	726.6	232.3	172.4

Element	N ₃ 4p _{3/2}	N ₄ 4d _{3/2}	M ₅ 4d _{5/2}	O ₁ 5s	O ₂ 5p _{1/2}	O ₃ 5p _{3/2}
Sb (51)	95.6	33.3	32.1			
Cs (55)	161.3	79.8	77.5	22.7	14.2	12.1



BL2B : 6-55 nm; 24-205 eV

解像度 $\Delta E/E$: 2000~8000 (回折格子依存)

MgK α : 1253.60 eV + AlK α : 1486.70 eV

ビームタイム風景

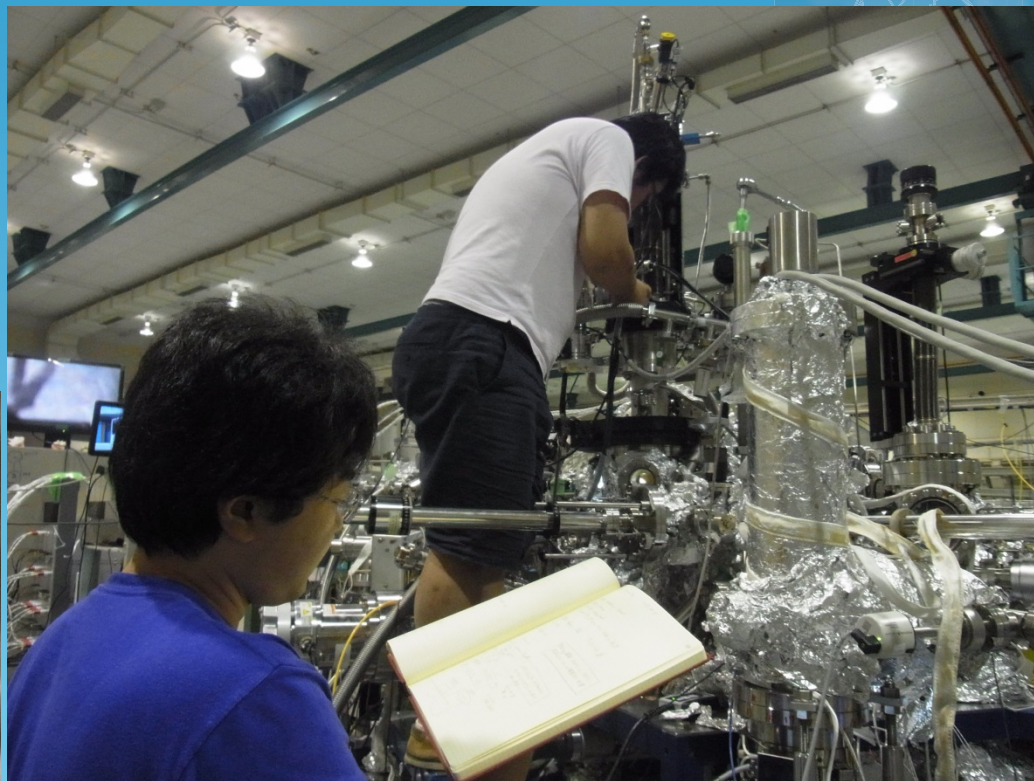
Puck is set for
UPS measurement.



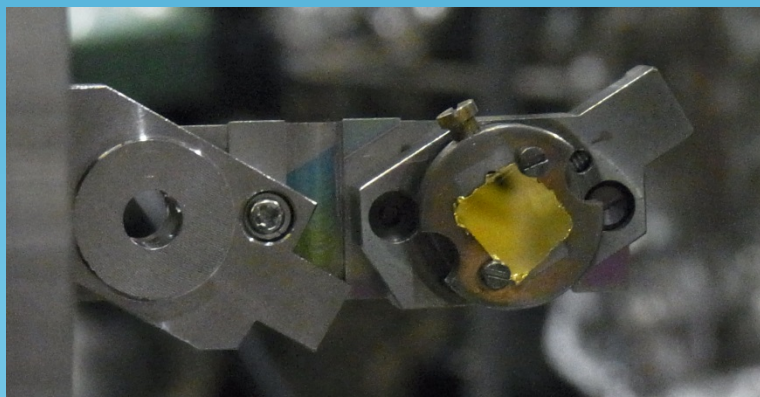
Au evaporation on Si
Set in sample holder
(puck)



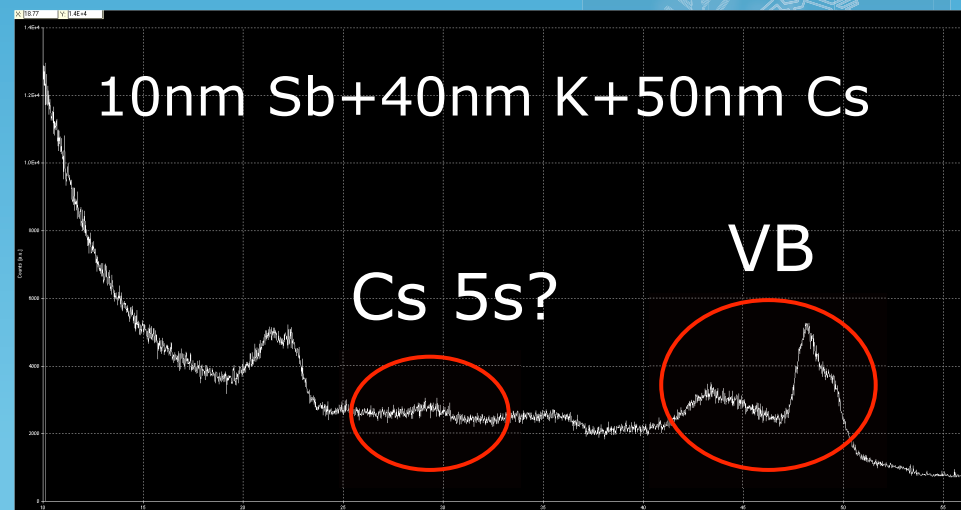
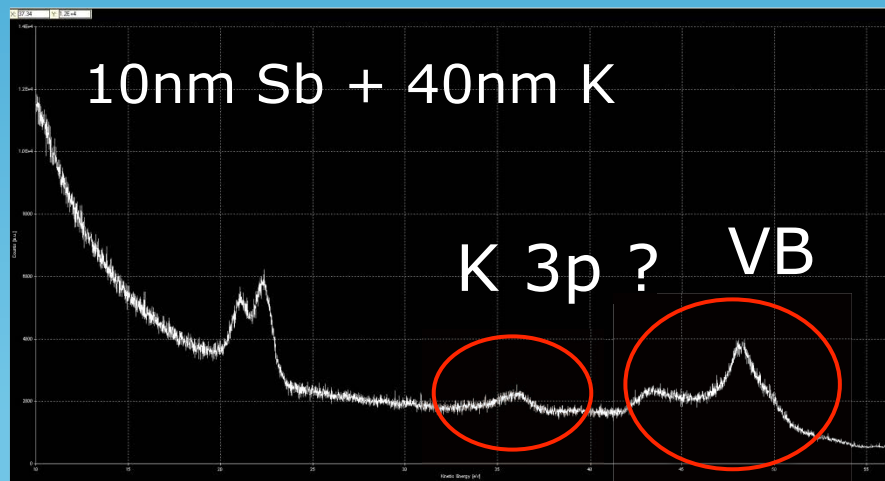
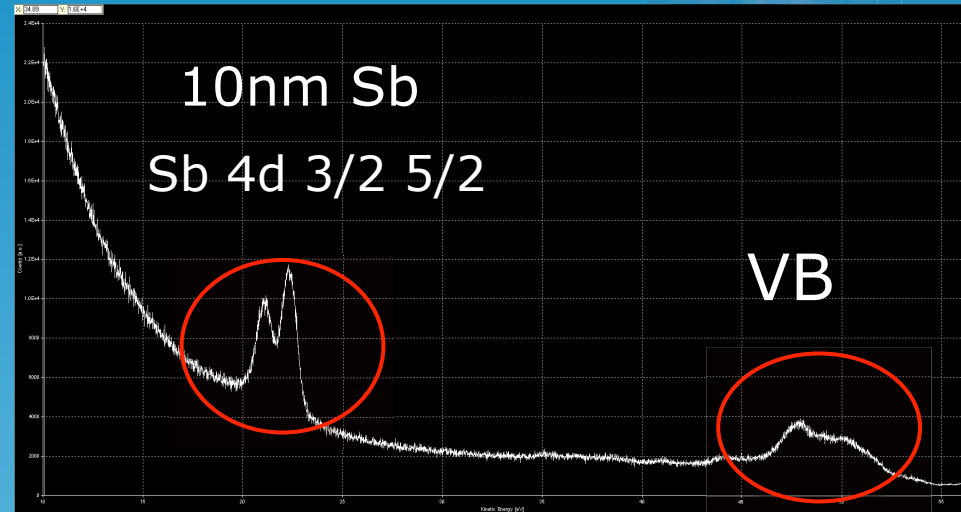
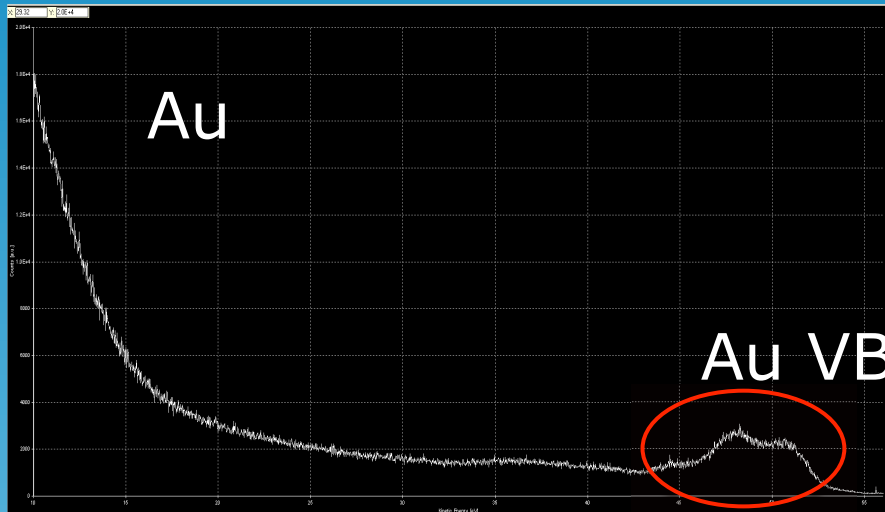
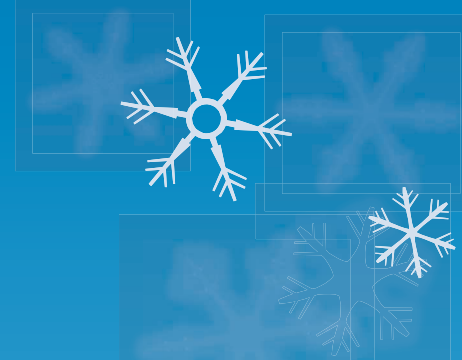
Two prominent young
researchers.



Puck is loaded.



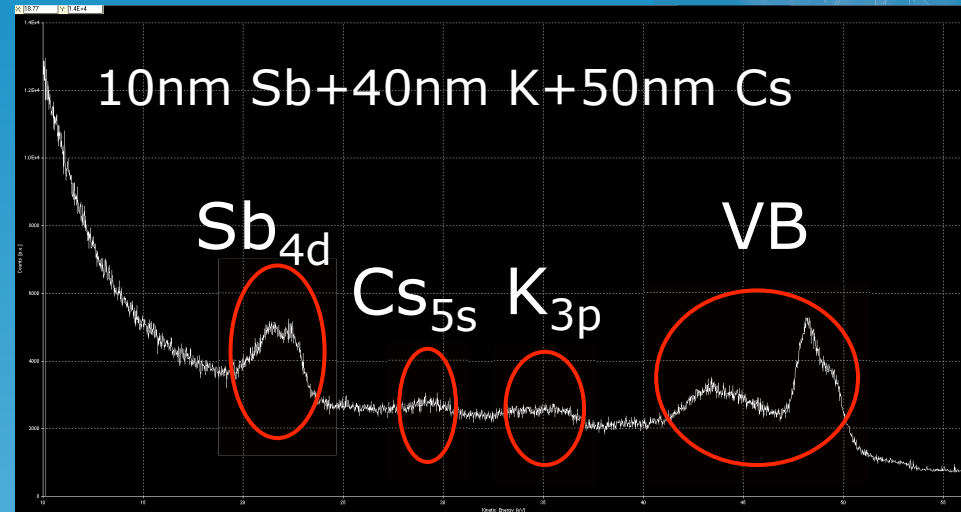
UPS spectra (one by one)



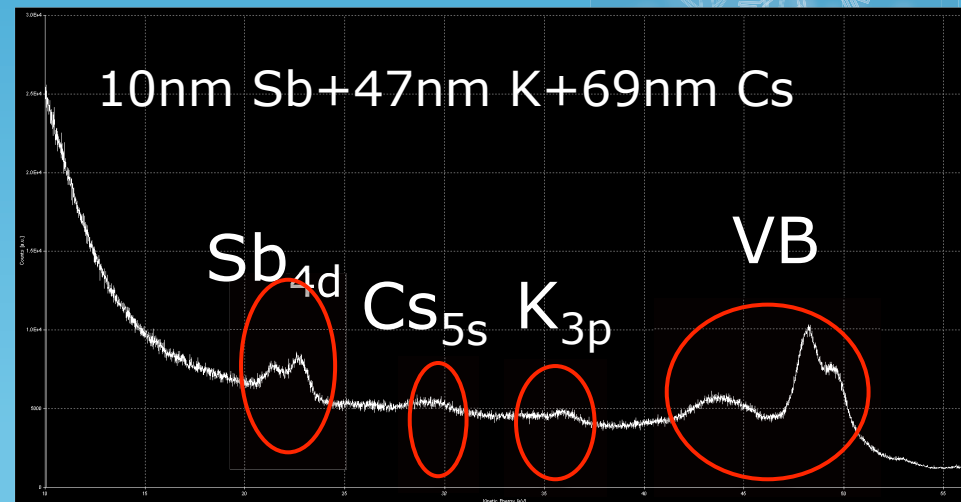
UPS spectra

- Films evaporated one by one and at once show similar UPS spectra, even the thickness of K and Cs are different.
- Some composite of Cs, K, and Sb were formed.
- VB spectral change suggest the speculation.
- Maximum QE was 0.03 % (at once) and ~0.005% (one by one).

One by one

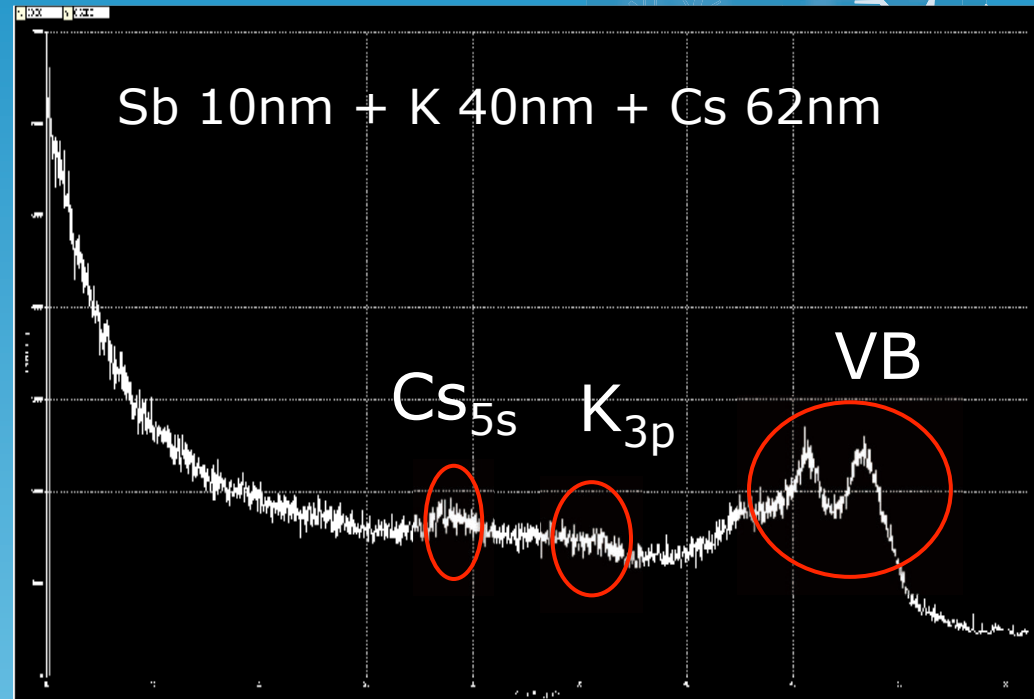


At once



CsK₂Sb on transparent baseplate (MAO, Al(CH₃)_xO_y)

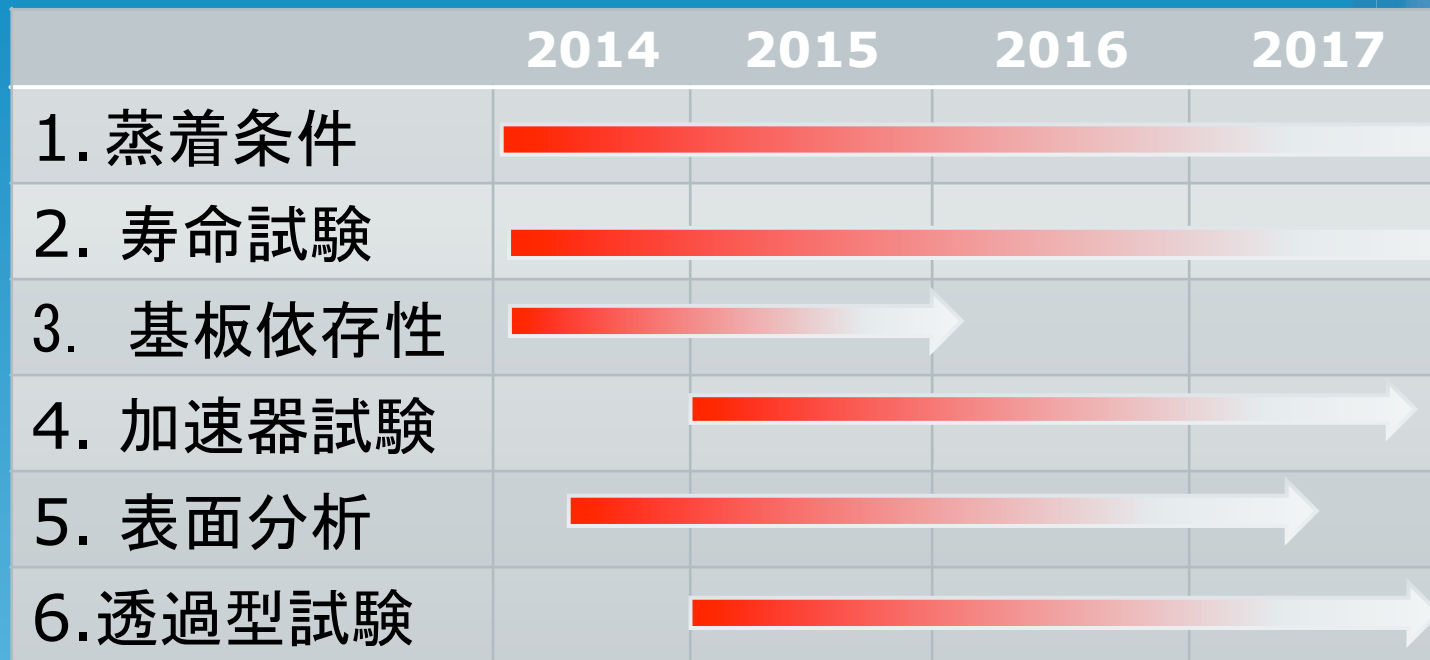
- Heat cleaning by IR.
- CsK₂Sb thin film is formed.
- During the activation, QE is consistent with zero.
- In UPS spectrum, Sb peak is not observed. VB shape is different from that on Au.
- STO(SrTiO₃) is activated offline.



UVSOR実験での課題

- 蒸着装置の真空が悪すぎる。十分なベーキングにより、少なくとも一桁改善したい。コンポーネントのチェックも必要。
- 広島大学でのカソード性能の再現。
- UPS測定チャンバーの真空度は、やはり悪い。改善できるかどうか、要検討。
- LEEDの立ち上げ。

スケジュール



Summary

- 広島大でCsKSbカソードの蒸着技術確立。より精度の高い寿命の測定。
- cERLでの実装準備をすすめている。
- UVSORでのUPSデータを取得。
- Au上への蒸着ではQEを確認、MAOではQE=0.
- 装置の改善が必要。次回のビームタイムは2014/11と2014/12に予定。
- LEEDを立ち上げしだい、測定予定。