

マルチアルカリ高量子効率・ 長寿命カソード開発

2015年12月15日

広島大学先端研 加速器研究室

根岸 健太郎, 栗木 雅夫, 郭 磊, 浦野 正洋, 横田 温貴

分子研 UVSOR

加藤 政博

KEK加速器施設

許斐 太郎, 清宮裕史

レーザーコンプトンによる擬単色X線源

X線フラックス

$$N_X = L_\sigma \propto \frac{I}{S_\sigma}$$

X線の数を増やすには、
電流密度を最大化しなさい

電子発生的に

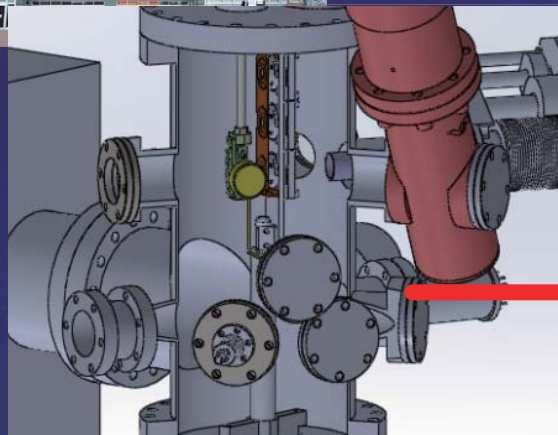
- 小さなスポットから
- 大きな電流

課題

- 量子効率
- 耐久性(寿命)



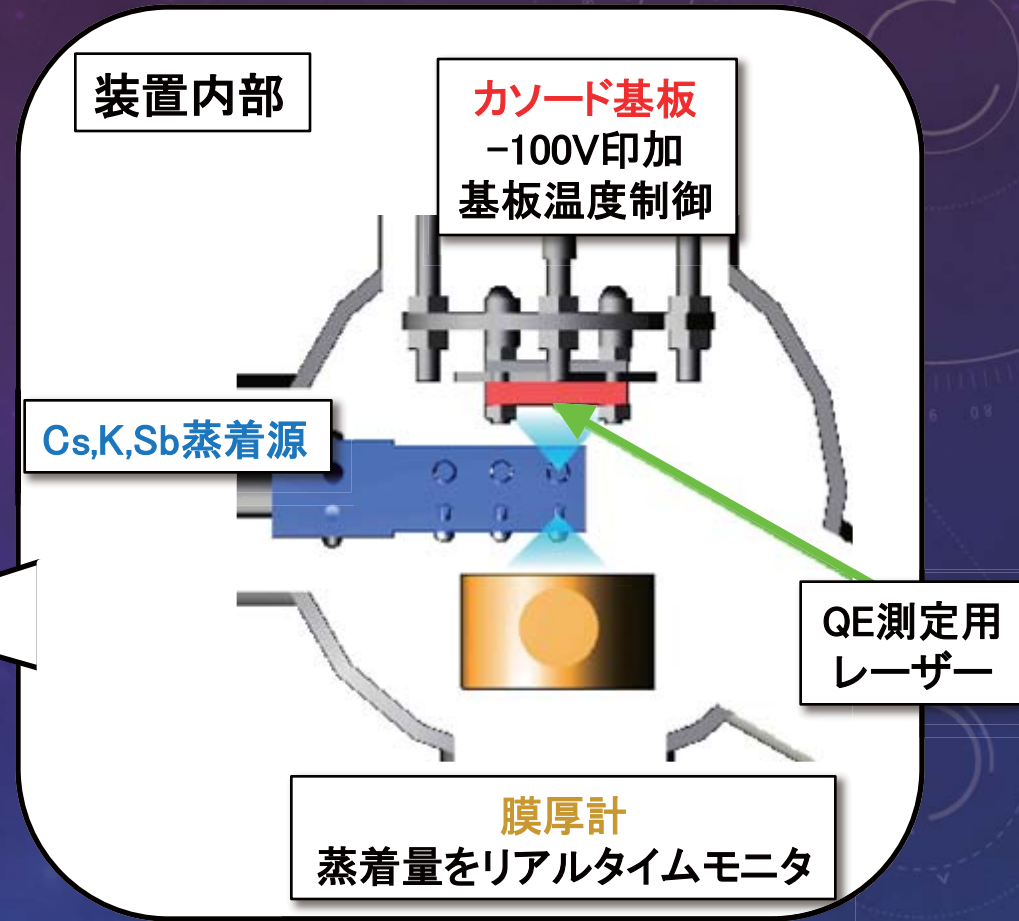
広島にて
カソード成膜



KEK cERL
X線発生



マルチアルカリ蒸着装置



- SUS基板(30 × 30 mm)
- 蒸着時、QE & 膜厚同時測定
- ベース真空 4×10^{-9} Pa (NEG & IPポンプ)

KCsSb QE劣化寿命Model

τ : 時間寿命
 Θ : 引き出し電荷寿命
 ρ : 引き出し電荷

2成分Model

初期QE
 $\eta(t)$
 時間発展QE

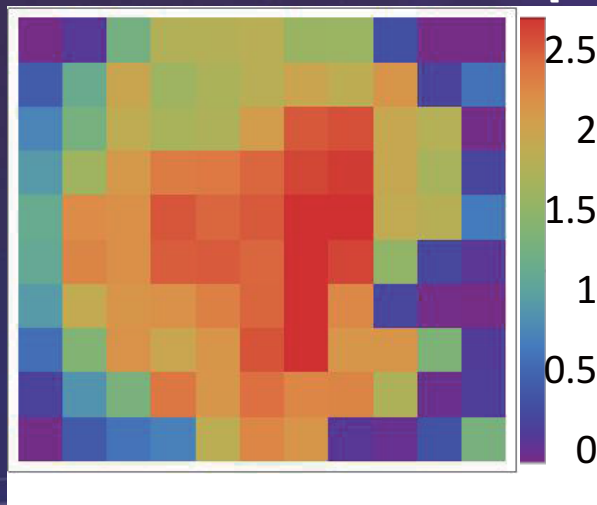
初期QE

時間成分

$$\exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$

電荷成分

$$\exp\left(-\frac{\rho}{\Theta}\right)$$



QE[%]

残留ガス吸着
 (熱脱離)...

イオン逆流

広島大学作成カソードは
 2.5×10^{-8} Pa環境下で
 0.1 mm·mrad 100 mAで
 約 90^{+40}_{-34} 時間の運転可能性を達成
 (ビーム引き出し位置を変え、
 より長い運転時間を確保できる)

また...

$$\tau \propto 1/p$$

$$\Theta \propto 1/p$$

これを確かめる

Life time : ~ 2.5 months

Charge life time : 8000^{+3600}_{-2800} C/mm²

予想

$$\tau \propto 1/p$$

$$\Theta \propto 1/p$$

時間・電荷密度寿命 真空圧力依存性

- 引き出し電流を変化させる事で、チェンバー内の真空圧力をコントロールした

引出電流 [μA]	67		28
平均真空度 [$10^{-9} \times \text{Pa}$]	25.0	$\times \sim 1/3$	7.0
時間寿命 [h]	1820 \pm 20	$\times 3.1 \pm 0.1$	5600 \pm 100
電荷密度寿命 [C/mm^2]	8000 \pm 2000 $^{+3000}_{-2000}$?	6000 \pm 2000 $^{+2000}_{-1000}$

時間寿命補正
による誤差

- 時間寿命は真空度に逆比例して変化する事を確かめた。
(405 nmのレーザーによるQEに関しても同様の事を確かめられている。)
- 電荷密度寿命に関して、有意な値を得る事ができていない。
(電荷引き出し時の時間経過による効果を補正すると、
電荷引き出し寿命は発散傾向である。)

今後さらに

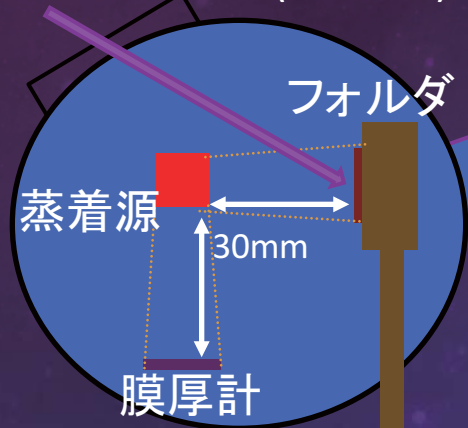
- 測定精度向上 ← QE測定時ノイズ軽減
- より強度の電荷引き出し ← 3W DCレーザー(405nm)導入
- 真空圧力のコントロール

等を考える事で、
これを進める。

表面分析 with UPS (@ UVSOR)



QE測定用レーザー(405 nm)



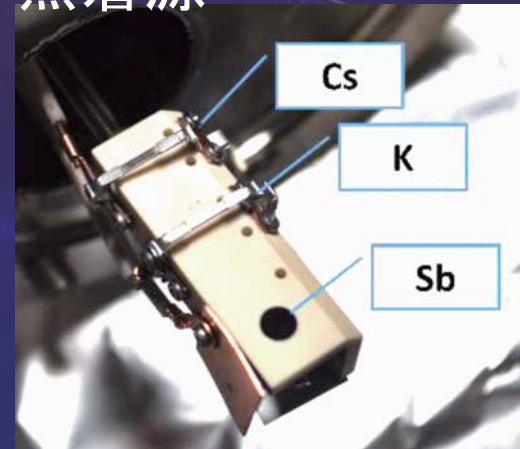
$O(10^{-6} \text{ Pa})$

$O(10^{-6} \text{ Pa})$

UPS測定
チェンバー

真空を保持
したまま輸送

蒸着源



カソードフォルダ



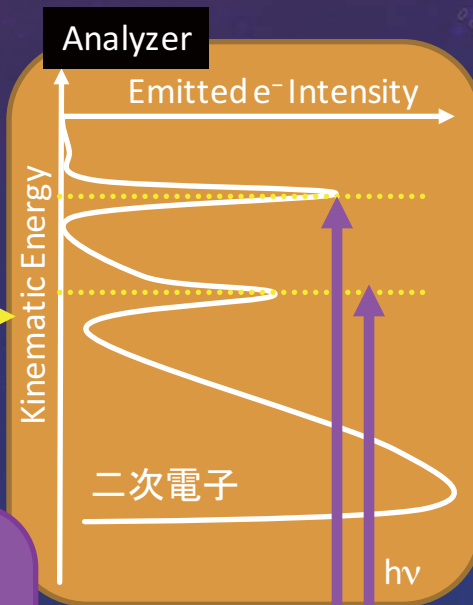
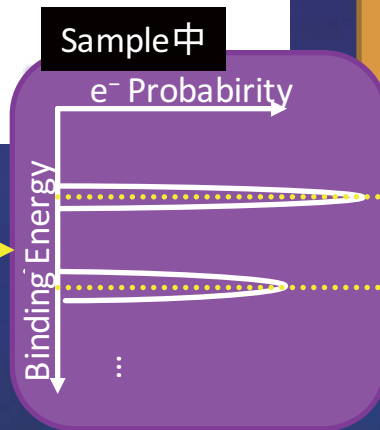
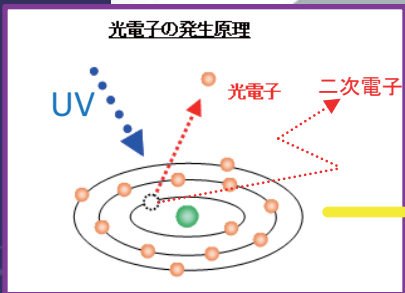
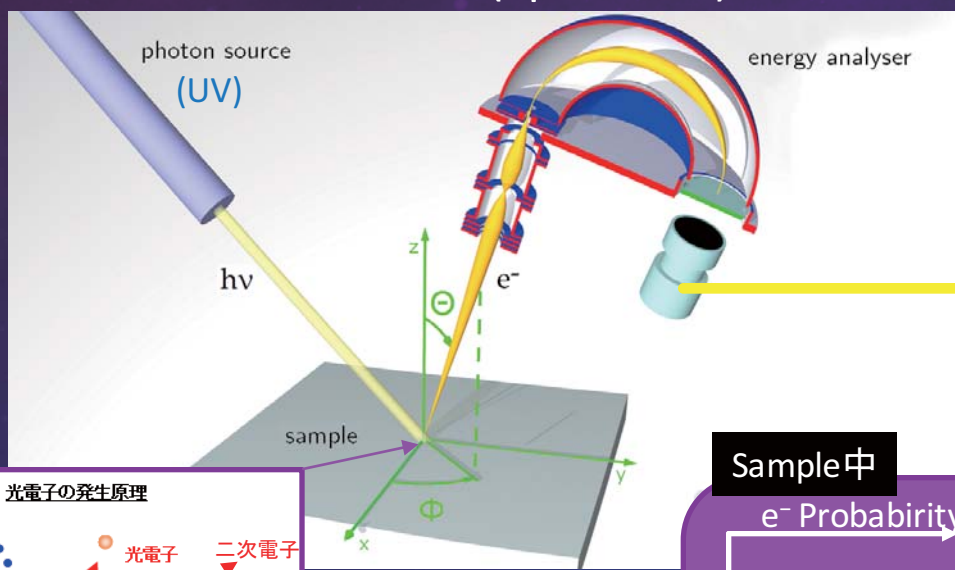
Si基板上に
KCsSbを蒸着し、
UPS測定を行う

- KCsSb生成条件最適化
- QE劣化のメカニズム

59 eVのUVを用い
元素分析・結合状態分析

UPS測定

- 単色紫外光(UV)を資料に照射し、飛び出てきた電子(Photoemission electron)の運動量スペクトラム(Spectrum)を観測する。



Sample中電子分布を
観測できる

解析サンプル

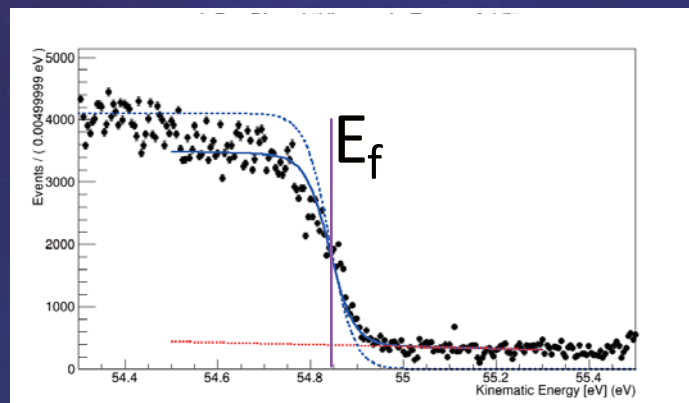
※0 hで
QE(405 nm)測定

	QE (405 nm)	Sb	K	Cs	データ取得時間
KCsSb #1	0.22×10^{-2}	110 Å	370 Å	700 Å	0, 15 h
KCsSb #2	12×10^{-2}	90 Å	400 Å	470 Å	0, 7, 11 h
KCsSb #3	~0	100 Å	1400 Å	700 Å	0 h
KCsSb #4	1.5×10^{-2}	100 Å	530 Å	150 Å	0, 3 h
KCsSb #5	~0	120 Å	350 Å	400 Å	0,h

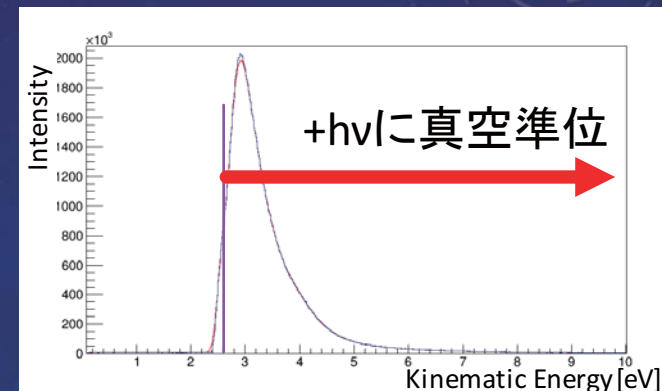
1. 入射光には $h\nu = 59 \text{ eV}$
観測が期待される
電子軌道

- Sb 5p [2 eV]
- O 2p [6 eV]
- Sb 5s [7 eV]
- Cs 5p [12 eV]
- K 3p [18 eV]
- Cs 5s [23 eV]
- Sb 4d [32 eV]

2. AuのSampleを用い、
Fermi Levelを決定

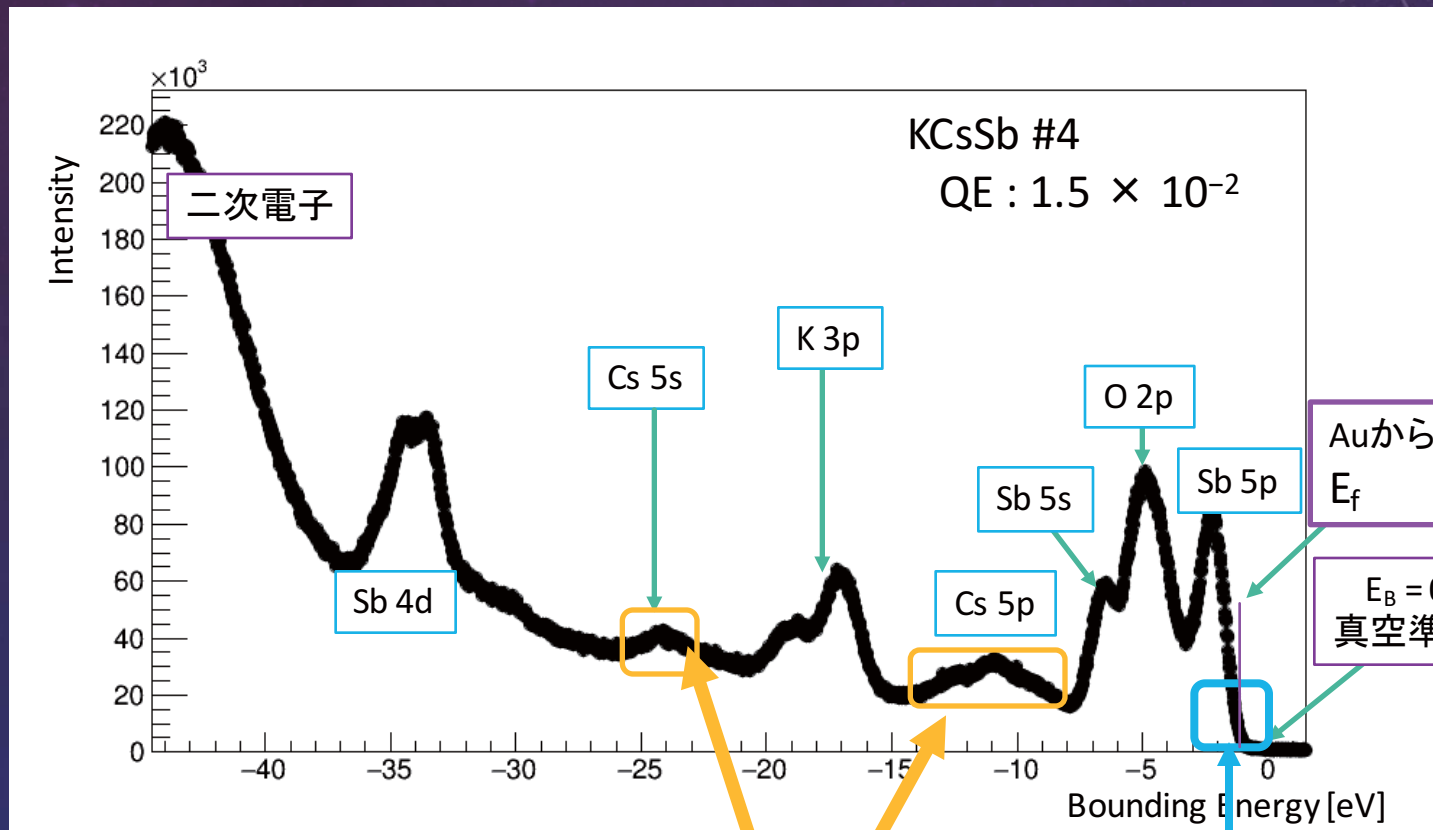


3. 真空準位は
二次電子の
End pointから決定



KCsSbスペクトラム例

ピークの同定は
ほぼ完了



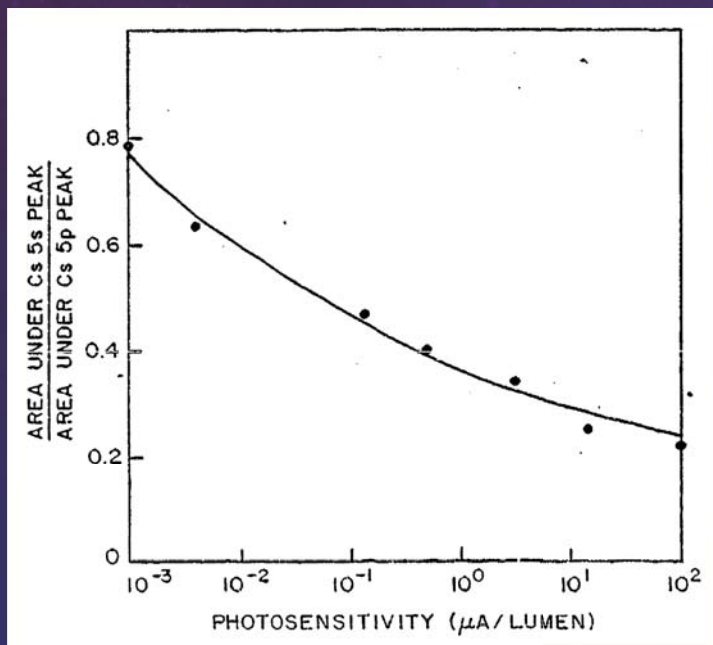
QEとCsピークの関係
(Cs-Sb結合とQE suggested with Cs_3Sb)

真空準位から
($\gamma(405 \text{ nm})$ つまり3.06 eV)
を見るとQE(405 nm)を
押し量る事ができる。

QE – Cs 5s/5p Peak Ratio

[Clayton W. Bates, Basic studies of high performance multialkali photocathodes (1979)]

- Cs₃Sbで“相関(QE, Ratio) < 0”を示唆



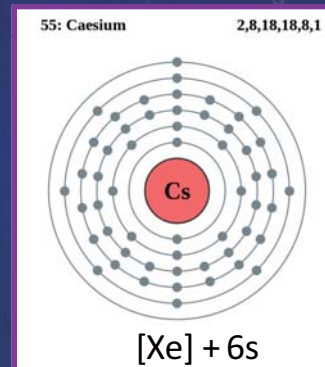
<In Cs₃Sb>

- 相関(QE, 綺麗な結晶)

[Clayton W. Bates, X-ray photoemission studies of cesium antimonide photoemitters (1980)]

- Cs₃Sbの結晶 – Cs 5s電子の不在

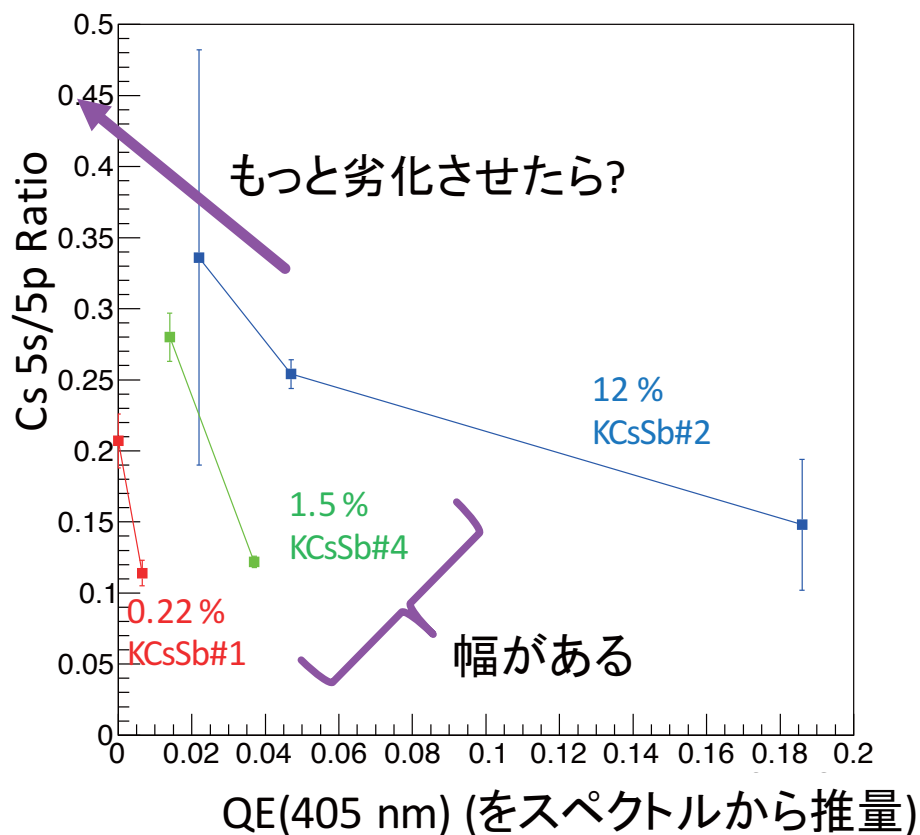
Cs 5s軌道の電子はexcitation stateへ基底状態の5sに見えなくなる



- ▶ この関係がKC₃Sbで見えるのか調べてみる
- ▶ スペクトルからQEを推し量る(SpecQE)

QE – Cs 5s/5p Peak Ratio 結果

SpecQE v.s. Cs 5s/5p Ratio



相関(Corr.(SpecQE, Ratio)<0)
が観測できる

→ KCsSbは
(Cs₃Sbと同様に)
結晶性とQEに
関係がある

まとめ

- @広島大学 作成KCsSbの性能評価
- KCsSb寿命評価
 - 広島大学作成KCsSbでcERLオペレーションに十分
 - 真空度との関係をさらに追究
- KCsSbのUPSスペクトルの解析 2016/2月8-12日 UVSORにて
再度ビームタイムをもらってます
 - Cs-Sbの結合とQEの関係
 - Kの結合は?
 - Sb 4d のレプリカピーク

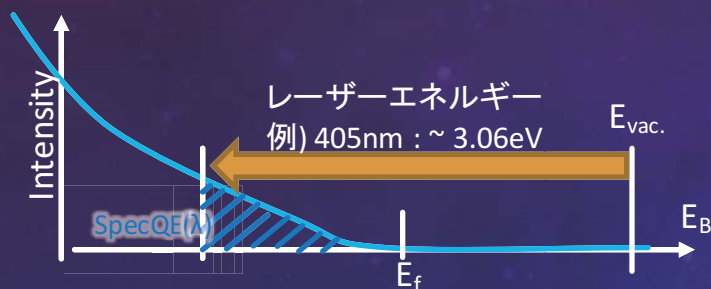
BACKUP



レーザーQEとSPECQEの関係

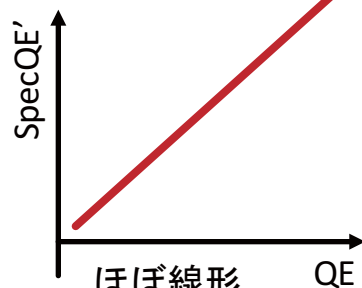
MOTIVATION

- サンプルのQEと、QEを測定するレーザーで励起できる範囲の電子のスペクトラム強度には強く相関があるはず
 - 違いは(レーザーのサンプルへの透過 & 励起された電子の運動量)のみ



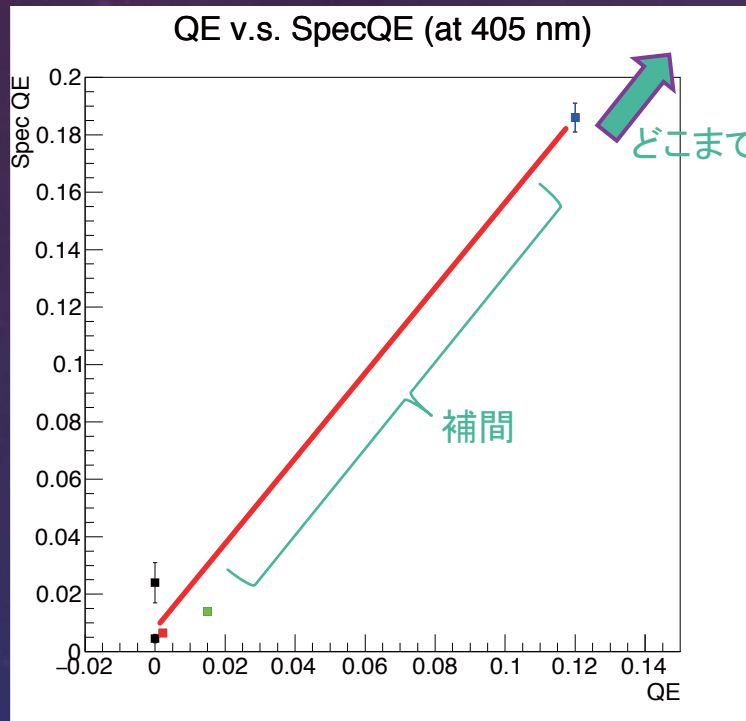
青斜線領域がQEと相関があるはず
この領域の積分強度
(をK 3pピークの強度で規格化したもの)
(SpecQE')とQEを比較

予想



ほぼ線形
異なるSample間でも
関係性は一定

QEとSPECQE'の関係 結果まとめ



強く相関が見えている
Sample間でもUniversalに
(QE, SpecQE)の関係性が
示唆できる
可能性があると考える

[課題] 間を補間する & より高QE Sampleの
SpecQEも測定する