



CsKSbによるNEA GaAs活性化の研究

Zachary J. Liptak

広島大学先進理工系 加速器グループ

2022年度ビーム物理学会・若手学会

2023年3月10日

実験結果等は前田陽紀の卒論から

背景と目的

- 次世代の加速器がスピン偏極ビームを利用するつもり
- 高スピン偏極率・量子効率かつ長寿命が理想的。
 - 70年代からNEAが用いられるが。。
 - 従来のカソードは耐久性が低い
 - RF銃不可
 - 寿命が短い→頻りに交代→タイムロス
- GaAsウェーハに新たにNEA活性化により耐久性を改善

偏極ビームの物理モチベーション：
例えば

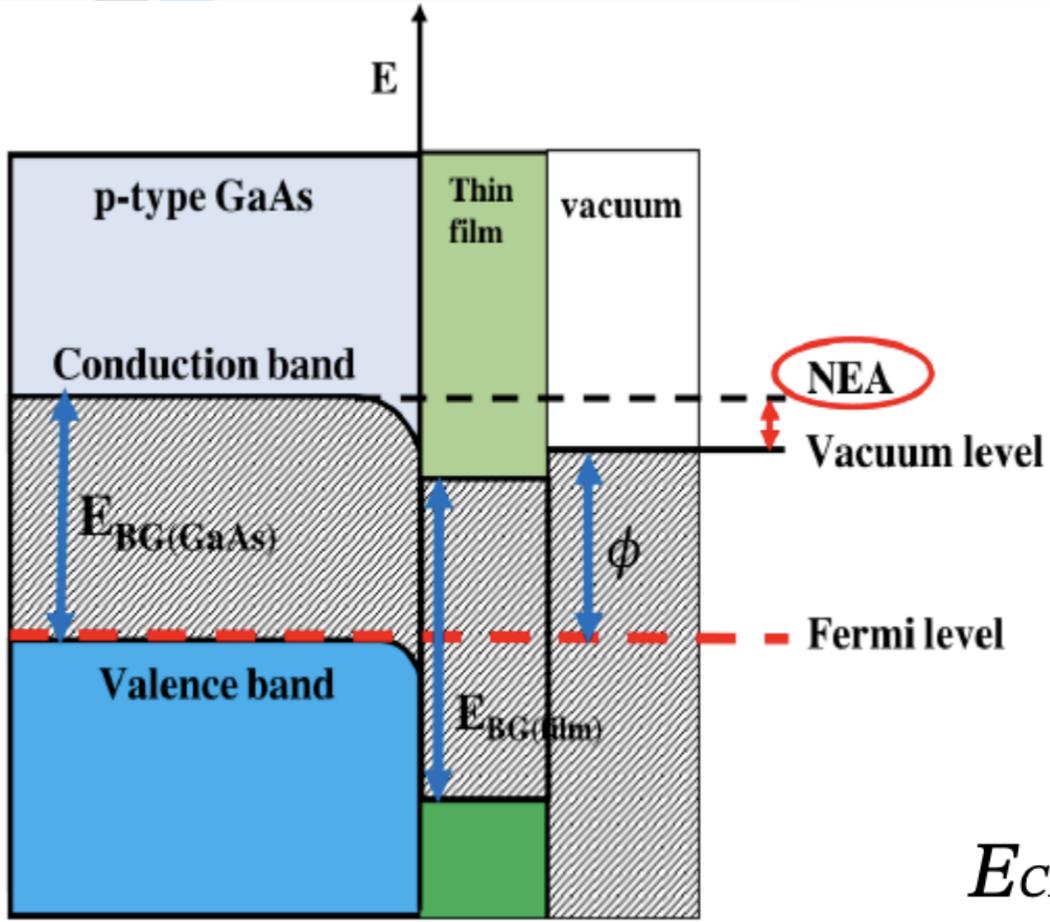
<https://doi.org/10.48550/arXiv.1310.0763>

(ILC Whitepaper)

<https://doi.org/10.48550/arXiv.2205.12847>

(Polarized SKB Snowmass Whitepaper)

NEAについて



NEA: Negative Electron Affinity

GaAsウェーハに異種半導体薄膜を蒸着して、バンドギャップを縮める。

→ GaAs価電子帯へ励起された電子が真空へ遷移できる

$$E_{CBM} - E_F > \Phi_{film}$$

E_{CBM} : 伝導帯準位の底

E_F : フェルミ準位

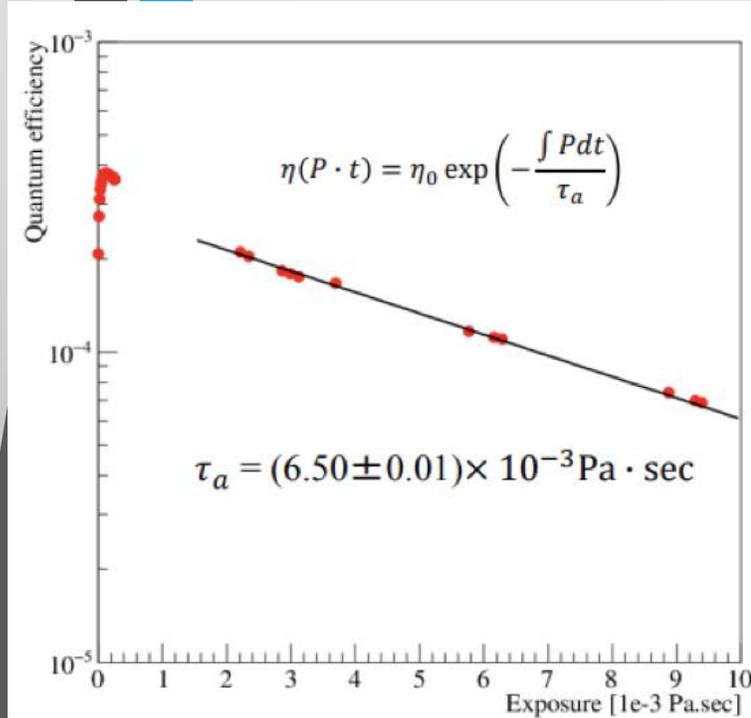
Φ_{film} : 薄膜半導体の仕事関数

Cs薄膜劣化の原因

- Csの熱脱離
- ガス吸着
- イオン逆流

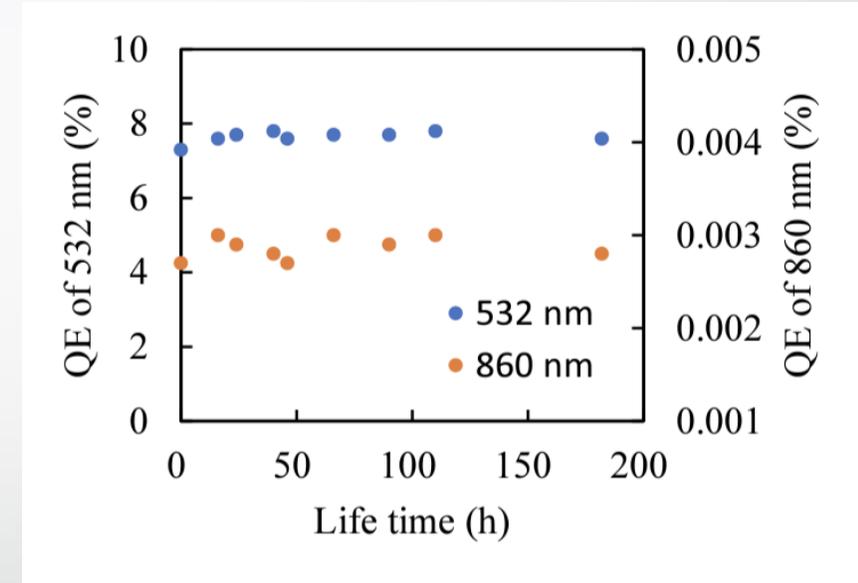
以上の問題を緩和するため、CsやCsOより新しい薄膜作りを試してみる。

薄膜比較



Cathodes	Lifetime τ_a [$10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{sec}$]
CsKTe/GaAs	6.50 ± 0.01
Cs-O/GaAs	0.29 ± 0.03 [1]
Cs-O/GaAs	0.40 ± 0.02 [2]

[1]K. Miyoshi, M. Thesis, Hiroshima U. (2013)
 [2]G. Lei, M. Thesis, Hiroshima U. (2014)

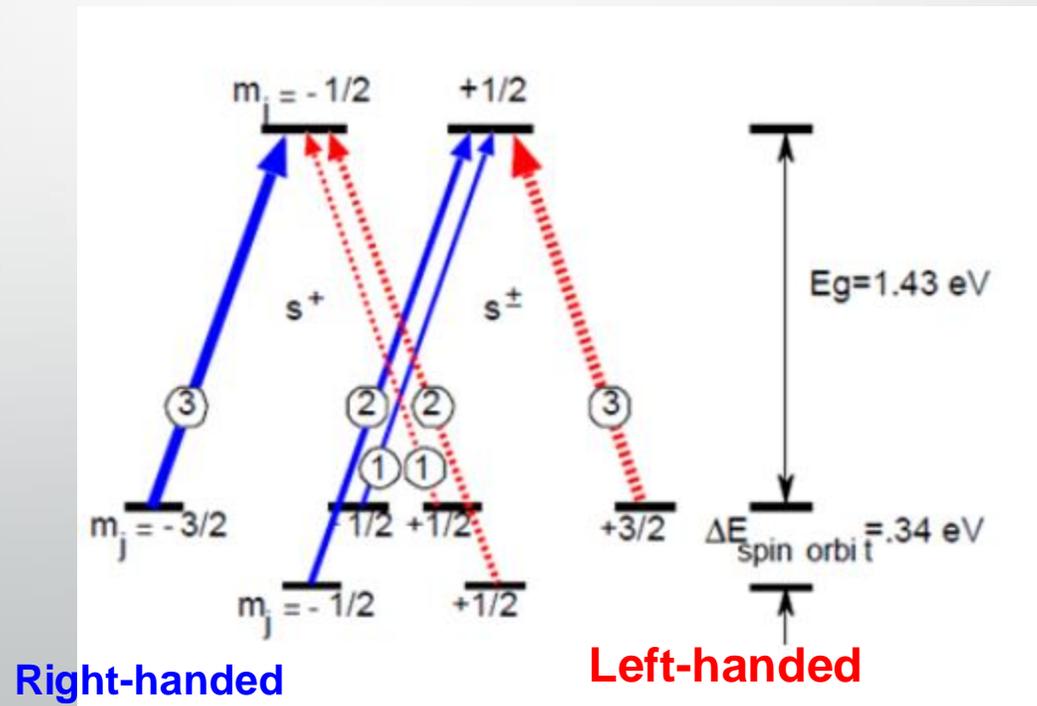
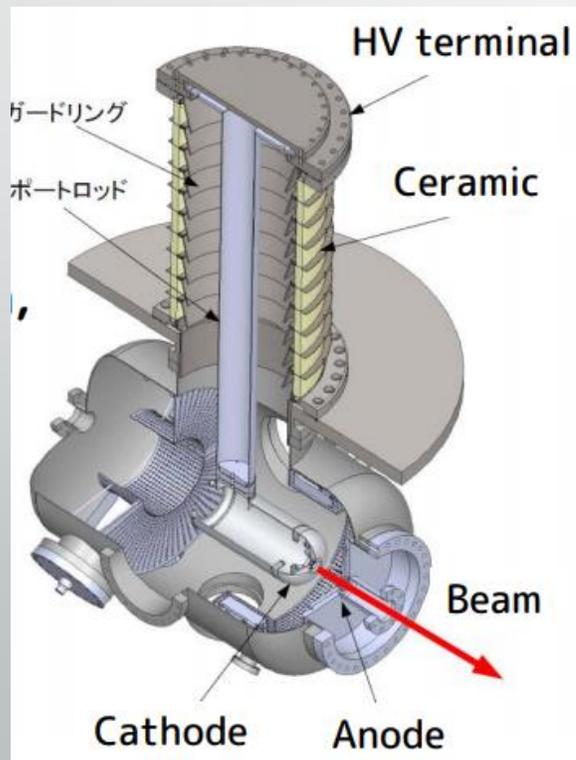


小杉 et al., PASJ2020 THPP49

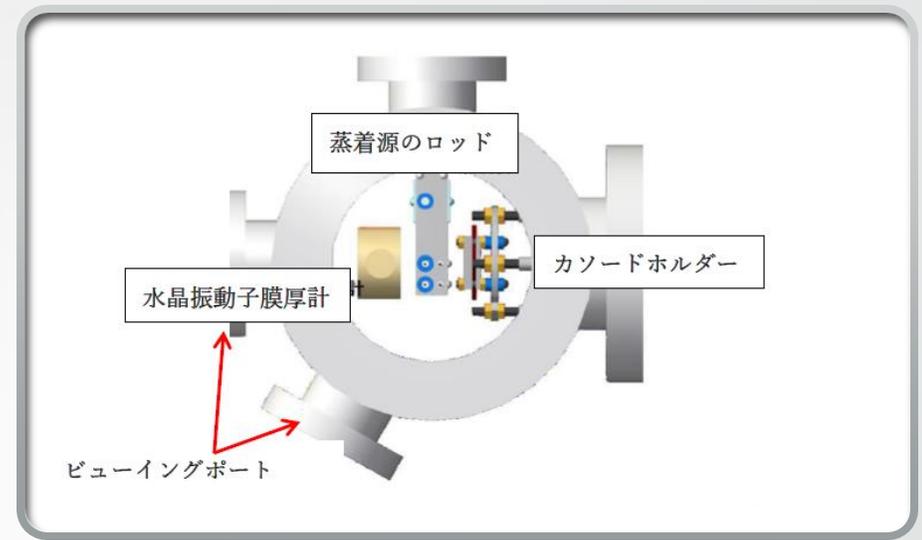
従来のCsO薄膜に比べたら、CsKX薄膜は桁違いの耐久性が現れる。

偏極ビーム生成

- GaAs格子から偏極をビームを生成するため、円偏光レーザーを使用。
 - 円偏光の向けよる、スピン偏極を決められる。

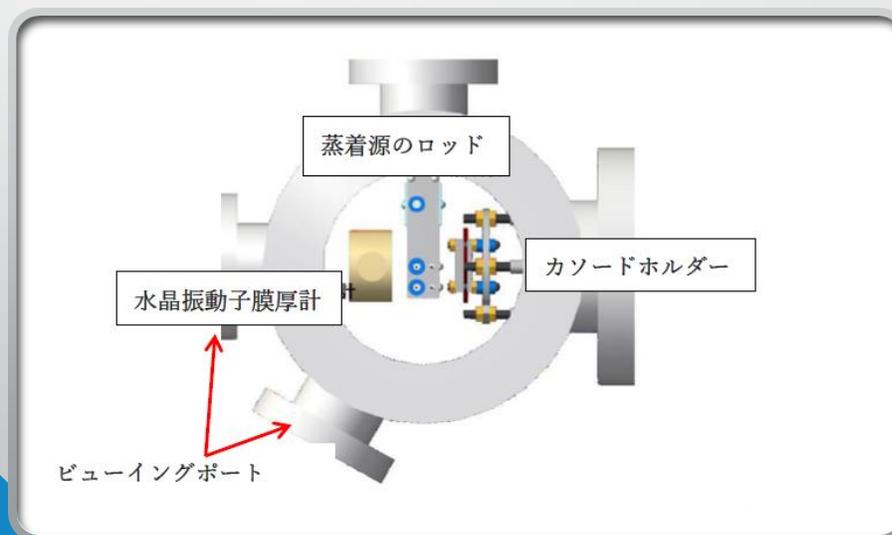
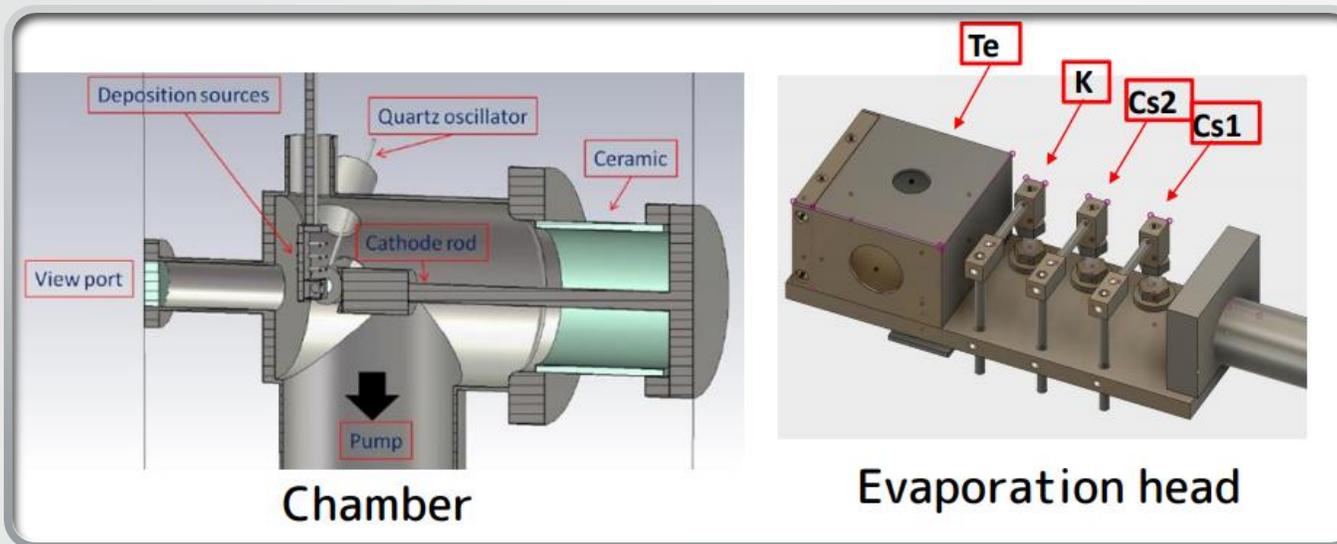


実験方法

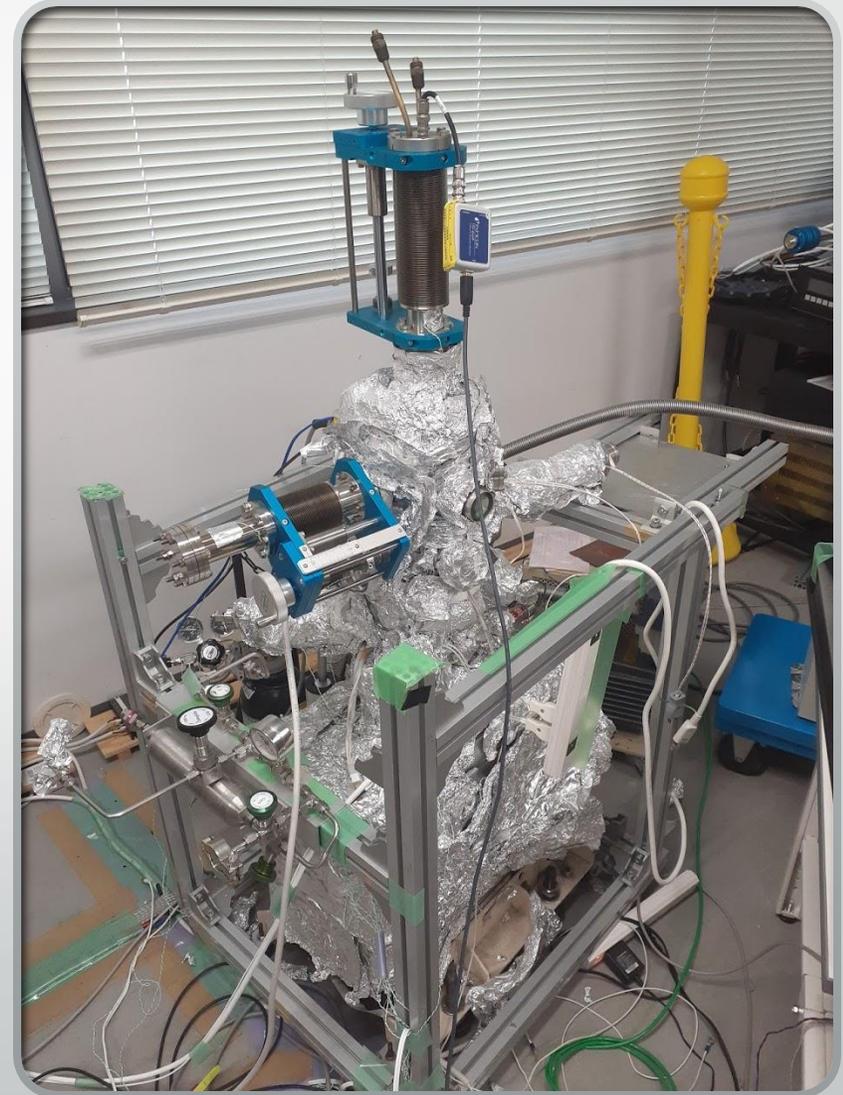


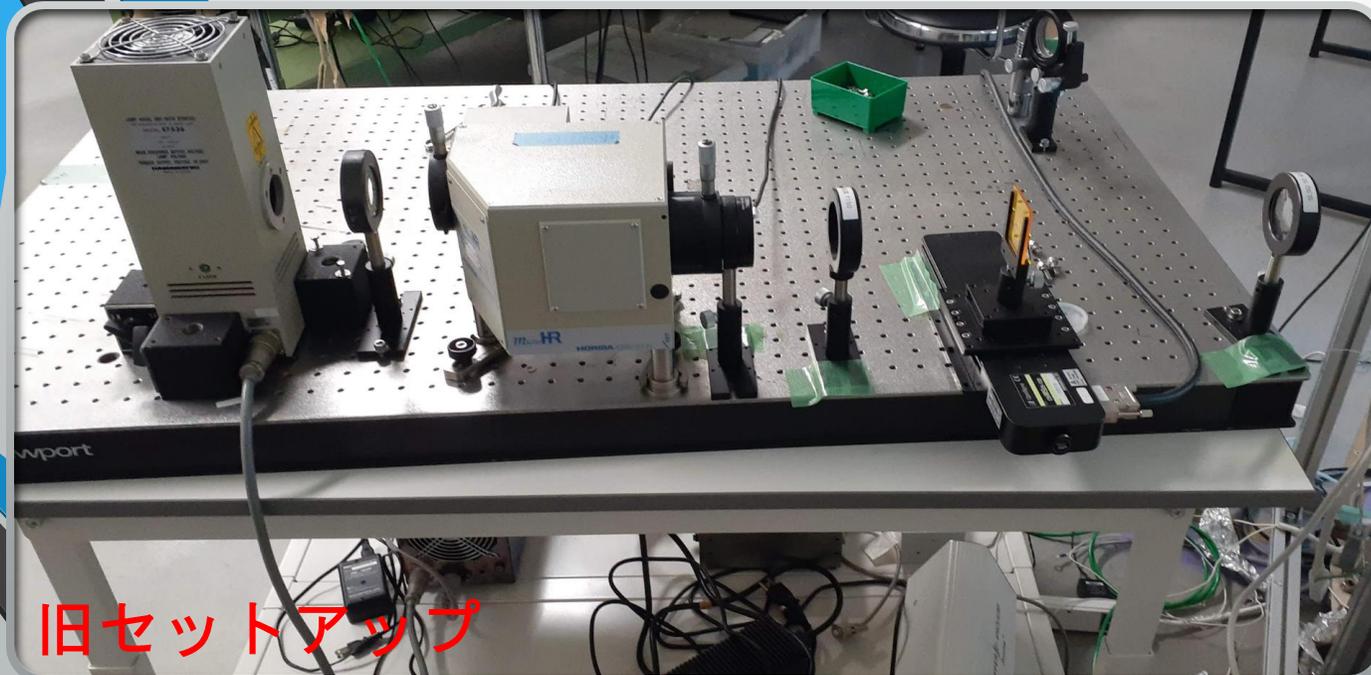
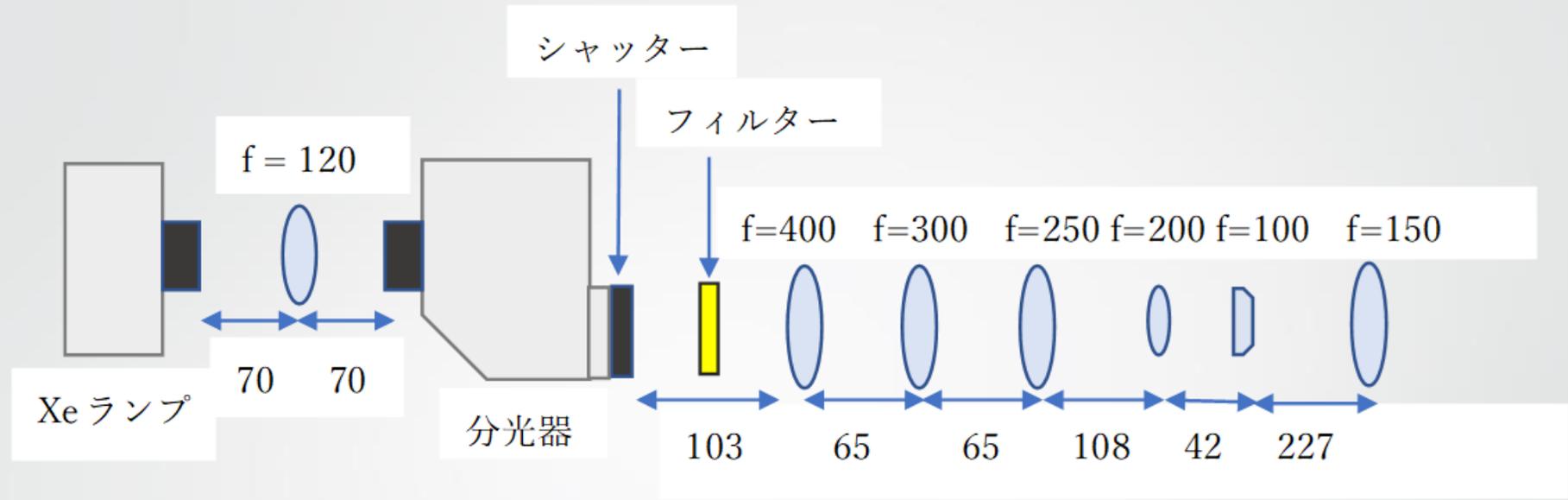
- 真空容器に表面酸化膜を除去したカソード基質（P-GaAs, Zn doped）、Sb・Cs・K素材を挿入。
 - 本実験の真空度は $O(10^{-8}\text{Pa})$ ，イオンポンプもNEG排気付き
- 順番に薄膜素材を蒸着して、Infinicon結晶薄膜コントローラーで厚さ測定。
- Xeランプでカソードを照らしながら量子効率を測定。

実験装置



実験装置





旧セットアップ

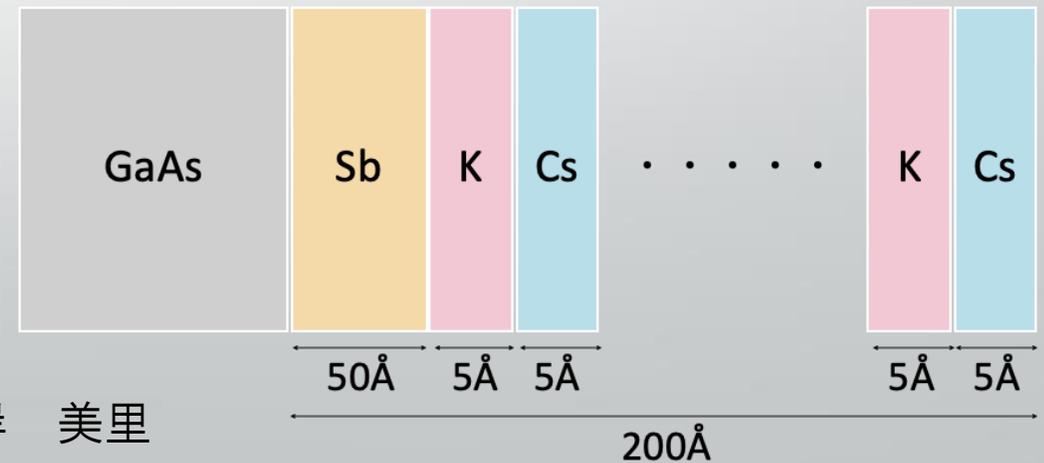
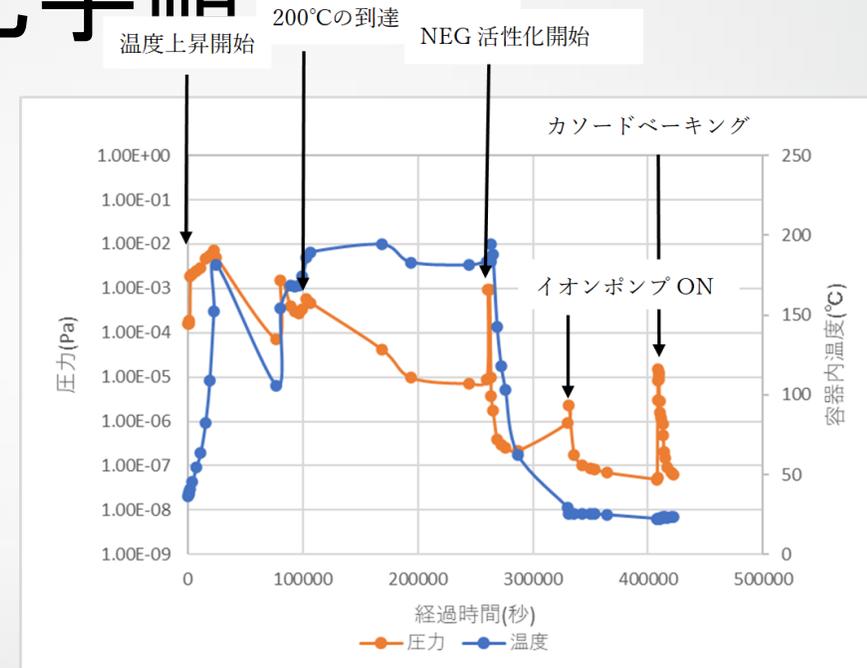
実験装置

Xeランプの光を分光器で指定する波長を選択、レンズでカソードへ誘導。

Labviewで制御とアウトプット測定。

NEA活性化手順

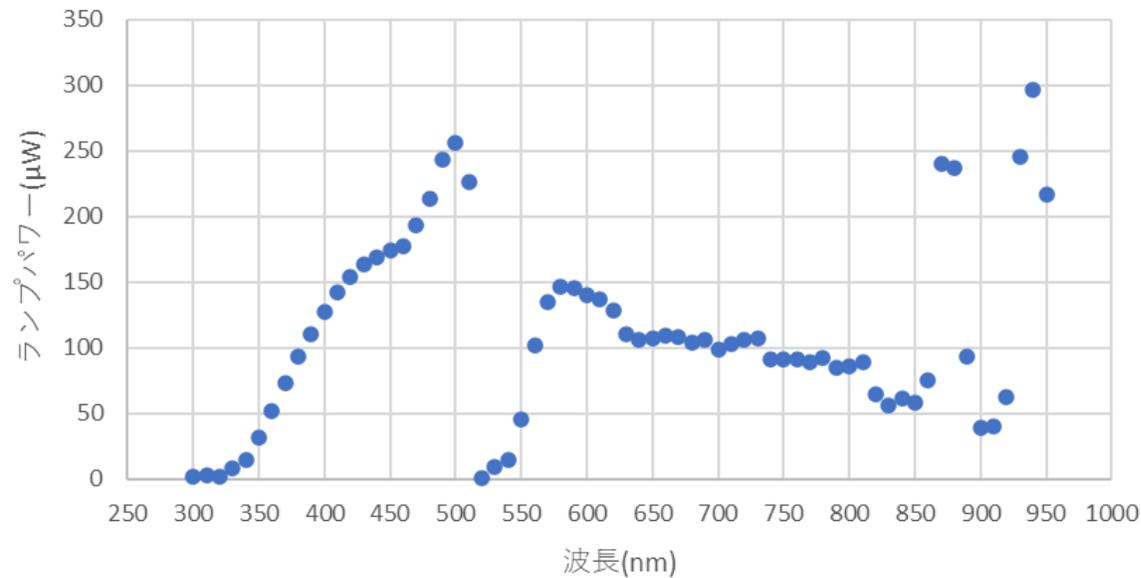
- GaAs基盤と薄膜素材を挿入して、真空容器のベーキング。
 - 気圧が十分下がったら、イオンポンプをON、NEGポンプも活性化する。
- カソードに薄膜を蒸着レシピ：
 - Sb 50Å
 - K、Cs 5Åずつ
 - 総合200Åまでミルフィーユ
- 作りながらQEを測定
- 現実では、Sb端子に電流をかけたため、レシピより厚くなった。



QE測定

$$QE[\%] = \frac{I_{PE}[A]}{\lambda[m] \times P[W]} \times \left(\frac{hc}{e}\right) \times 100$$

波長とランプパワー



分光器で波長を決めて300-950nm分布を測定。

10nmごとに電流を測り、上記方程式で量子効率を計算。

結果 壱

CsKSb 合計 450 \AA ($\text{Sb}250 \text{ \AA}, \text{Cs}100 \text{ \AA}, \text{K}100 \text{ \AA}$)

波長(nm)/エネルギー(eV)	量子効率(%)	誤差(%)
350/3.54	1.53×10^{-3}	1.31×10^{-3}
890/1.39	2.05×10^{-4}	2.03×10^{-4}

上のデータより、CsKSbの合計が 450 \AA のときにはどの波長領域での量子効率も誤差範囲内でゼロであり、NEA状態は生成されなかった。

前田陽紀

結果 式

CsKSb 合計850 Å

波長(nm)/エネルギー(eV)	量子効率(%)	誤差(%)
350/3.54	1.83×10^{-2}	1.42×10^{-3}
890/1.39	-1.40×10^{-4}	1.83×10^{-4}

上のデータよりCsKSbの合計が850 Åの時には350nmで有意な量子効率を得られた。これはCsKSb半導体膜が形成していることを示す。

前田陽紀

結果 参

CsKSb 合計1250 Å

波長(nm)/エネルギー(eV)	量子効率(%)	誤差(%)
350/3.54	3.44×10^{-2}	1.38×10^{-3}
890/1.39	2.16×10^{-4}	2.06×10^{-4}

合計が850 Åの時と同様に1250 Åの時にも350nmで有意な量子効率を得られた。

前田陽紀

結果解析

- 先程の結果による、CsKSb薄膜がGaAs基盤の上に来たけど、NEA活性化を監視出来なかった。
 - 薄膜自体が光に対して電流を出したもののGaAs価電子帯から遷移しているわけではないそうです。
 - 実験中の蒸着制御は足りず、Sb層が厚すぎた。
 - Xeランプのパワーもカソードに辿る前に衰えるみたいのため、オプチカルシステムを改善すべき。

まとめ

- 将来の加速器は偏極ビームを使用する予定あるから、偏極（陽）電子源が必要。
- GaAsカソードの上に薄膜を蒸着するテクニックは数十年代知られるが耐久性・寿命が足りない。
- CsKSb薄膜を蒸着する実験を試行しました。
 - 従来のCsOより耐久性が高い且つ偏極率・量子効率も高い。
- 実験を行えた上、薄膜をかけるのを出来たがNEAを監視しなかった。
 - 光・分光器のオプチカルシステムは改善が必要
 - 蒸着源制御が不十分で最初の層が厚すぎ