

Cs-K-Te薄膜による GaAs フォトカソードの NEA活性化研究

広島大学大学院
先端物質科学研究科・加速器物理研究室
正木一成, 栗木雅夫

研究の背景と目的

スピン偏極電子

- 素粒子原子核研究
- 表面磁気現象
- スピントロニクス



ILC

- 線形電子・陽電子コライダー
- BG抑制、統計の向上、新物理への感度向上

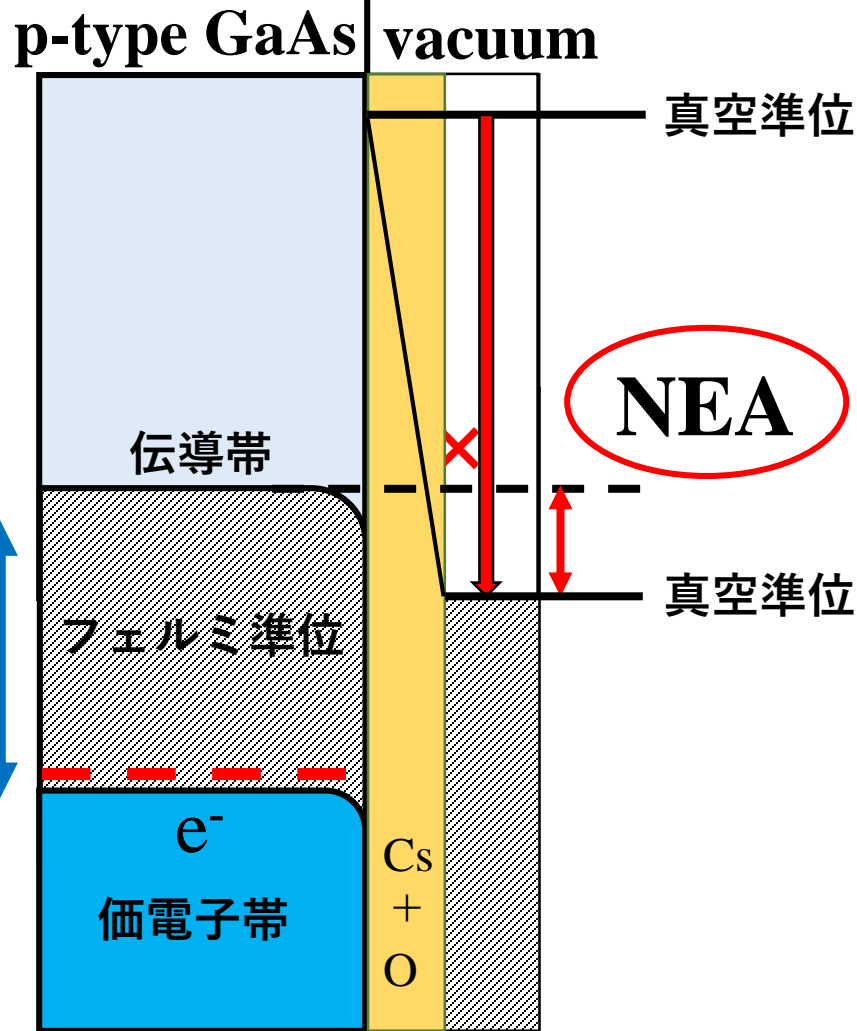
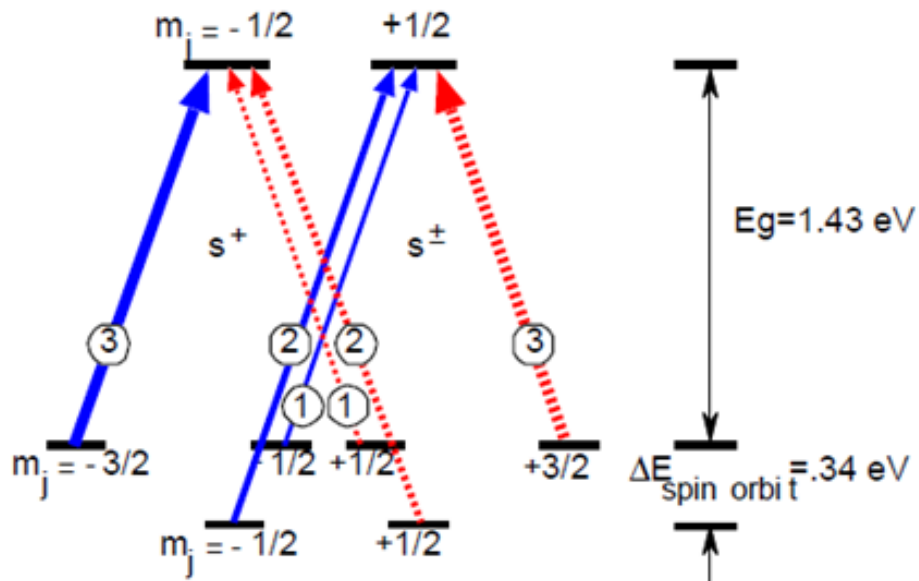
NEA-GaAsフォトカソード

- 高偏極電子の放出が可能な唯一のフォトカソード
- 極高真空(10^{-10} Pa)が必要。

研究目的

- NEA-GaAsフォトカソードの高耐久化。
- ILC電子入射器の簡素化、高信頼化に繋がる。

偏極電子の生成



高偏極電子の放出が可能

NEA表面が必要

不安定

高耐久化のメリット

NEA-GaAs(Cs-O)

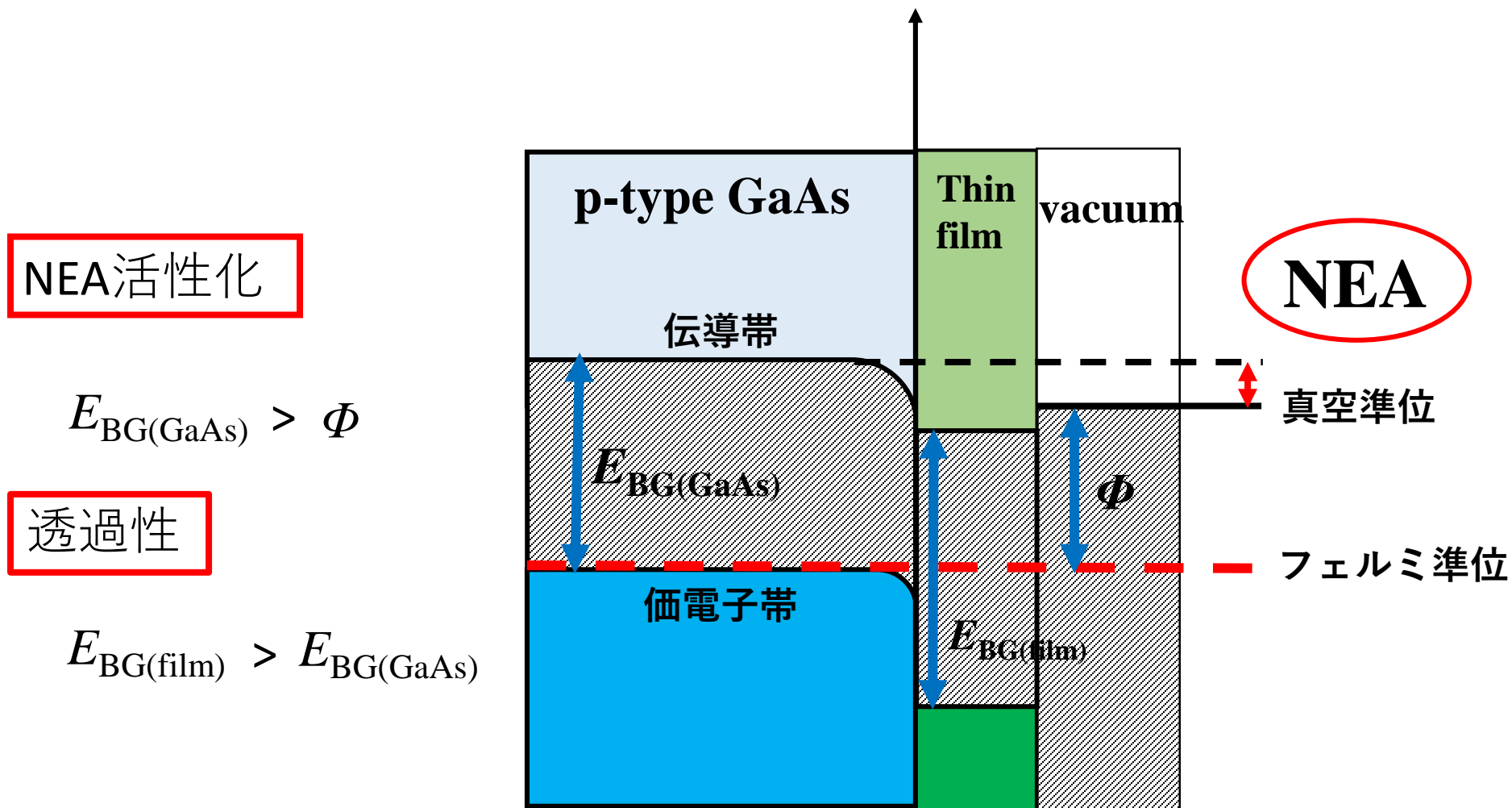
- 静電型電子銃でのみ使用可能
- 電場が低いため、長い時間をかけてビームを引き出す必要がある。
- バンチをRF加速が可能な長さに縮めるバンチャーが必要。
- 極高真空($1e-9Pa$ 以下) が必要

高耐久 NEA-GaAs

- **RF電子銃での運用が可能**
- **大電流引き出し、短バンチ長**
- **バンチャーが不要。**
- **極高真空が不要。**

ヘテロ接合による高耐久NEA

- 安定半導体薄膜を表面に生成し、高耐久NEA表面を形成



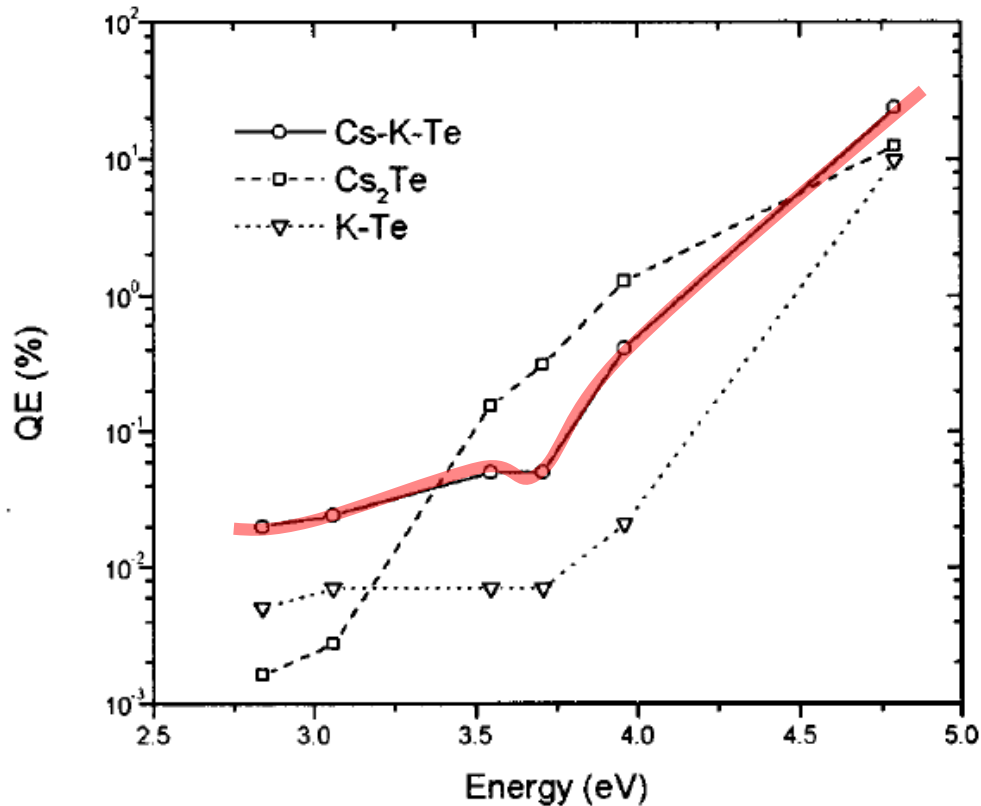
ヘテロ接合モデルによるNEA活性化

- 条件を満たす薄膜としてCsTeが存在。
- CsTe薄膜を用いたGaAsのNEA活性化試験が行われた。
 - NEA活性化を確認
 - 耐久性に課題

今回

CsKTe薄膜を用いることによって
高耐久NEA表面の作成が可能か調べた。

Cs-K-Te薄膜によるNEA活性化



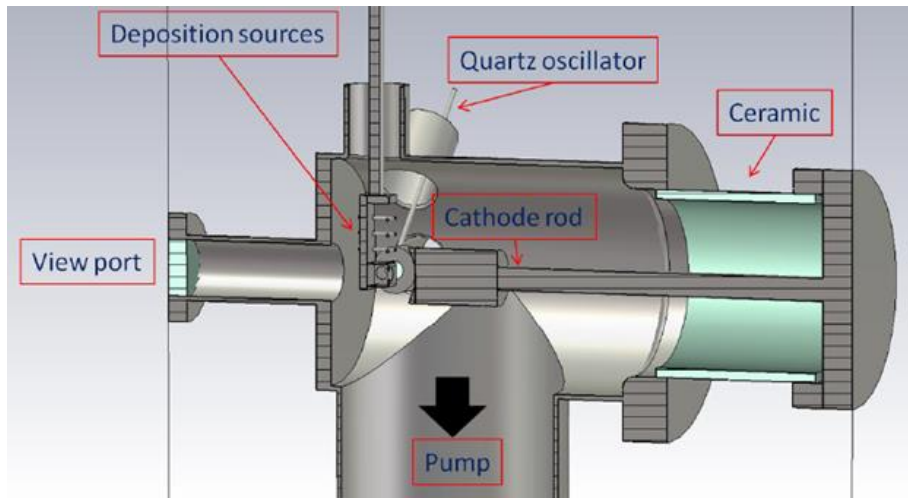
図：Cs-K-Te, Cs₂Te, K-Teの量子効率の入射光エネルギー依存性

(引用：Appl. Phys. Lett. **70**, 1491 (1997))

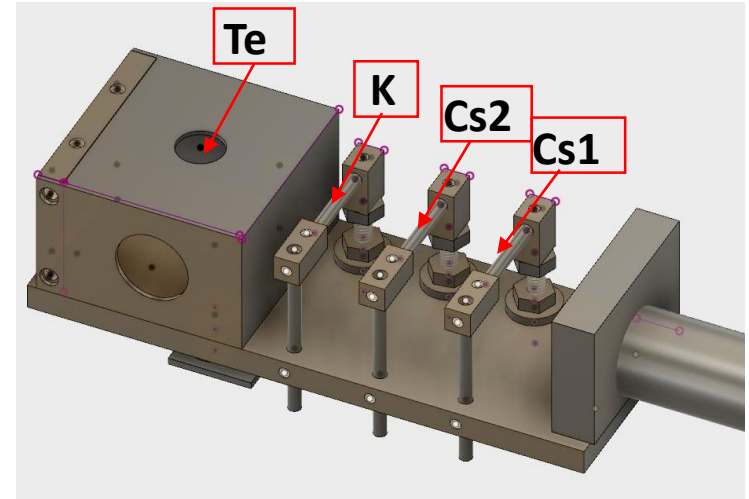
D. Bisero and B. M. van Oerle 他 “High efficiency photoemission from Cs-K-Te”

- 4.75 ~ 3.0 eVで高い量子効率
- アルカリ金属 + Te系フォトカソード

実験装置



図：実験装置

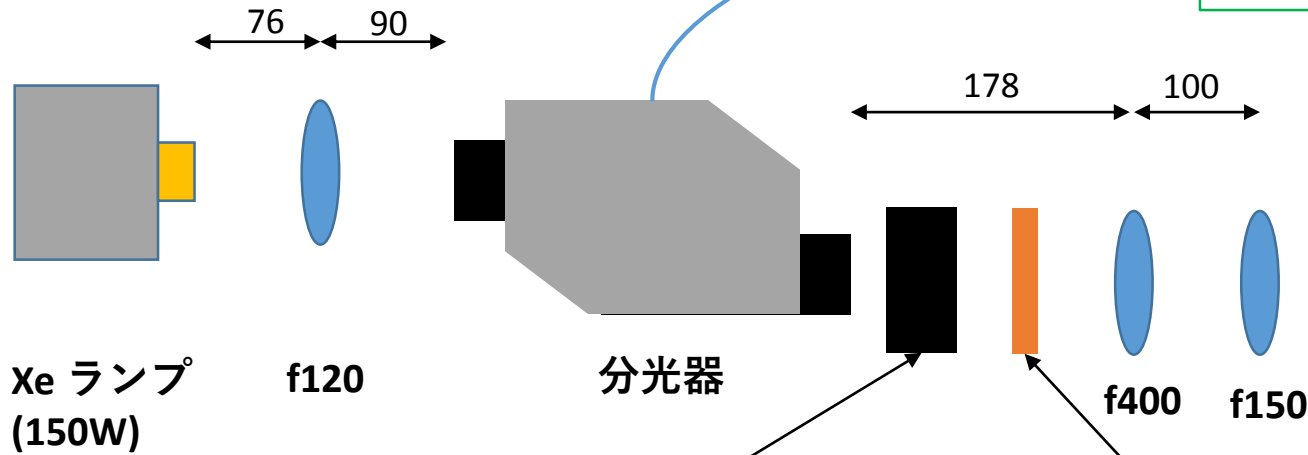


図：蒸着源

- 粗排気・ベーキング後、NEG, Ion pumpにより $1.5e-8\text{Pa}$ 以下の真空度に到達
- カソードロッド内蔵のヒーターによりGaAsの温度調節が可能
- 水晶振動子による膜厚計によりCs-K-Te薄膜の膜厚を成膜と同時に測定可能
- Cs dispenser $\times 2$, K dispenser $\times 1$, WヒーターによりTe蒸散

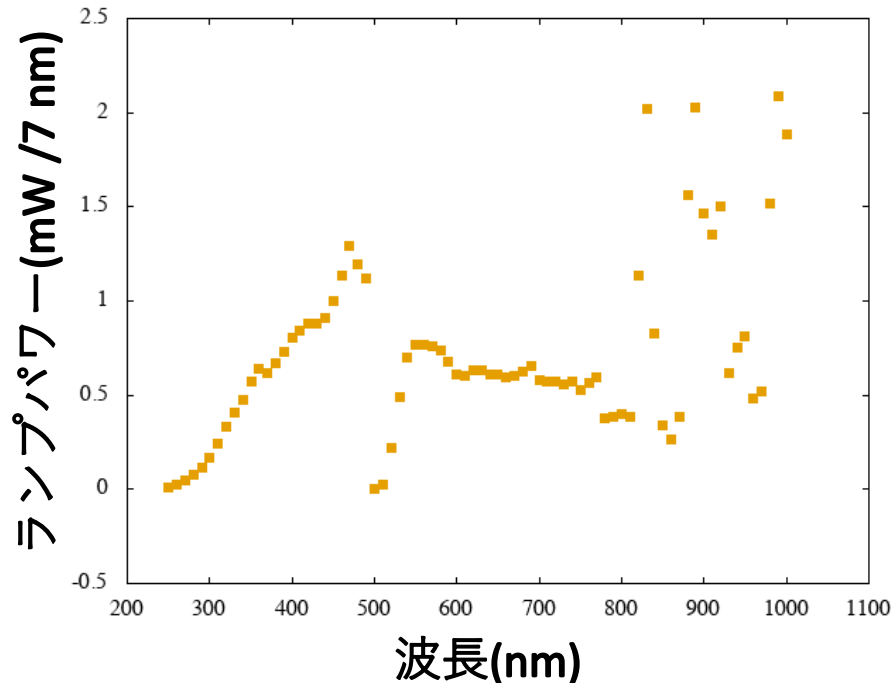
光学系

回折格子 900 gr/nm
入射スリット 2.0 mm
出射スリット 1.0 mm
線幅 7 nm



シャッター シャープカットフィルター

スポット径 GaAs基板
10×4 mmの長方形 < 直径15 mmの円形



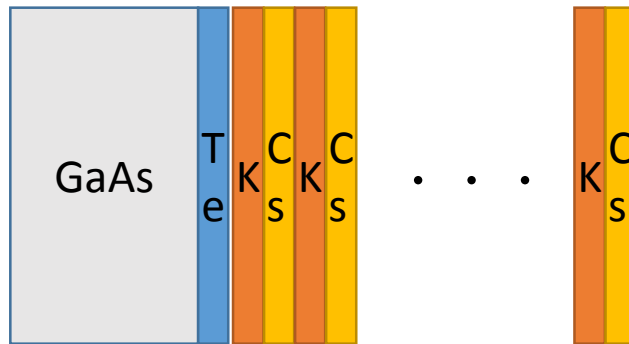
- 分光器をLabViewによって制御
波長領域：250 nm ~ 1000 nm
成膜時：50 nm刻み
成膜後：10 nm刻み
- 500 nm以上の波長ではシャープカットフィルターを挿入
- 1波長につき60回光電流値を測定

実験方法

- まずあらかじめ決めた厚みでTeを蒸着し、その後KとCsを同じ割合で繰り返し蒸着し、量子効率の波長依存性の変化を観測した。
- 波長250 nmの量子効率が最大化される膜厚 t_K および t_{Cs} を「最適膜厚」とした。

└───┬───> 薄膜が結晶化され安定

□ 成膜方法



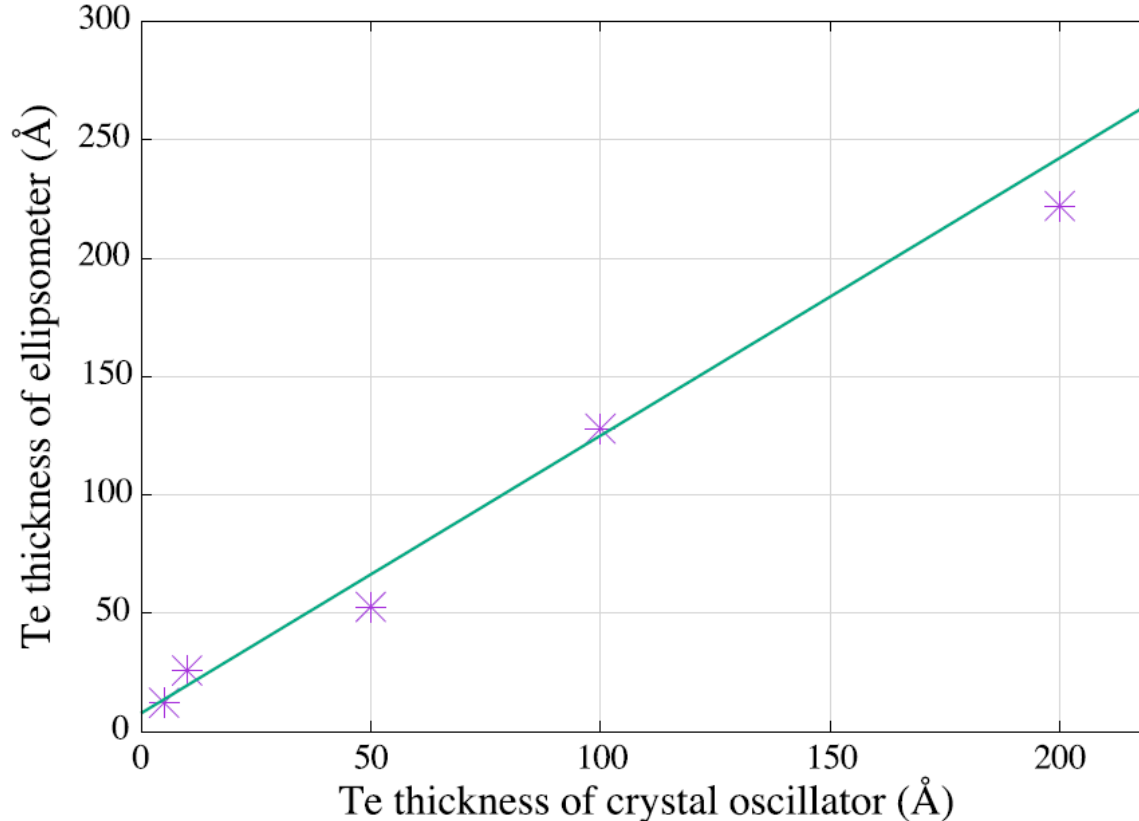
- $t_{Te} : 0, 5, 10, 25, 45\text{\AA}$
- $t_K : t_{Cs} = 1:1$

最適膜厚となるまで繰り返す

図：GaAs上にTe,K,Csを蒸着した模式図

Te膜厚の較正

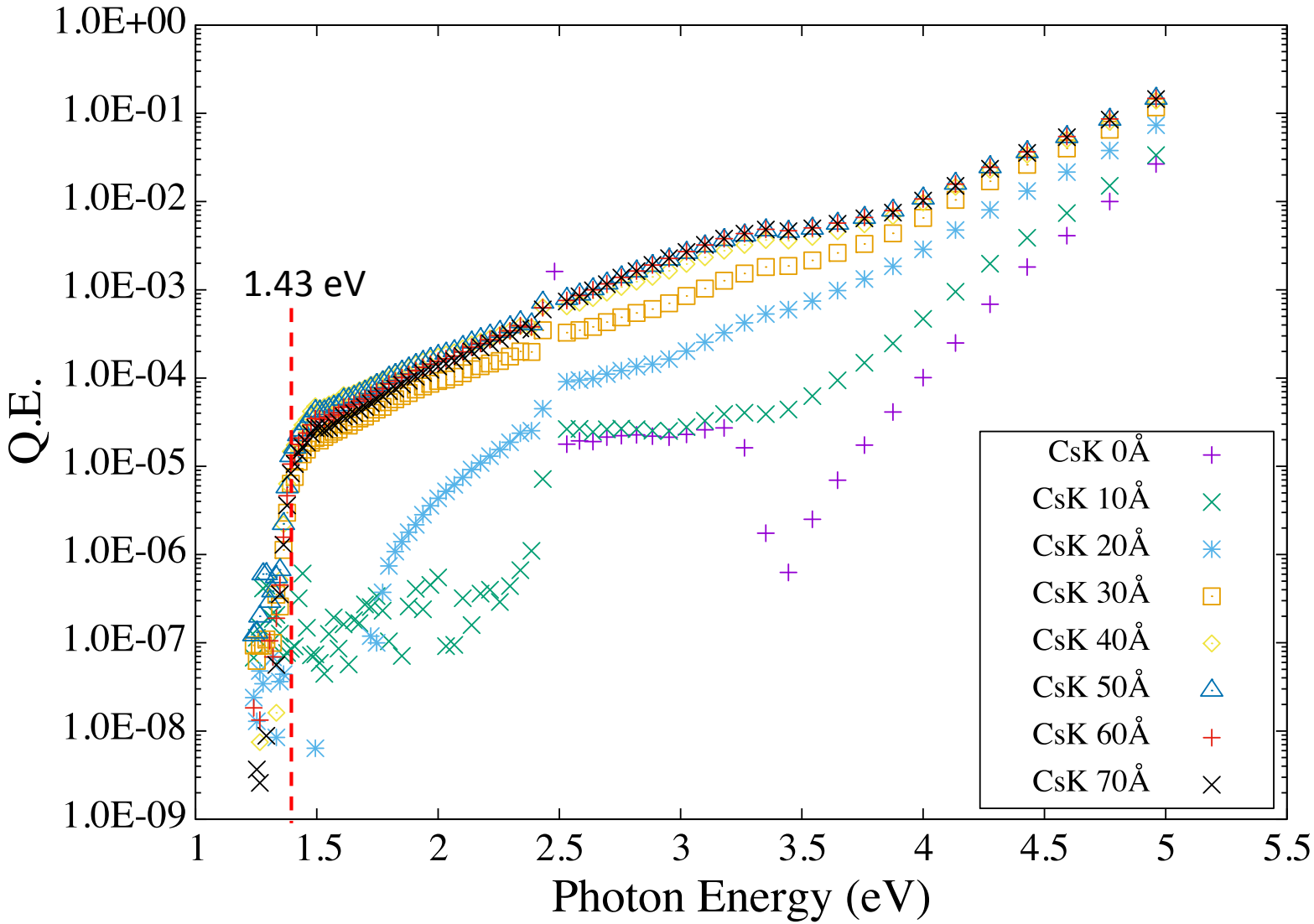
- エリプソメーターにより水晶振動子膜厚を較正
GaAsウエハ上にTeを蒸着
⇒エリプソメーターで膜厚 t_{Te} を測定



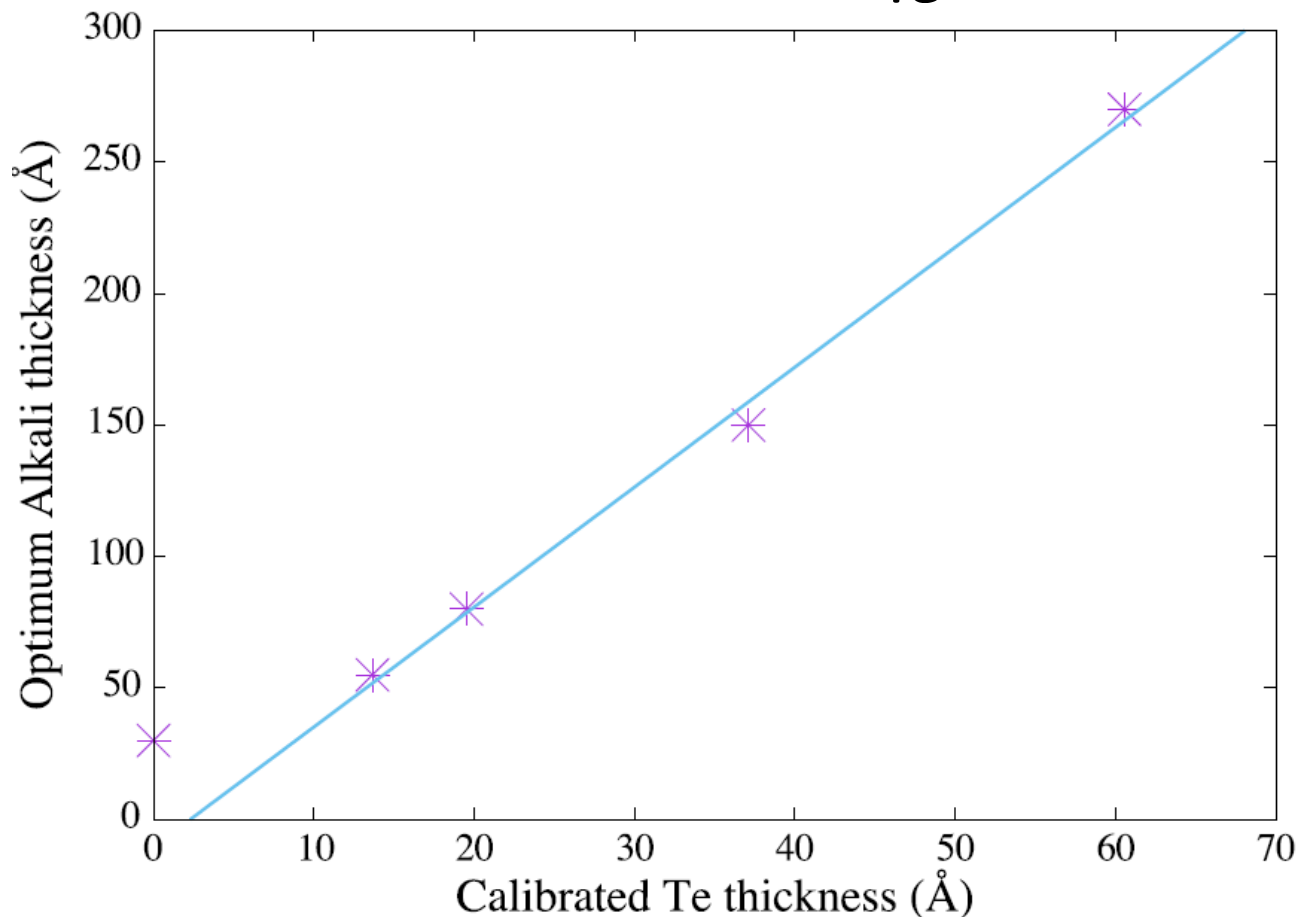
※以降Te膜厚は較正值を用いる

CsKTe – GaAsの量子効率スペクトル

※Te膜厚13.6Åに対してCs,Kを成膜



最適膜厚の膜厚 t_{Te} 依存性



- 膜厚 t_{CsK} と膜厚 t_{Te} が比例。
- Cs-K-Te薄膜が化合物を形成していると考えられる

CsKTe薄膜によるNEA活性化を示唆

まとめ

背景

- ・ NEA-GaAsは高スピン偏極電子を放出可能。
- ・ CsとOによるNEA表面の耐久性は低く、使用環境が大きく制限される。

研究

- ・ ヘテロ接合モデルによる高耐久なNEA表面の作成
- ・ Cs-K-Te薄膜によるNEA活性化試験

結果

- ・ GaAs上へCs-K-Te薄膜を成膜
- ・ GaAsのバンドギャップ 1.43 eV の光により有意な量子効率を観測

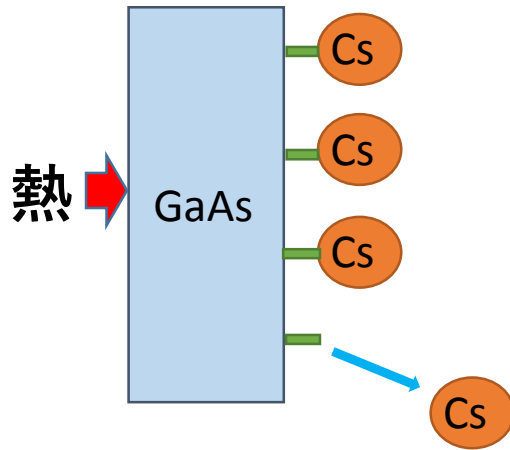
考察

- ・ Cs-K-Te薄膜によるNEA活性化を示唆

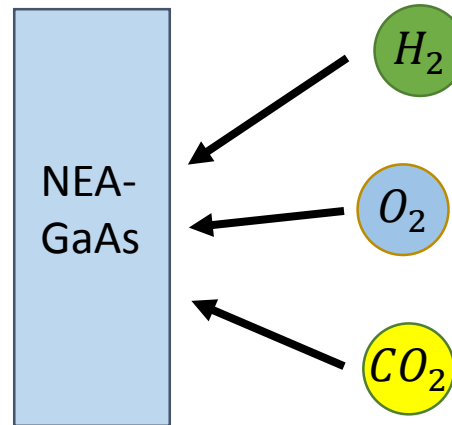
Back up

NEA表面(Cs-O)の劣化

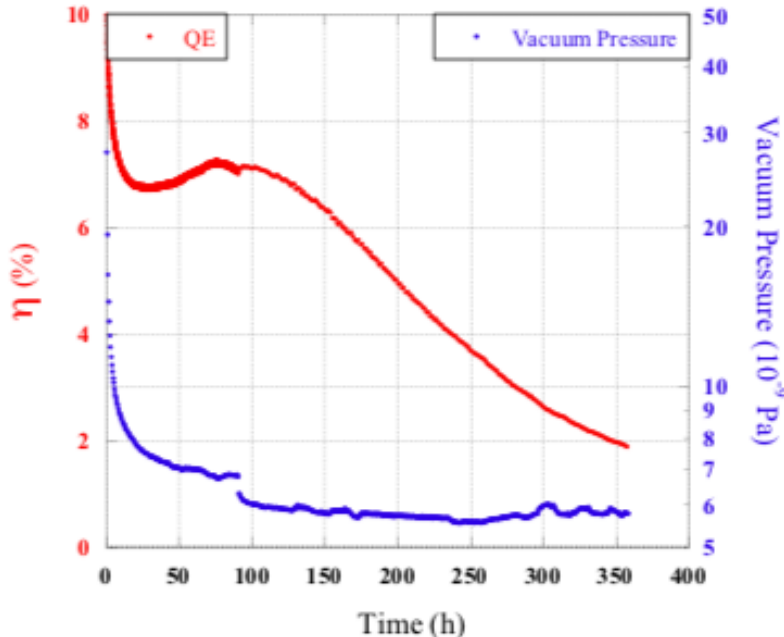
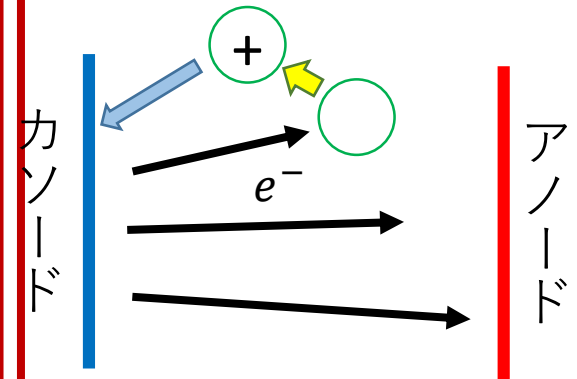
Csの熱脱離



ガス吸着



IBB

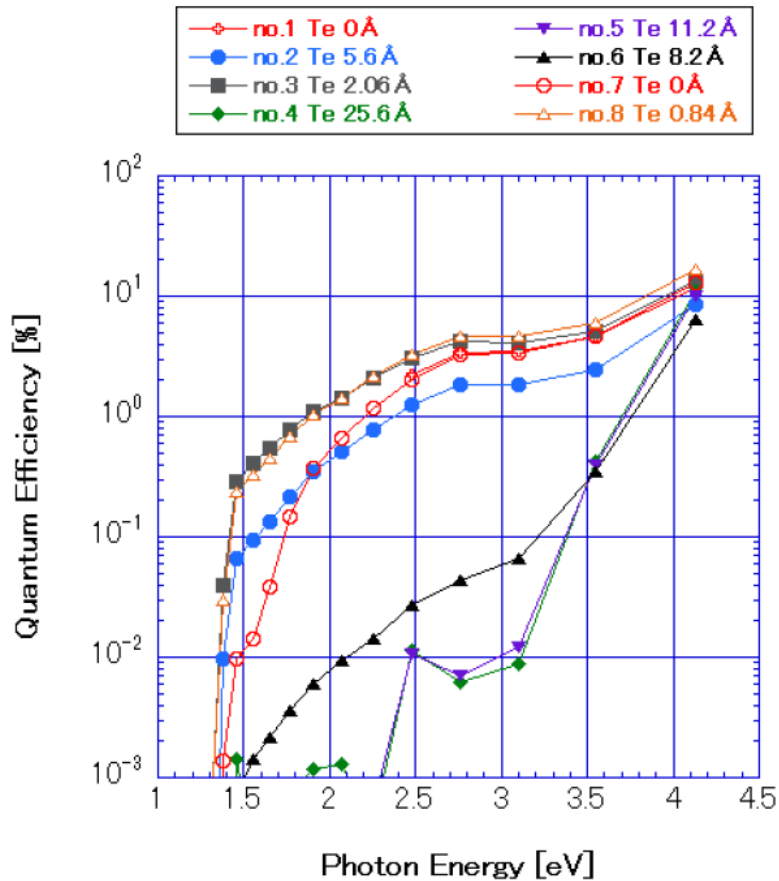


時間寿命：160 h (6.0 x 10⁻⁹ Pa)

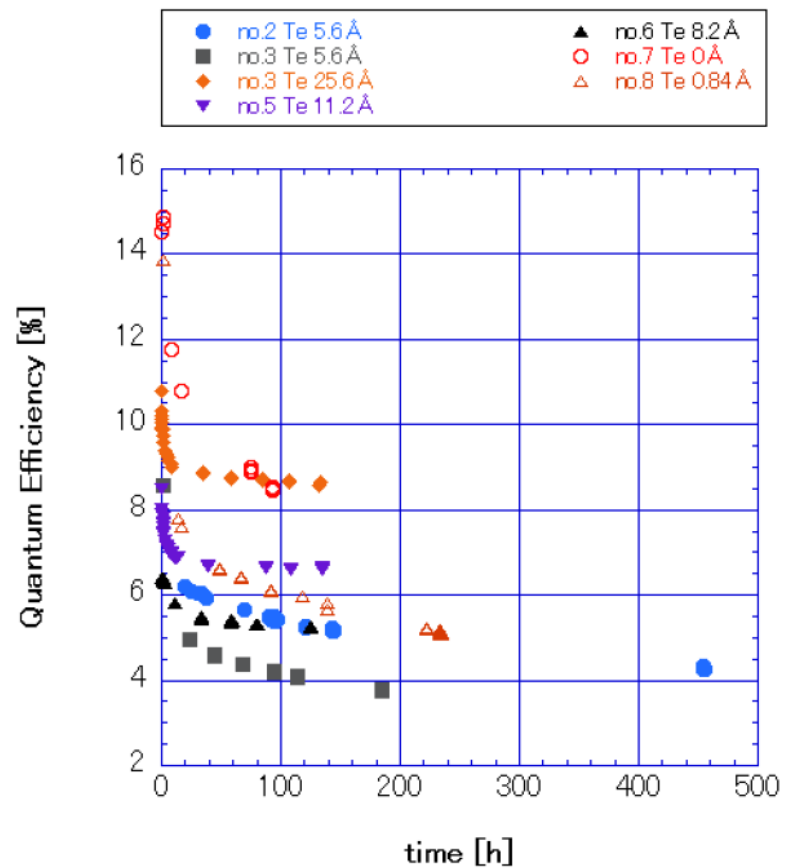
欠点：NEA表面の脆弱性

NEA-GaAs の QE の時間変化 at pressure~10⁻⁹ Pa 広島大学 (正中 智慧 “高輝度放射光源のためのGaAs光陰極寿命の温度依存性についての研究”2009年度修士論文)

CsTe薄膜によるNEA活性化



図：光子エネルギーに対する量子効率スペクトル
(引用：内田和秀 “GaAsフォトカソードのCs-Te薄膜によるNEA活性化の研究” (2015年度修士論文))

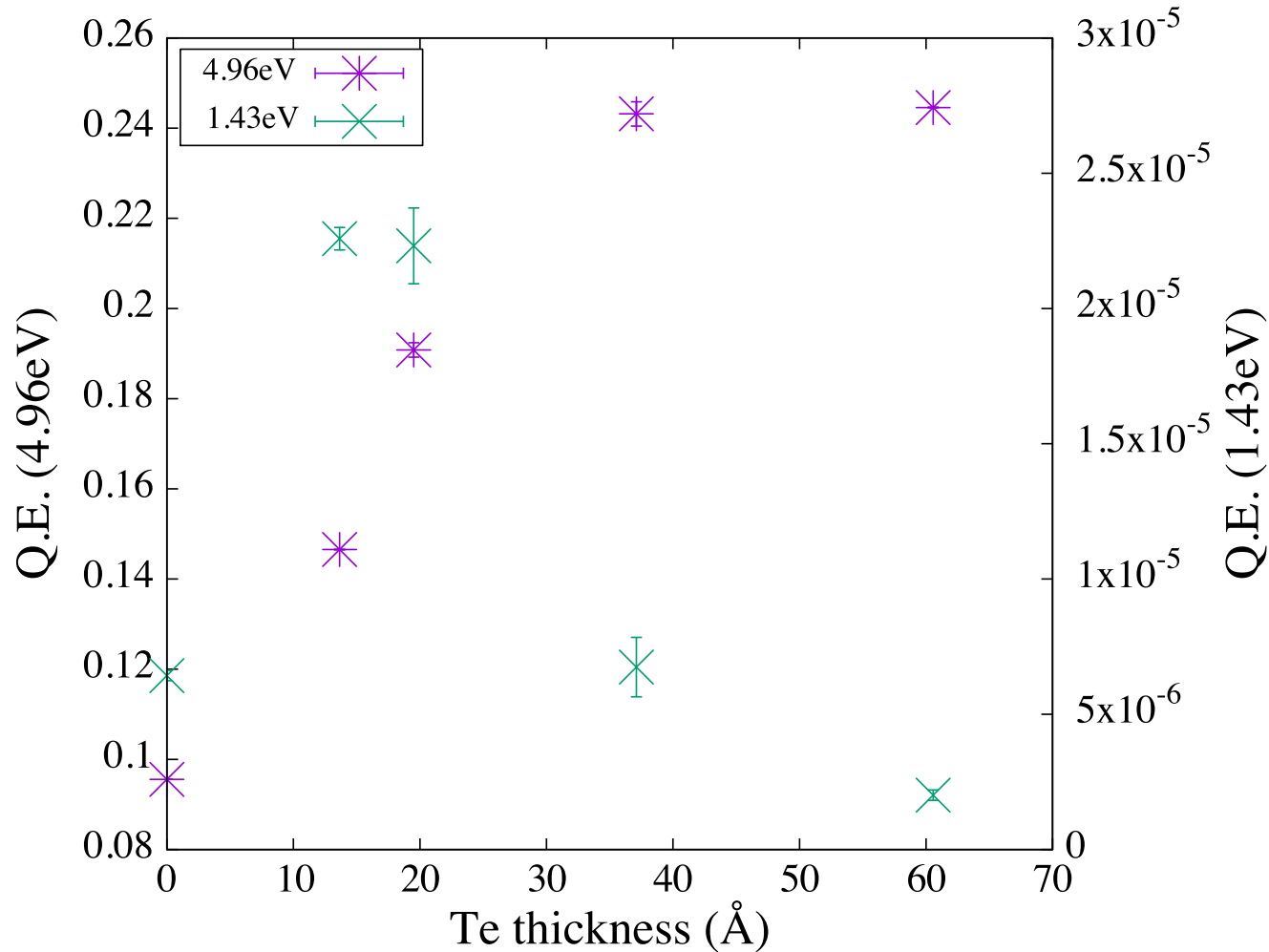


図：CsTe-GaAsの量子効率の時間変化
(引用：内田和秀 “GaAsフォトカソードのCs-Te薄膜によるNEA活性化の研究” (2015年度修士論文))

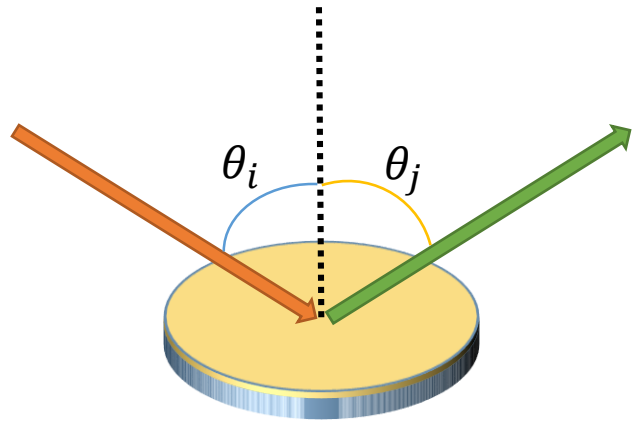
NEA活性化を確認

耐久性は不十分

4.96eV, 1.43eVにおける量子効率の膜厚依存性



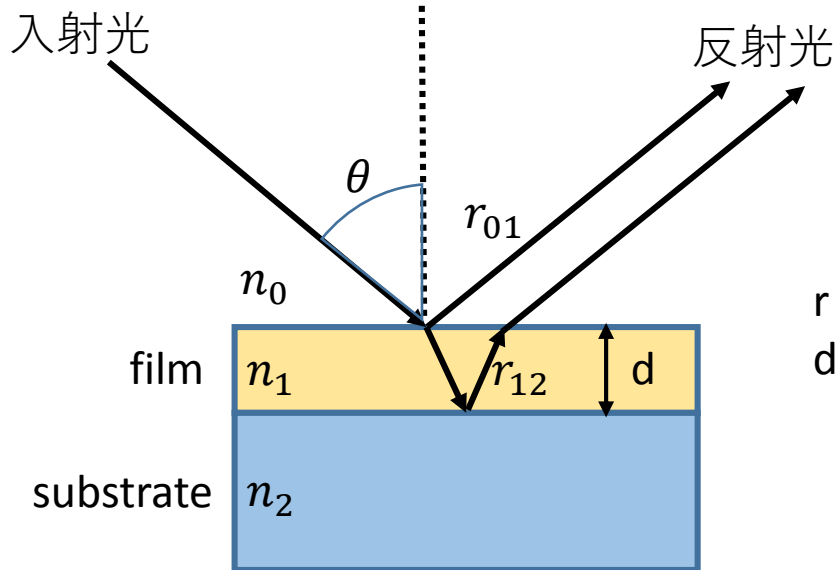
エリプソメータ



S偏光とP偏光の
 ・ 反射率
 ・ 位相差
 を測定

5波長で測定
 465 nm
 525 nm
 580 nm
 635 nm

$$\rho = \tan(\psi)e^{i\Delta}$$



r: 反射率
 d: 膜厚

$$\rho = \frac{r_{p01} + r_{p12}e^{-i2\beta}}{1 + r_{p01}r_{p12}e^{-i2\beta}} \cdot \frac{r_{s01} + r_{s12}e^{-i2\beta}}{1 + r_{s01}r_{s12}e^{-i2\beta}}$$

$$\beta = 2\pi \frac{d}{\lambda} n_1 \cos\theta_1$$