

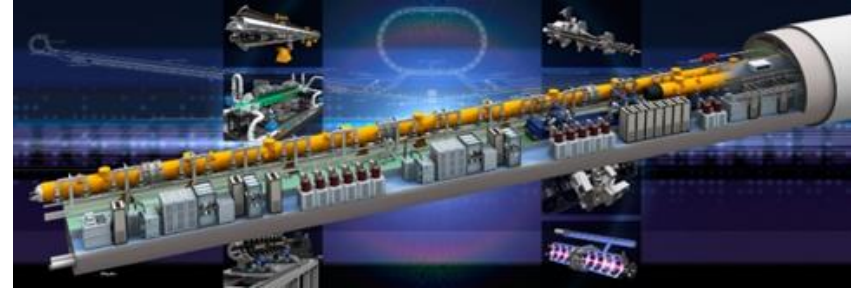
# Cs-K-Te薄膜による GaAsフォトカソードの NEA活性化研究

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

# 研究背景

## 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
- 高スピン偏極電子ビームにより高精度実験を実現

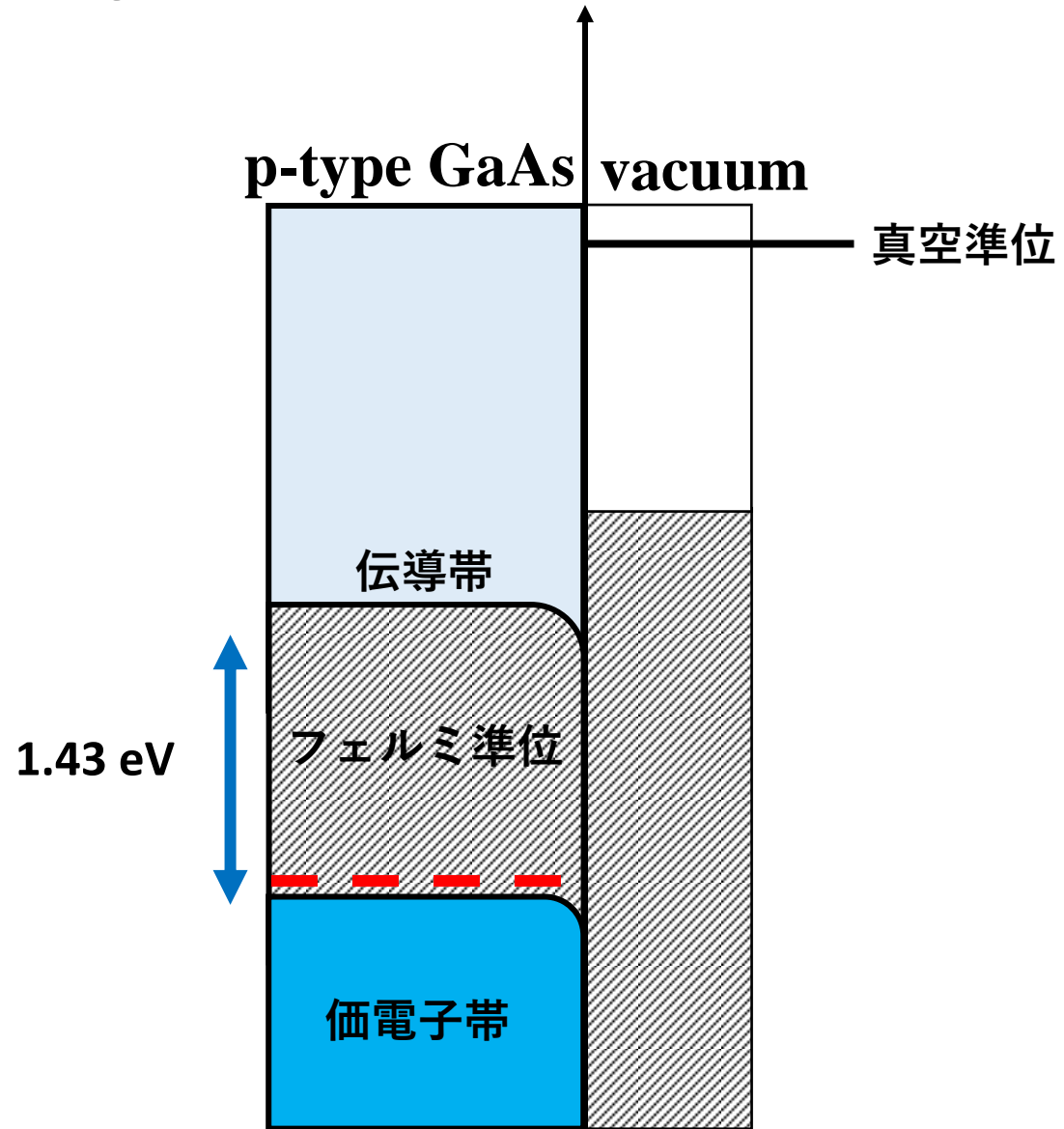
## NEA-GaAs フォトカソード

- 高偏極電子の放出が可能な唯一のフォトカソード
- 耐久性が低い

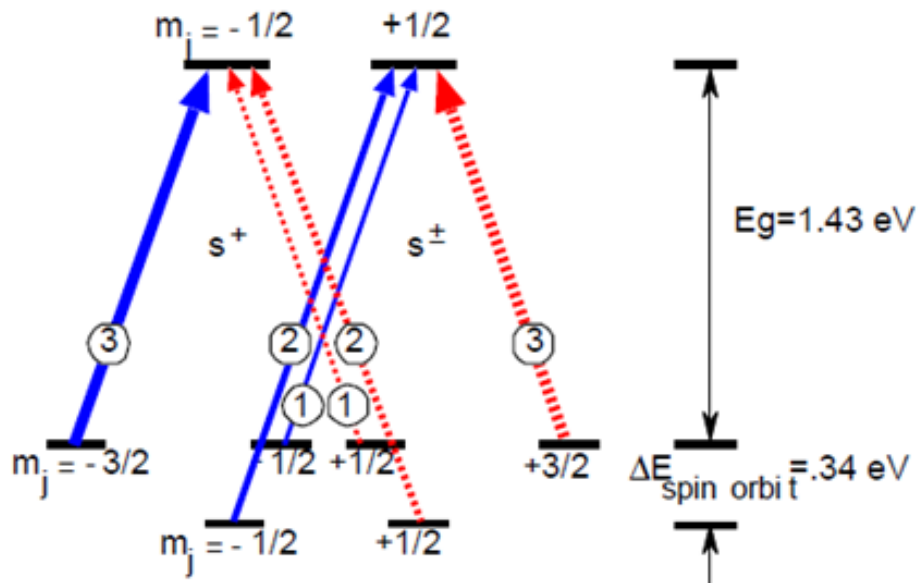


高耐久化を目指す

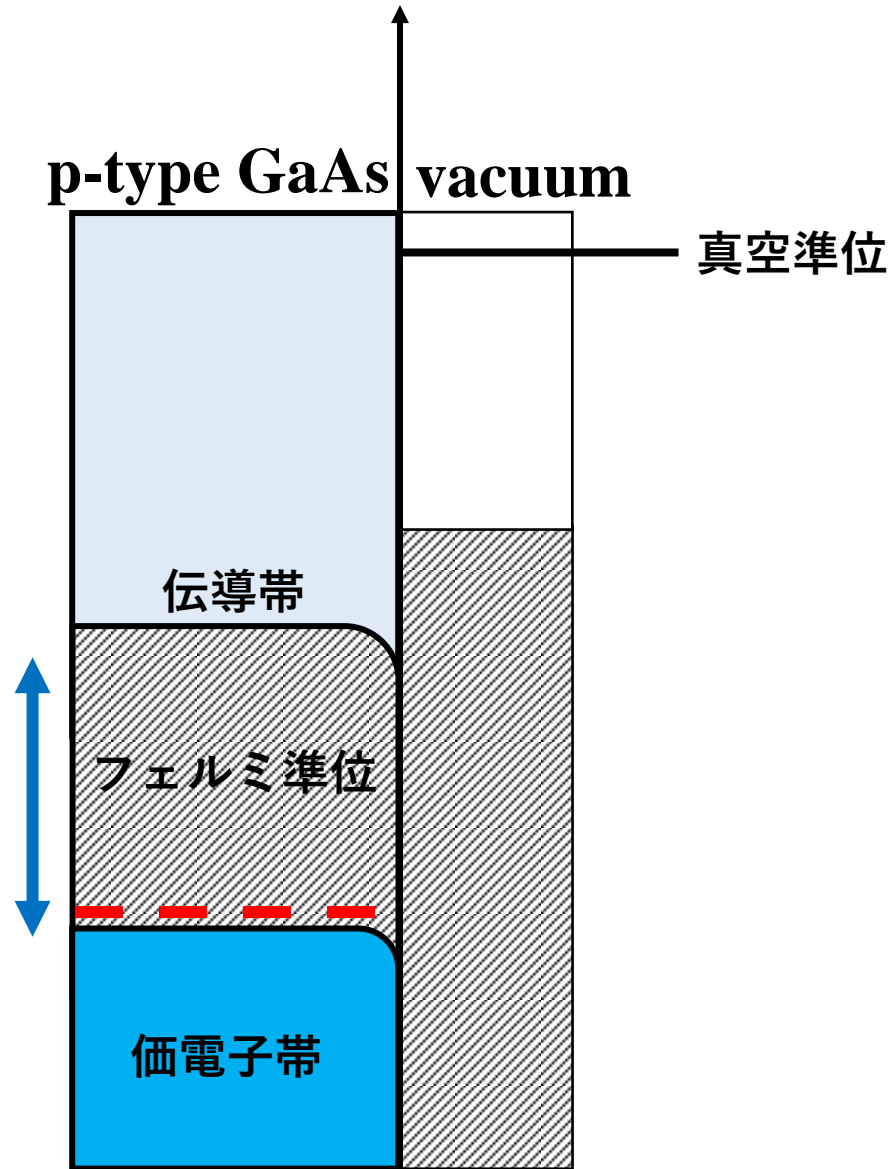
# NEA-GaAs(Cs-O) フォトカソード



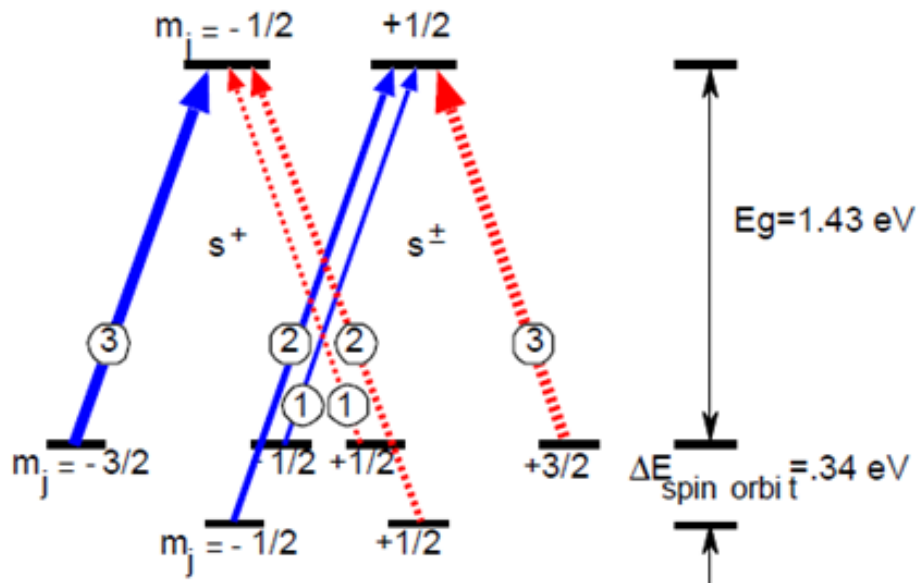
# NEA-GaAs(Cs-O) フォトカソード



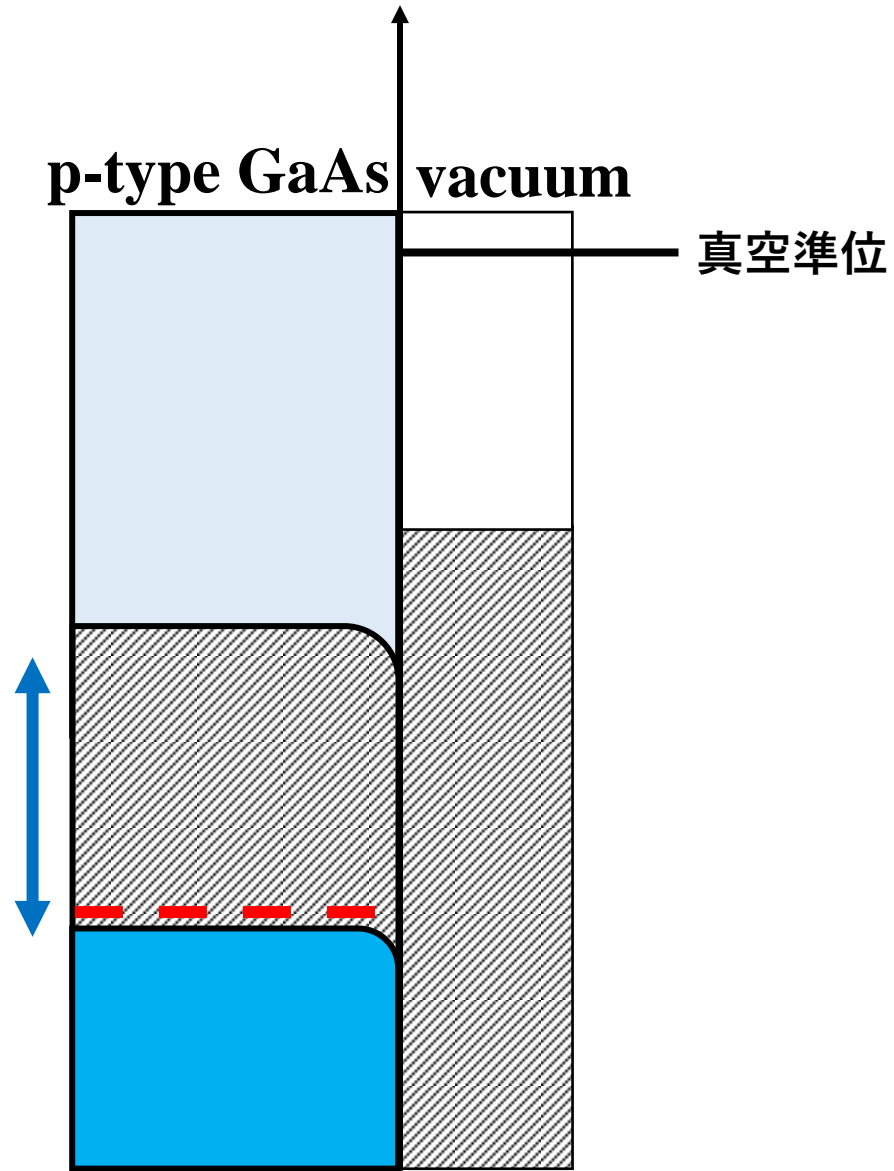
1.43 eV



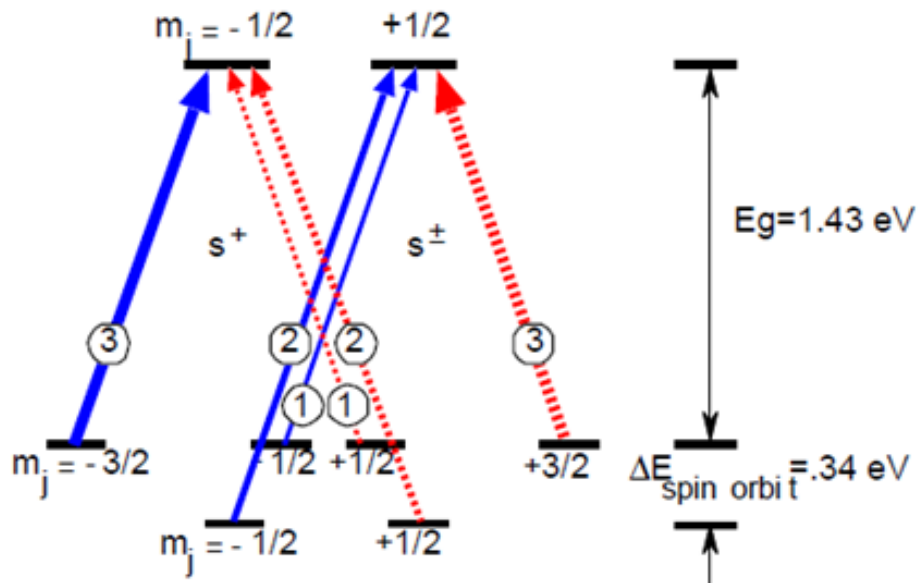
# NEA-GaAs(Cs-O) フォトカソード



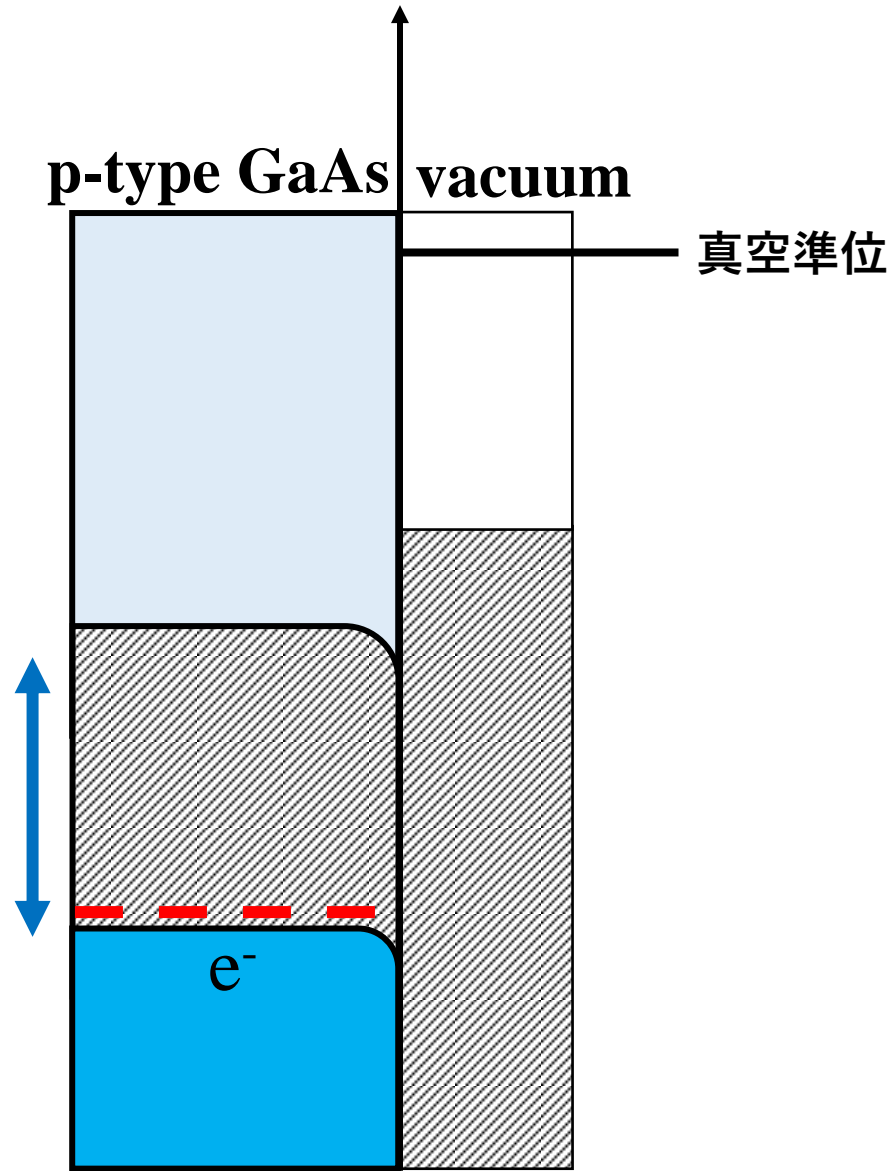
1.43 eV



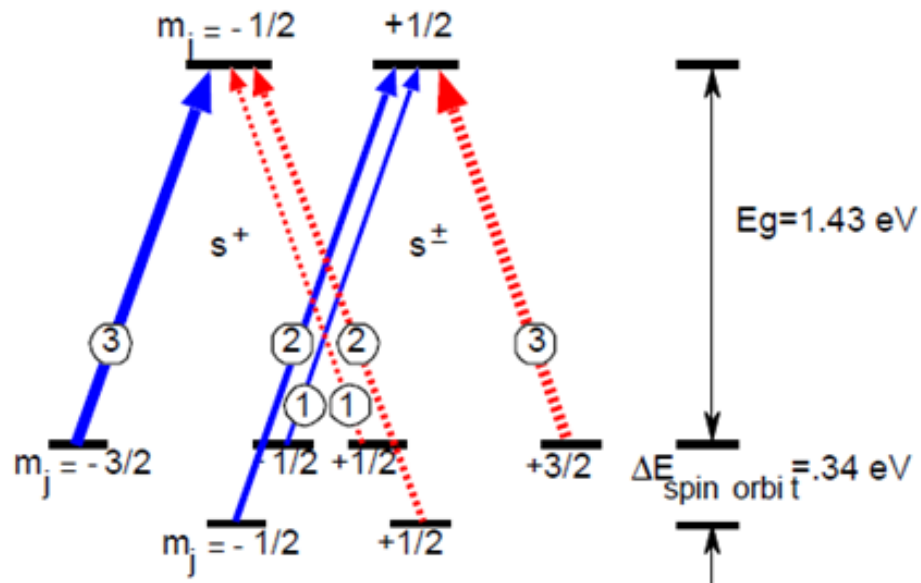
# NEA-GaAs(Cs-O) フォトカソード



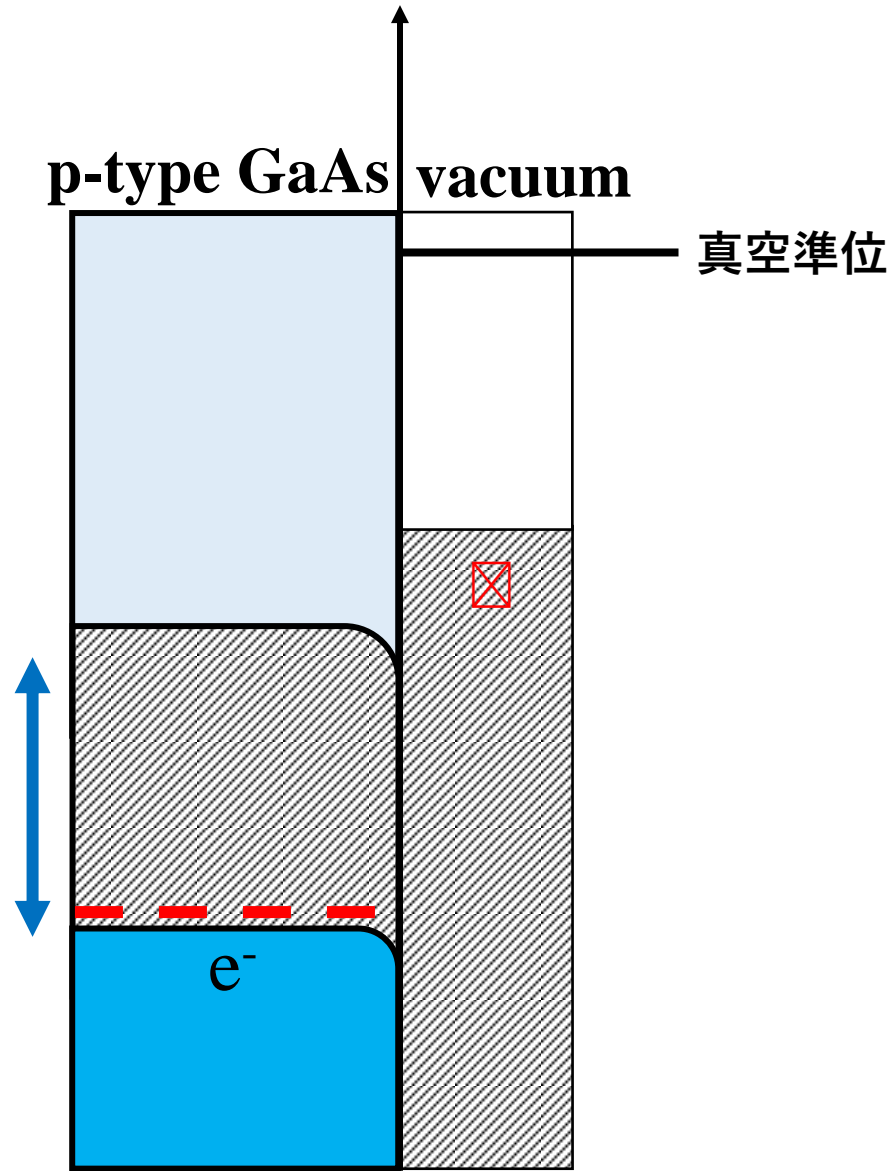
1.43 eV



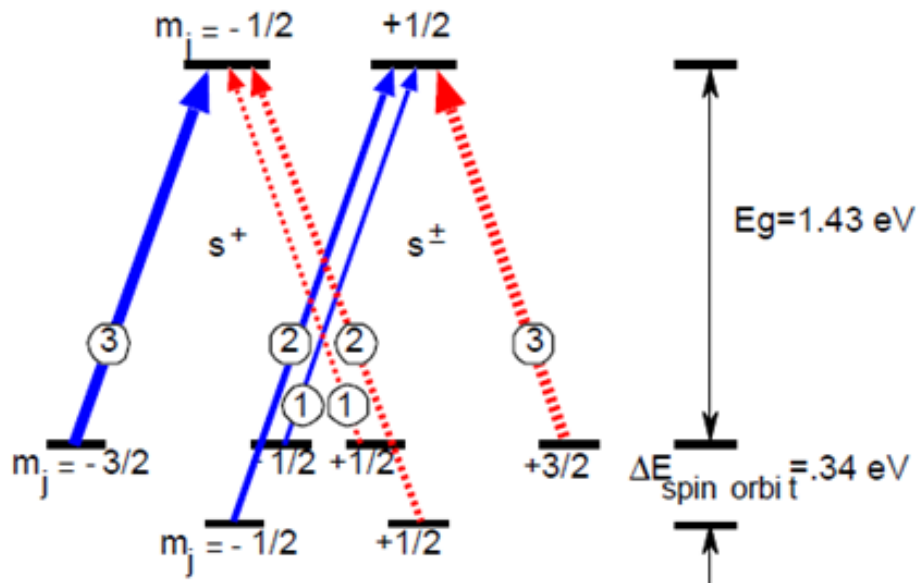
# NEA-GaAs(Cs-O) フォトカソード



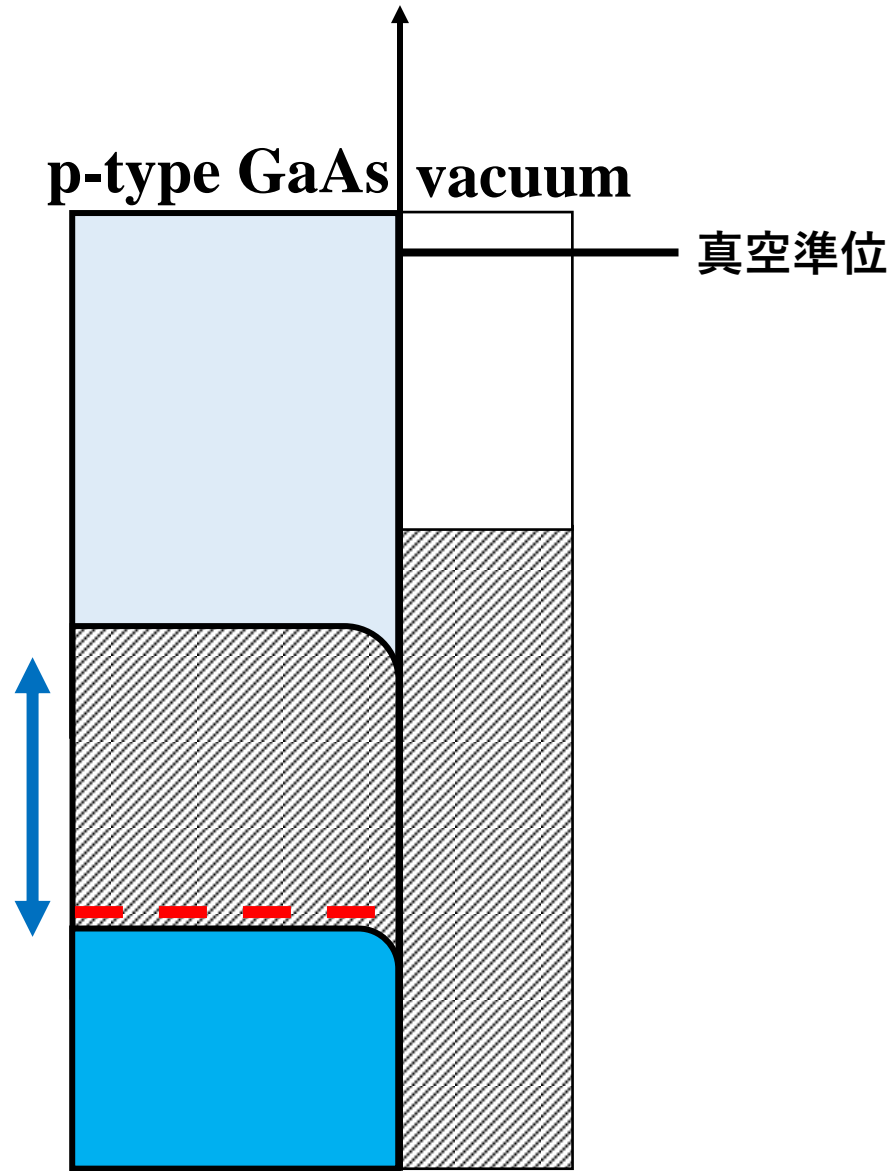
1.43 eV



# NEA-GaAs(Cs-O) フォトカソード

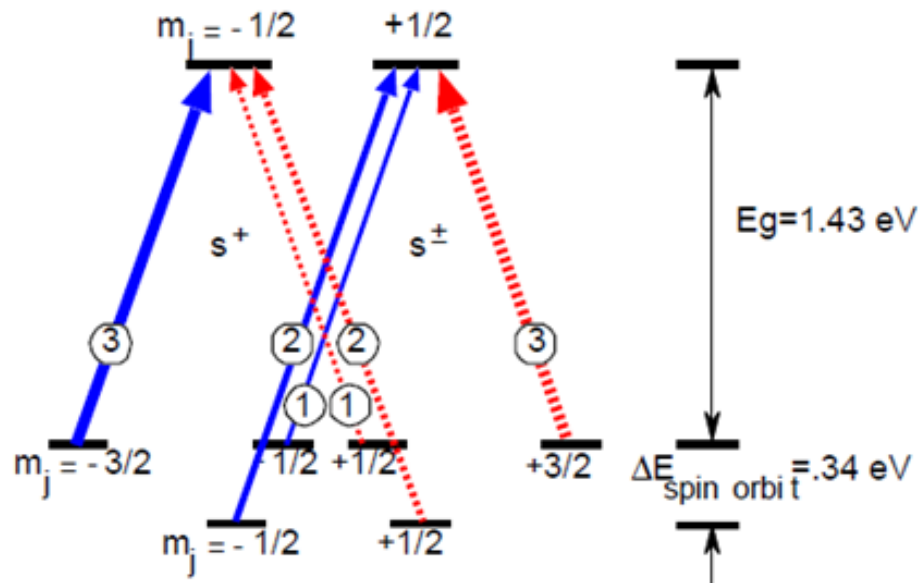


1.43 eV

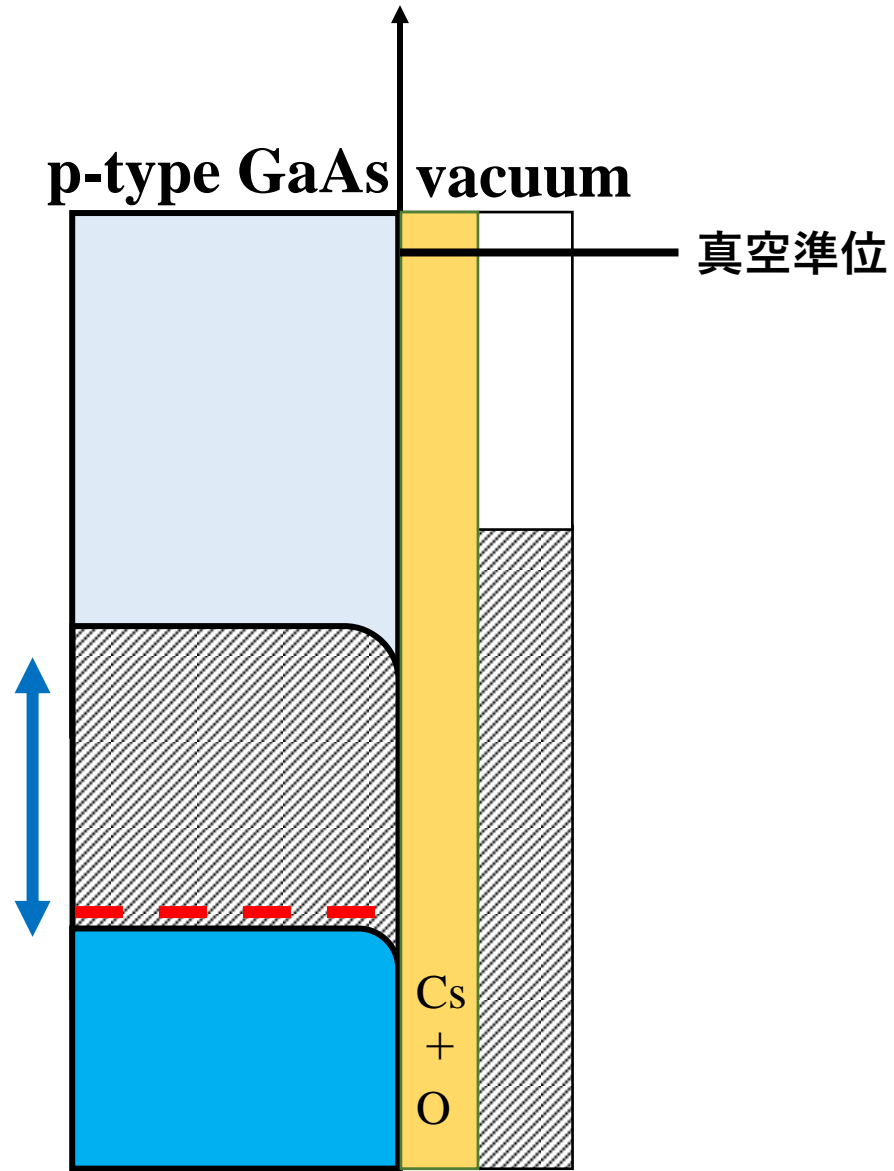




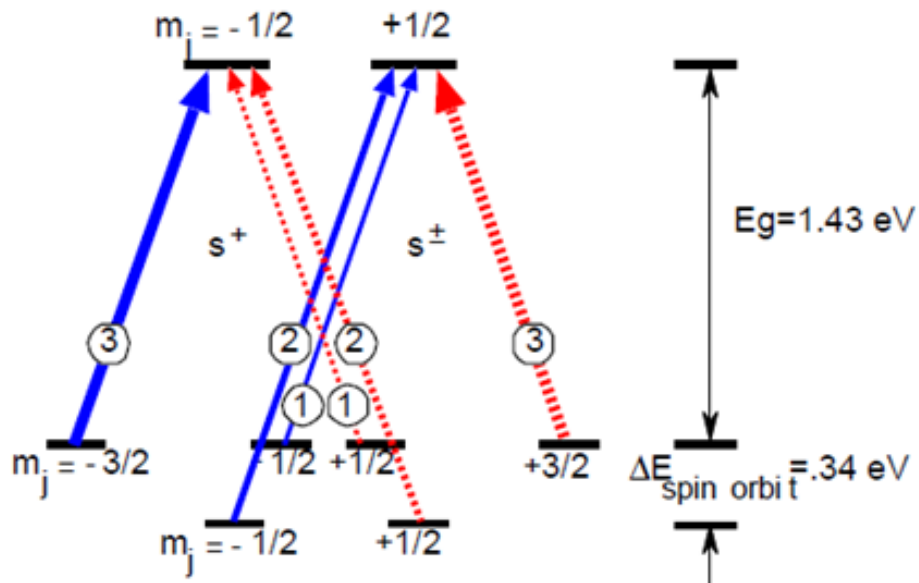
# NEA-GaAs(Cs-O) フォトカソード



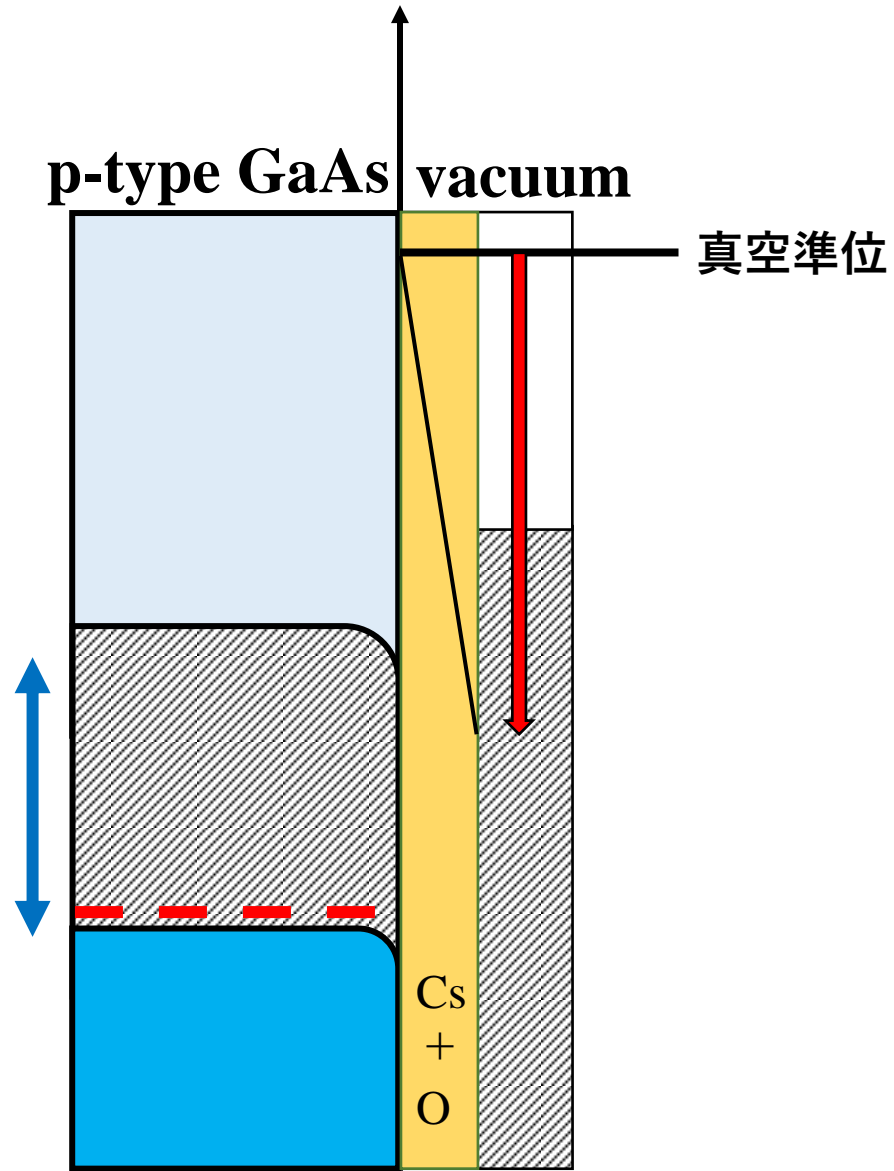
1.43 eV



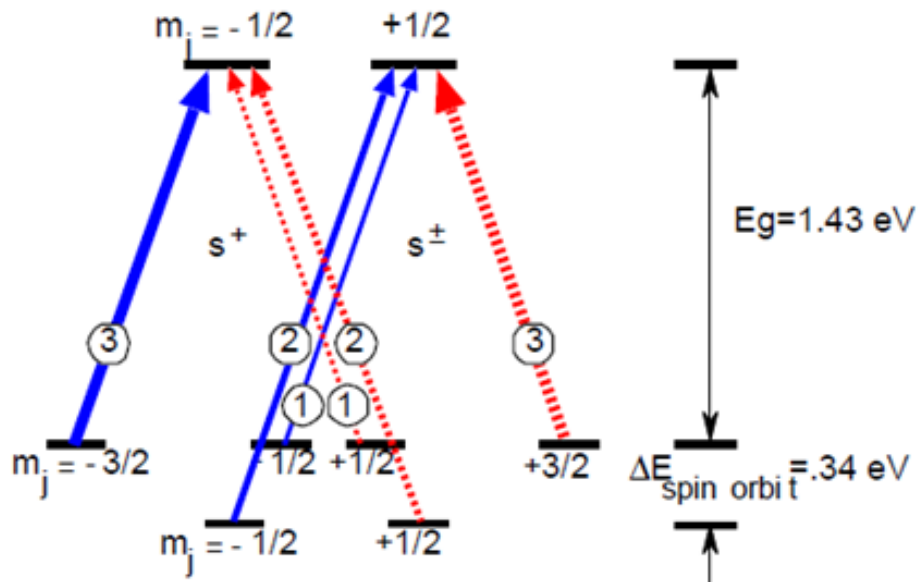
# NEA-GaAs(Cs-O) フォトカソード



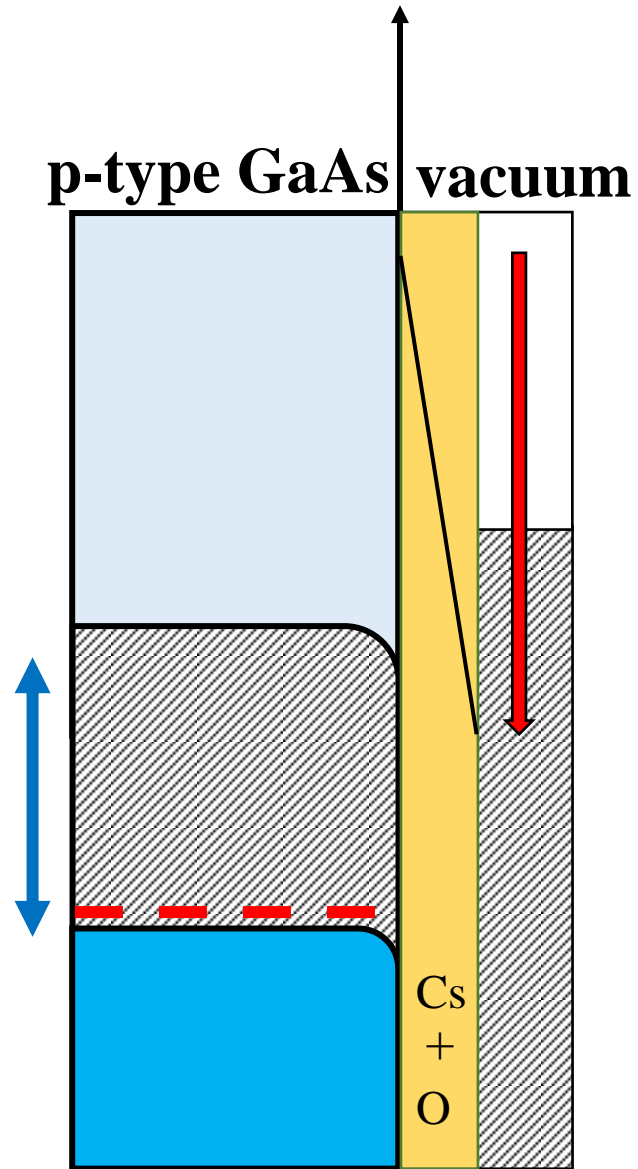
1.43 eV



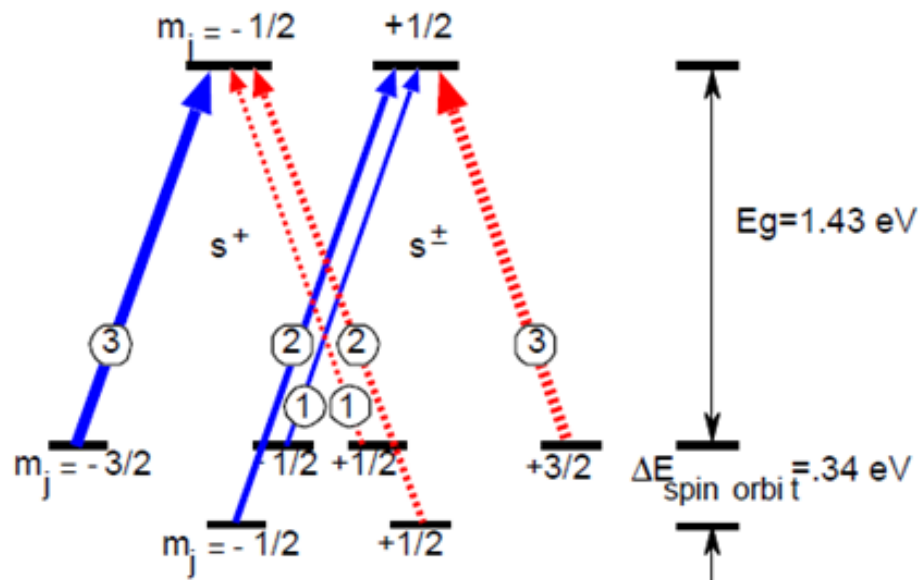
# NEA-GaAs(Cs-O) フォトカソード



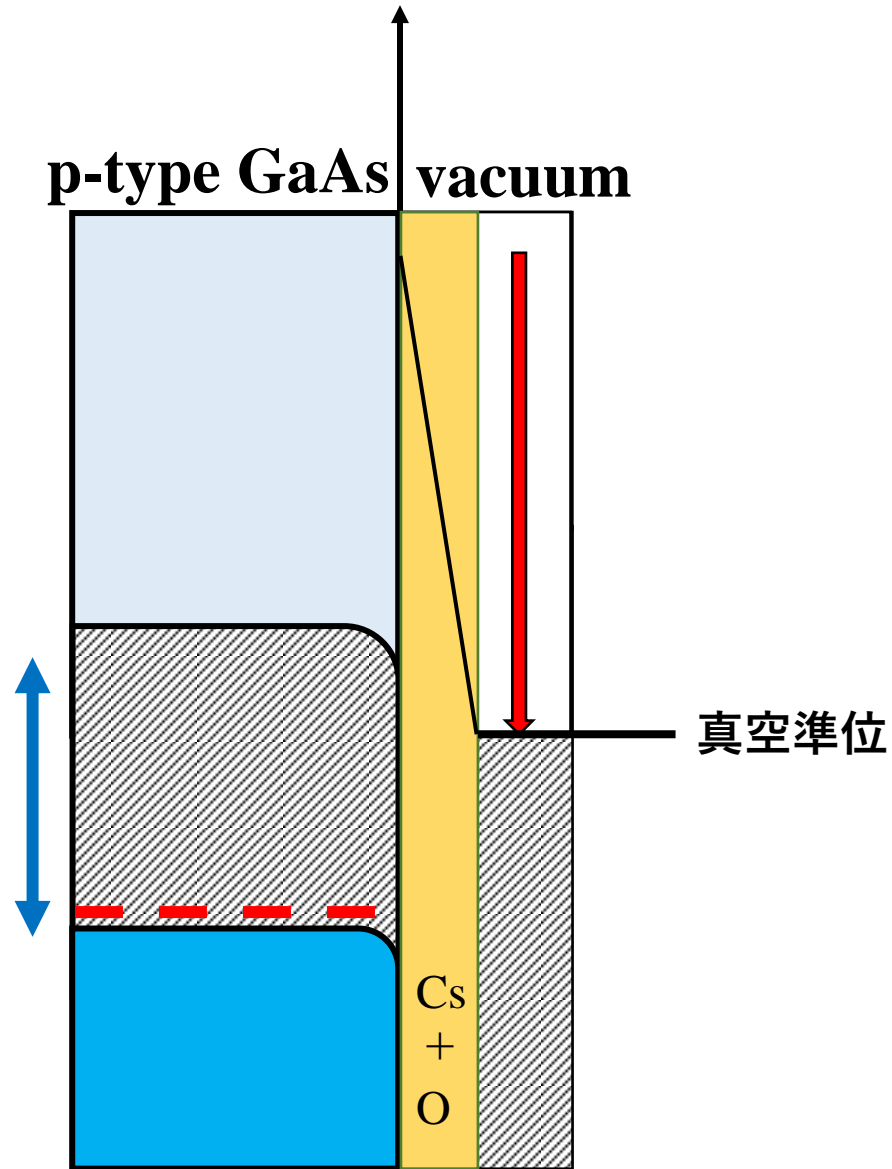
1.43 eV



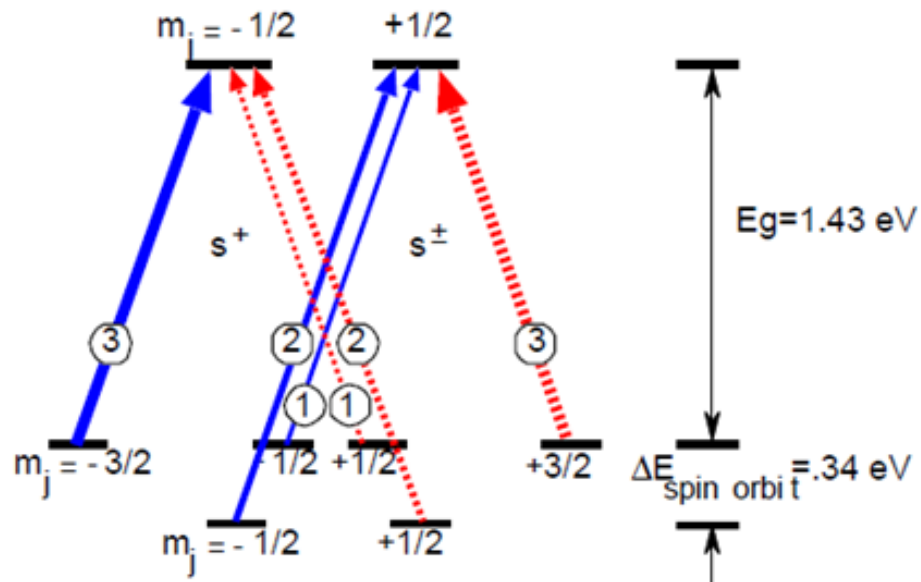
# NEA-GaAs(Cs-O) フォトカソード



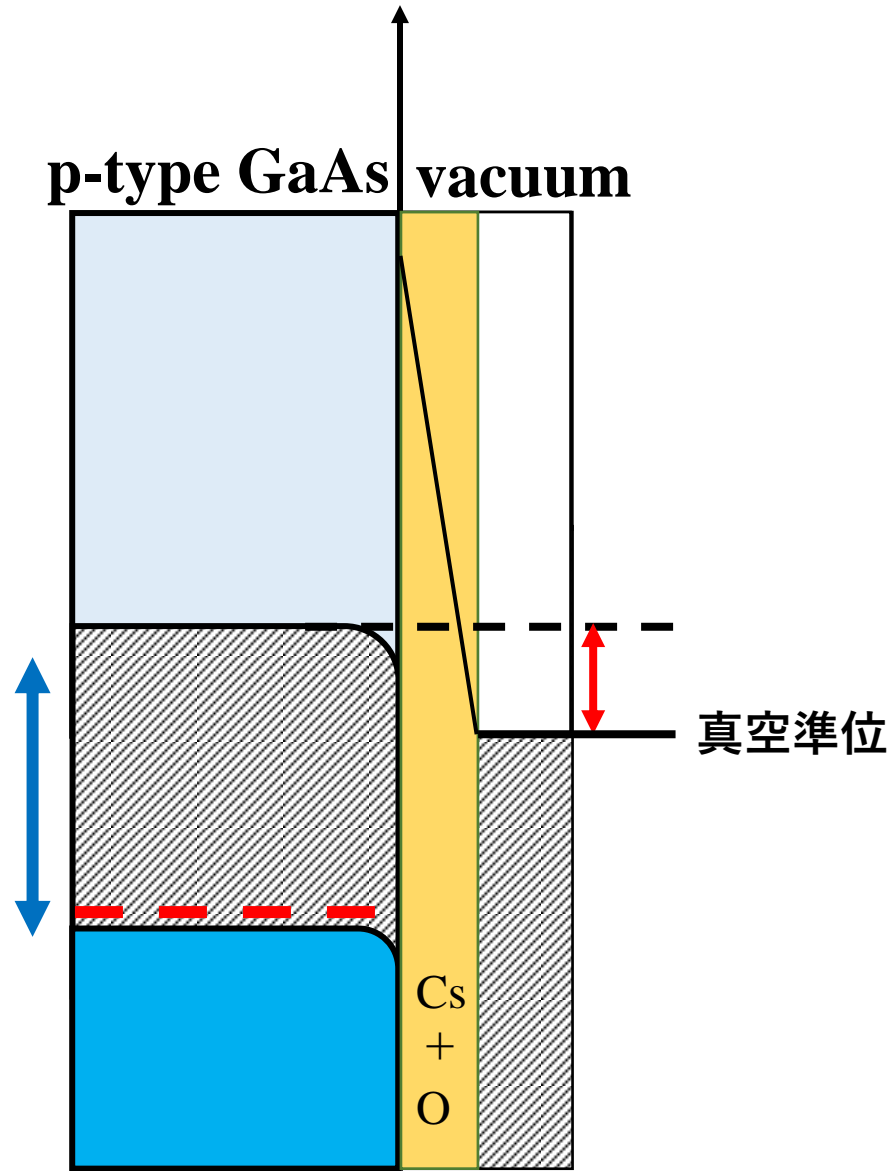
1.43 eV



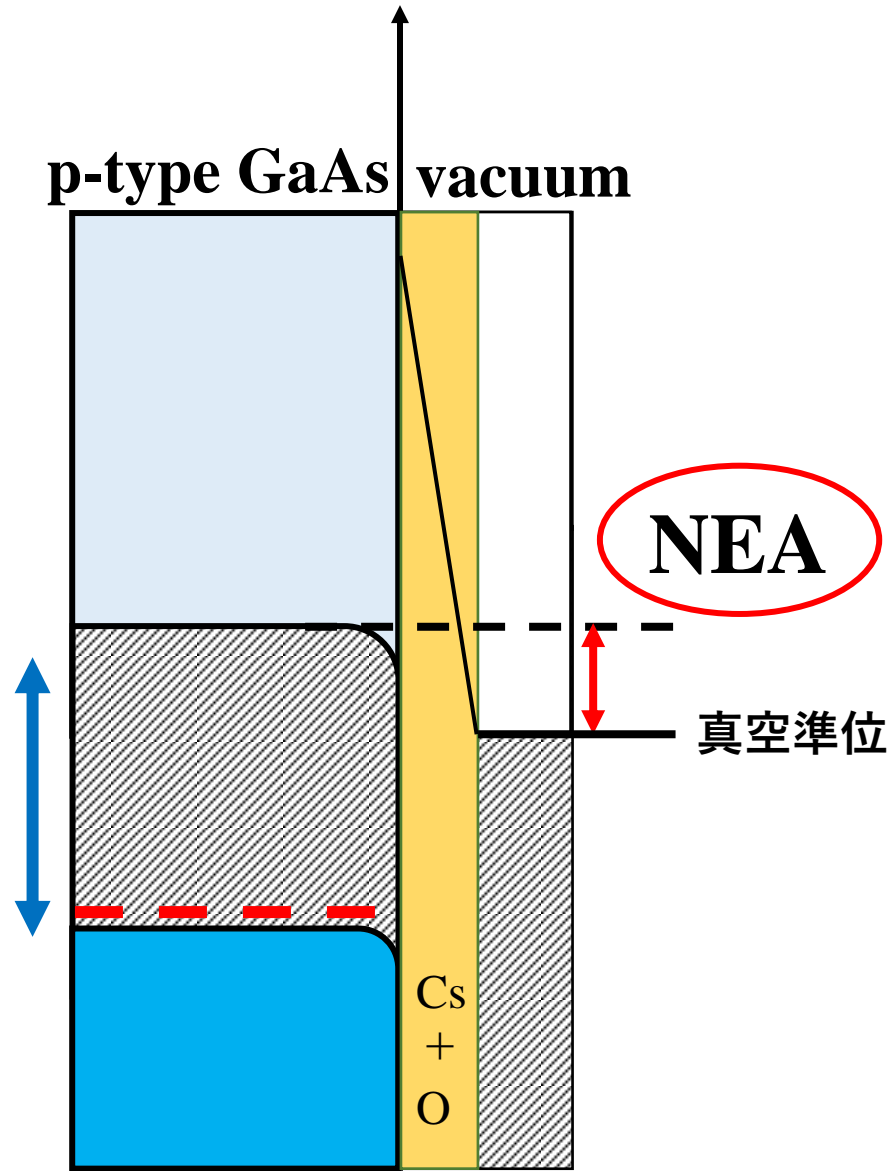
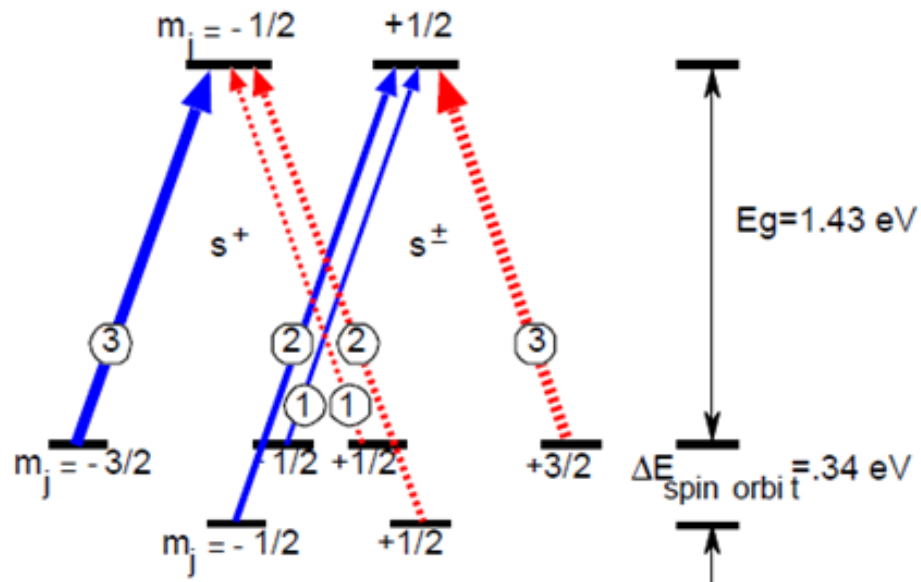
# NEA-GaAs(Cs-O) フォトカソード



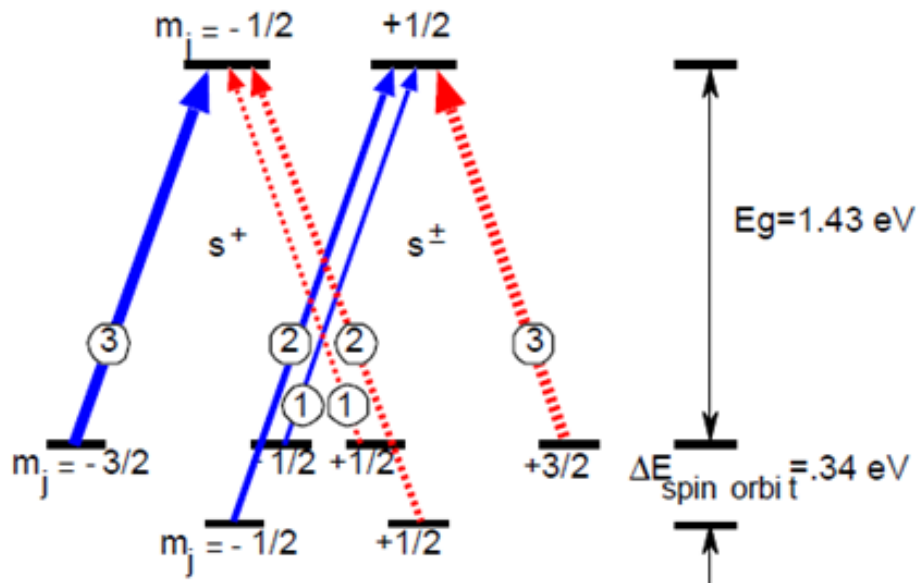
1.43 eV



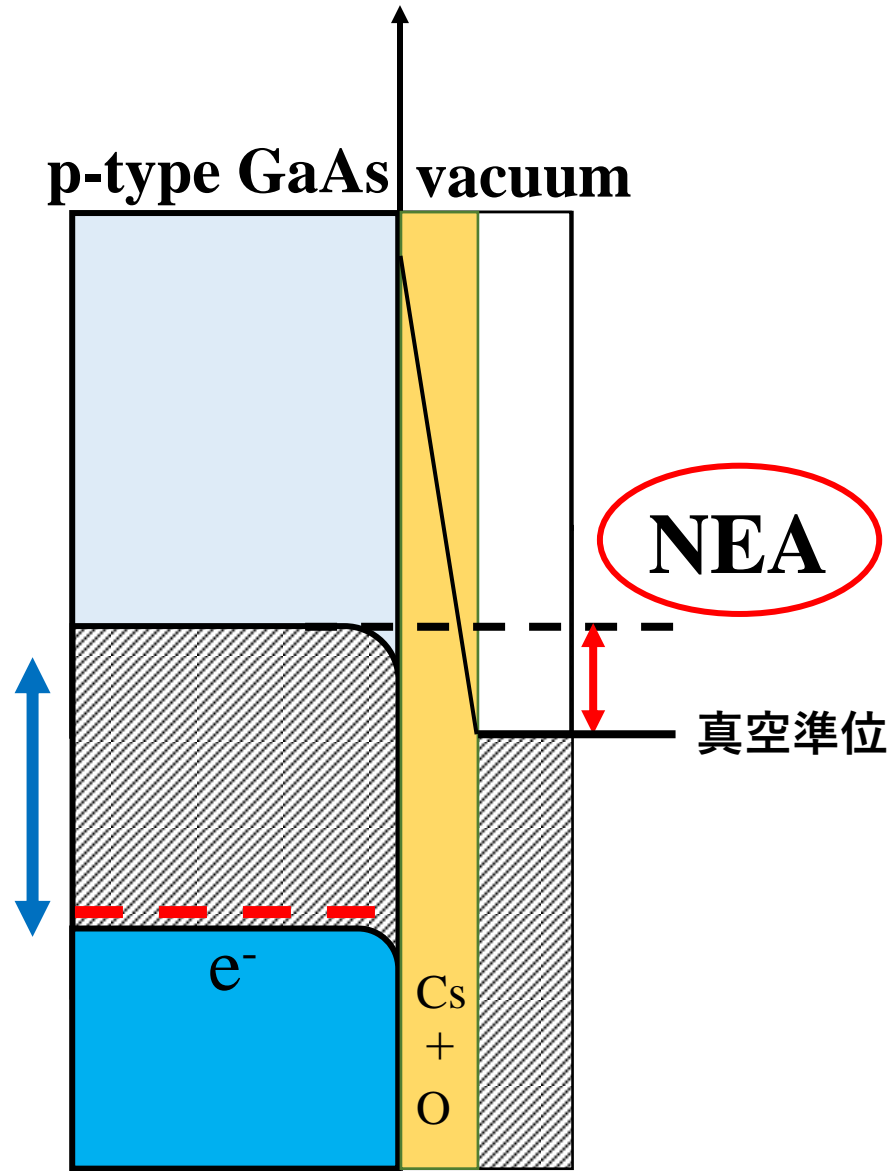
# NEA-GaAs(Cs-O) フォトカソード



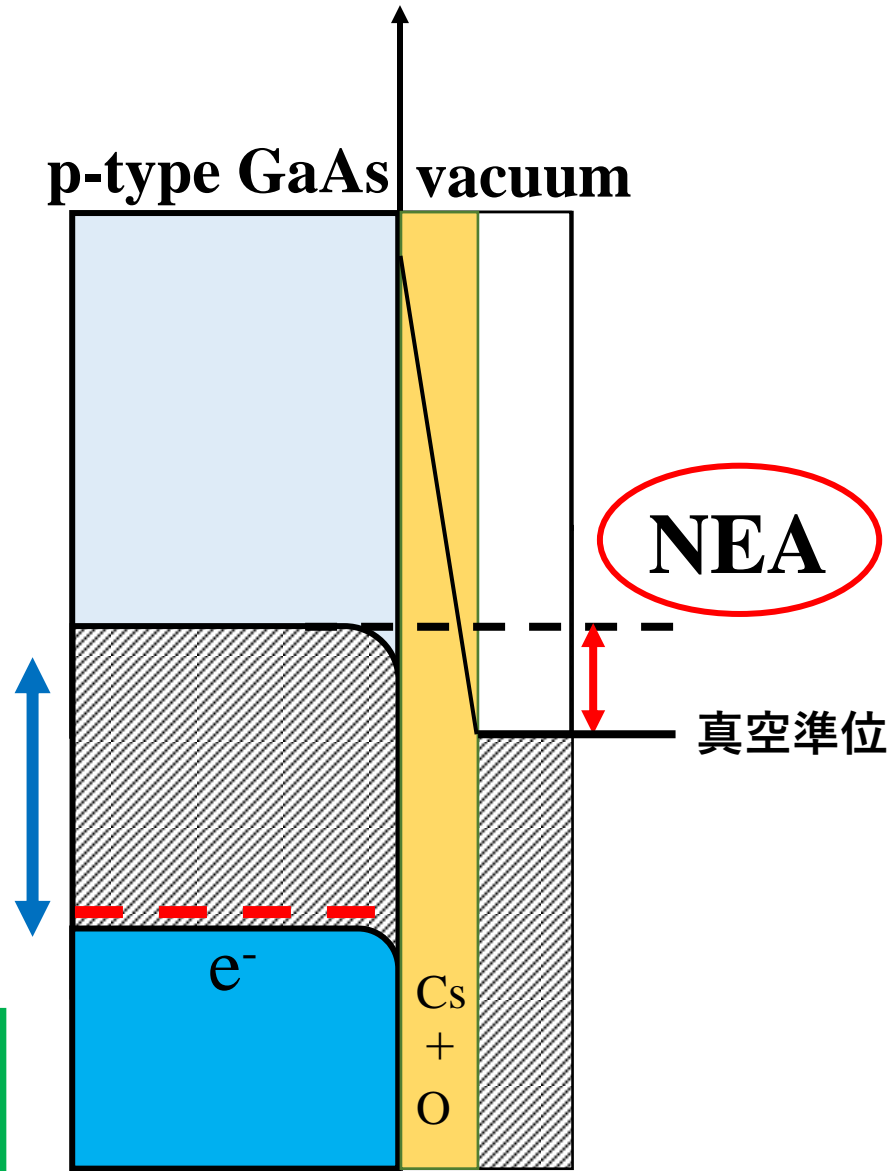
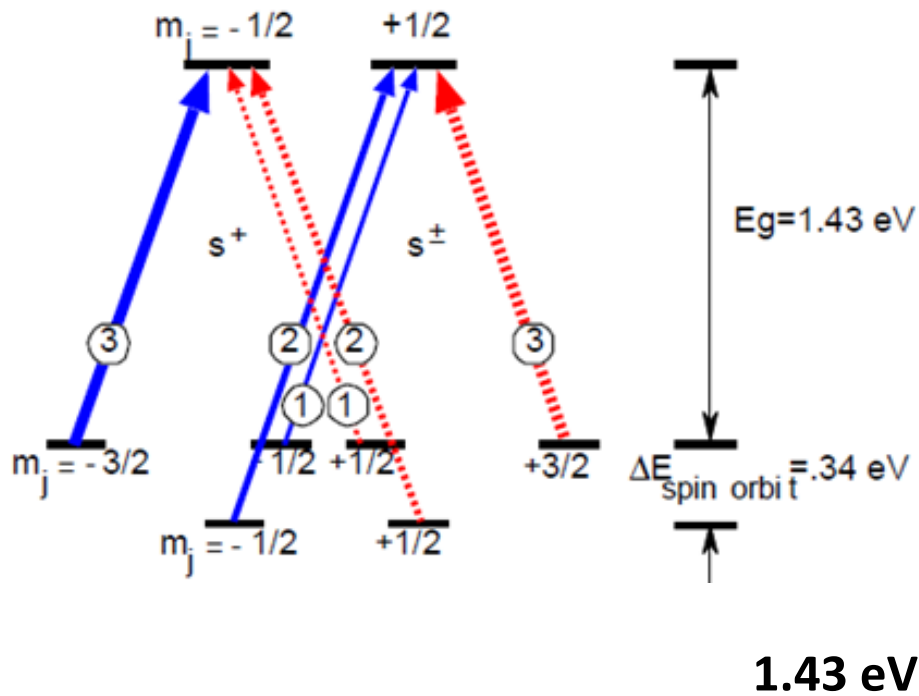
# NEA-GaAs(Cs-O) フォトカソード



1.43 eV



# NEA-GaAs(Cs-O) フォトカソード

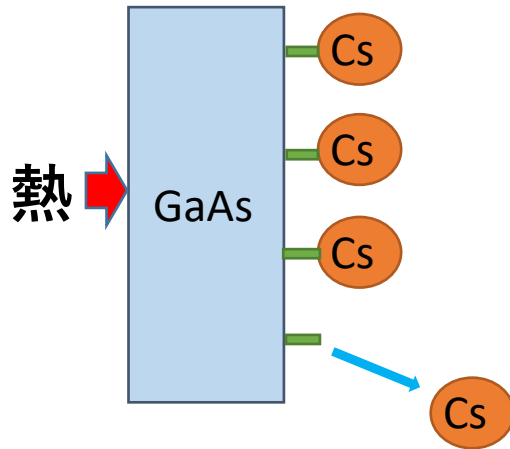


高偏極電子の放出が可能

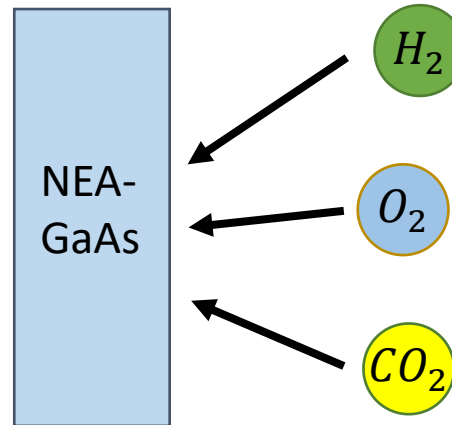


# NEA表面(Cs-O)の劣化

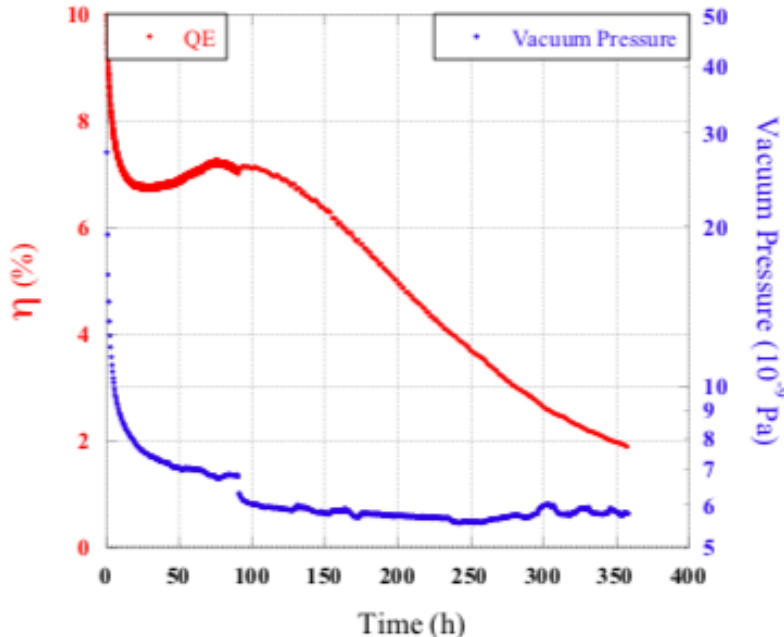
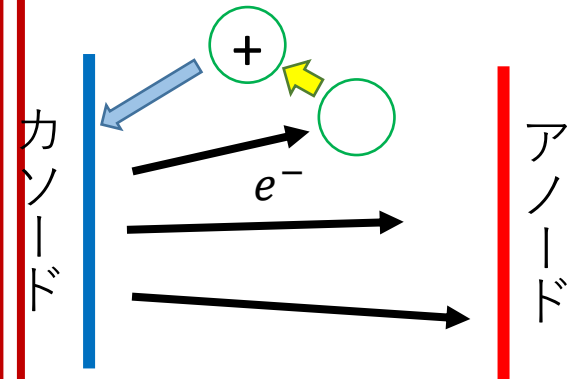
## Csの熱脱離



## ガス吸着



## IBB



時間寿命：160 h (6.0 x 10<sup>-9</sup> Pa)

**欠点：NEA表面の脆弱性**

NEA-GaAs の QE の時間変化 at pressure~10<sup>-9</sup> 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)

# NEA-GaAsカソードの高耐久化

## NEA-GaAs(Cs-O)

- 静電型電子銃でのみ使用可能  
バンチャー等、複雑なシステム
- 極高真空( $1e-9$ Pa以下) が必要

## 高耐久 NEA-GaAs

- **RF電子銃での運用が可能**
- **大電流**
- **システムの簡素化**

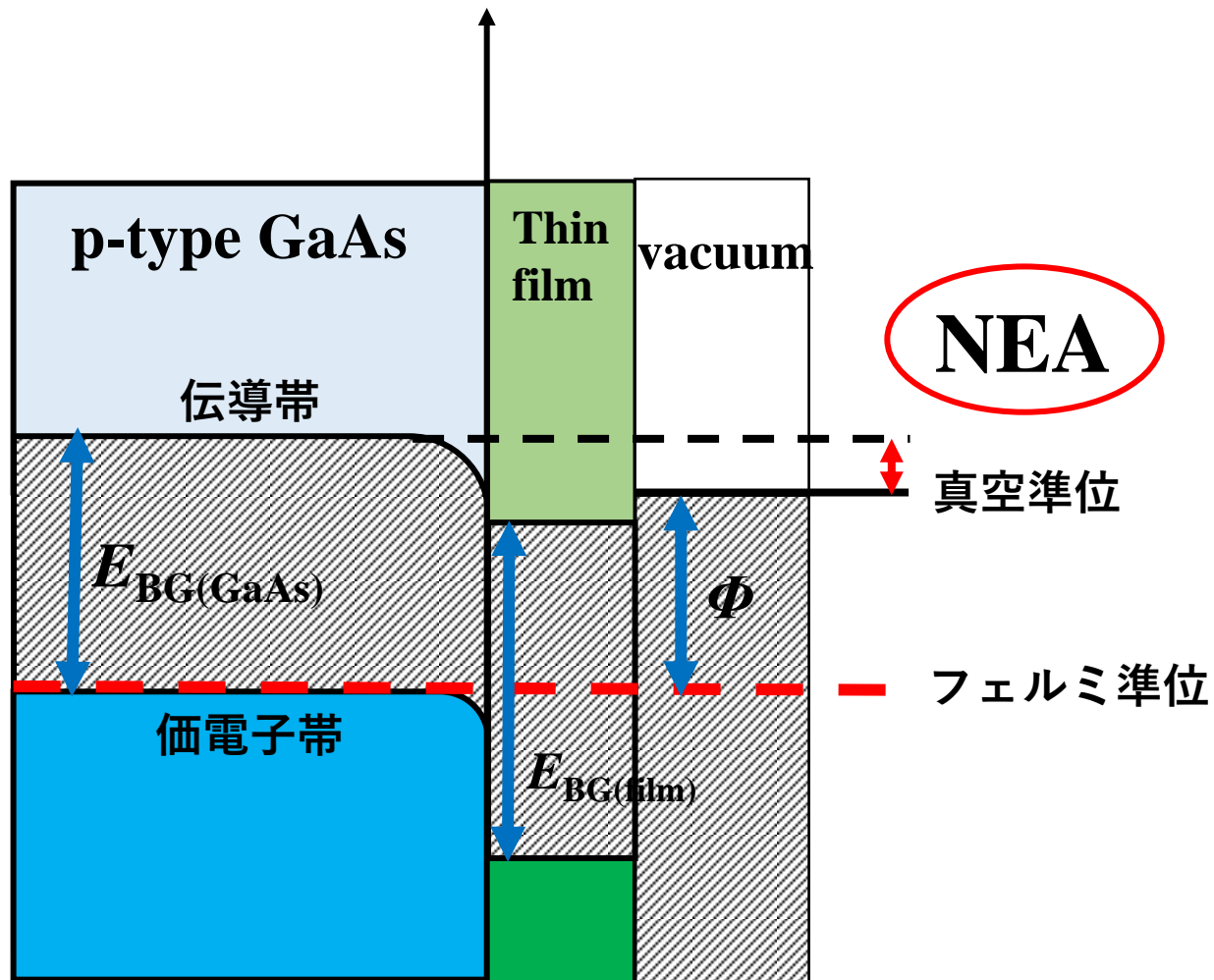
# ヘテロ接合による高耐久NEA

NEA活性化

$$E_{BG(\text{GaAs})} > \Phi$$

透過性

$$E_{BG(\text{film})} > E_{BG(\text{GaAs})}$$



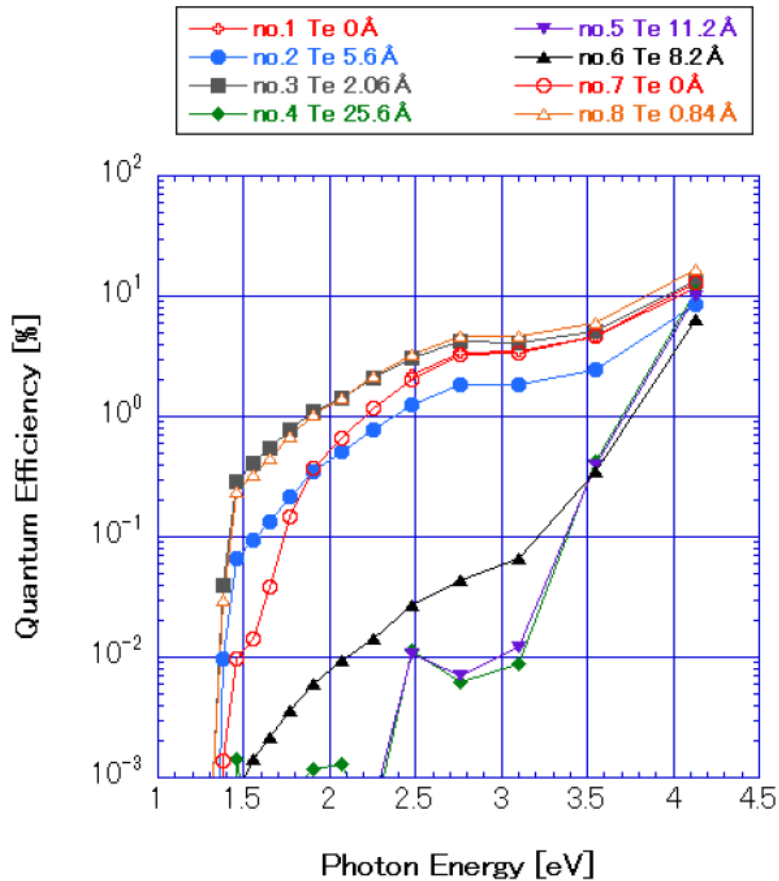
# ヘテロ接合モデルによるNEA活性化

- 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

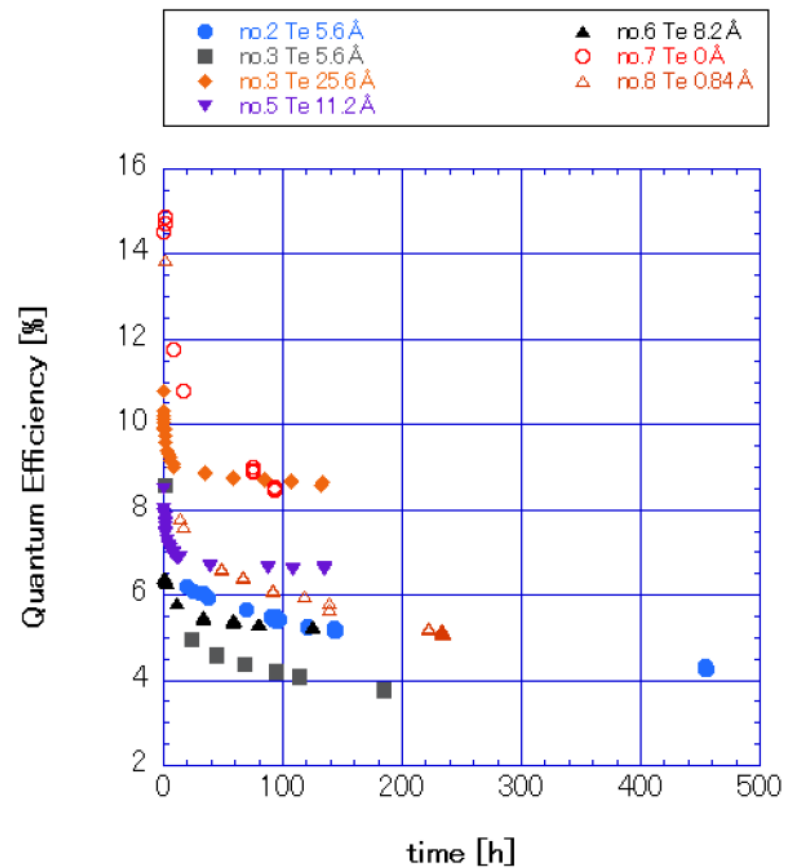
## 今回

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。

# 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))

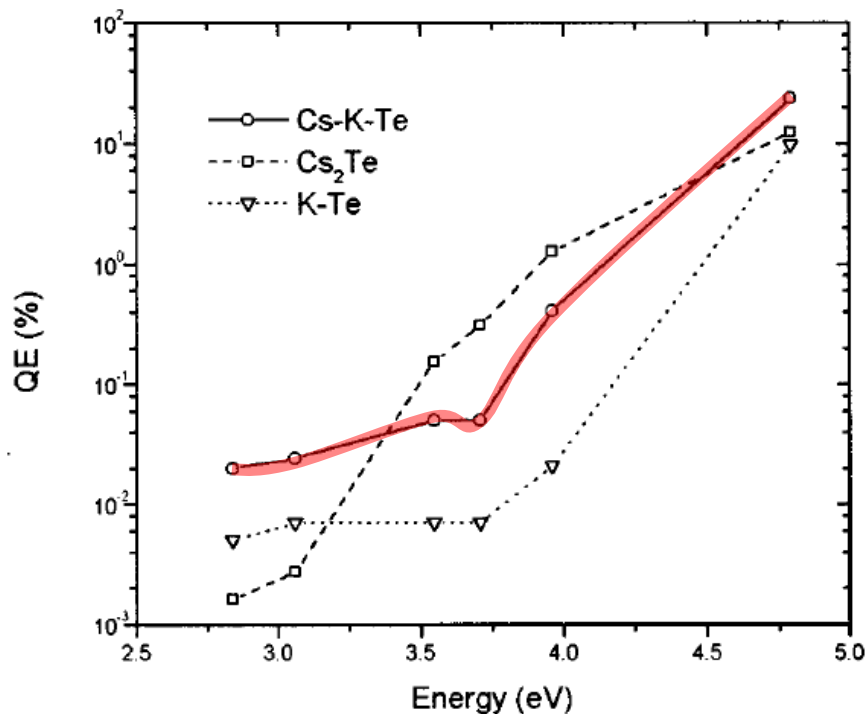


図：CsTe-GaAsの量子効率の時間変化  
(引用：内田和秀 “GaAsフォトカソードのCs-Te薄膜によるNEA活性化の研究” (2015年度修士論文))

NEA活性化を確認

耐久性は不十分

# Cs-K-Te薄膜によるNEA活性化



- 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

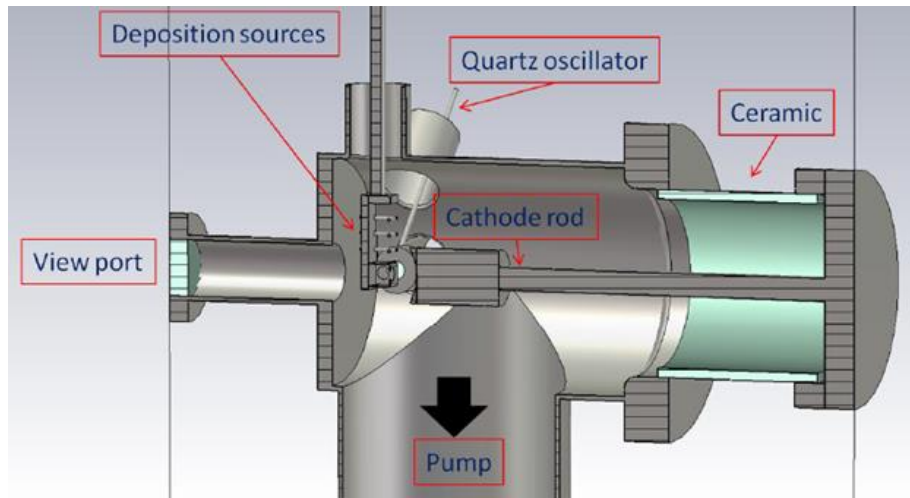
図 : Cs-K-Te, Cs<sub>2</sub>Te, K-Teの量子効率の入射光エネルギー依存性

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

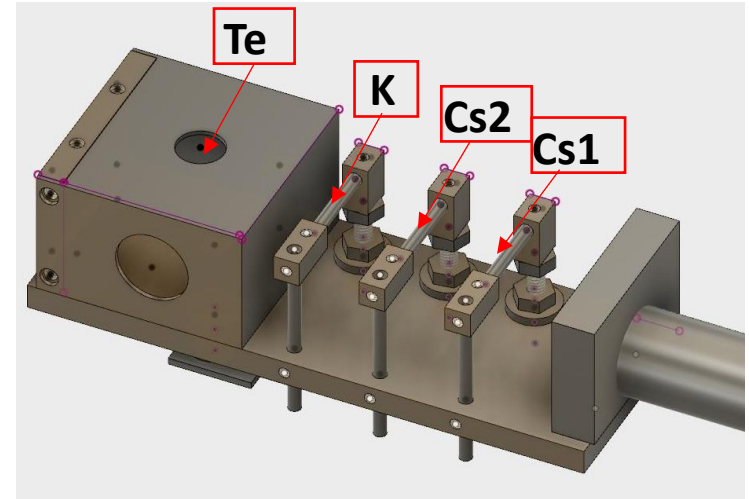
D. Bisero and B. M. van Oerle 他 "High efficiency photoemission from Cs-K-Te")

GaAs上に成膜してNEA活性化できるかを成膜実験によって調べた

# 実験装置



図：実験装置

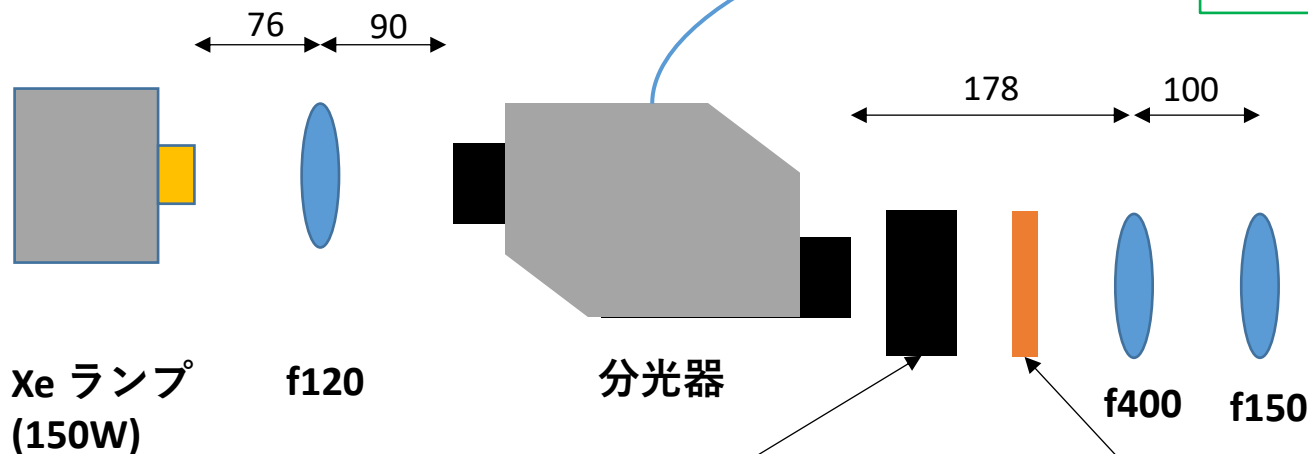


図：蒸着源

- 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

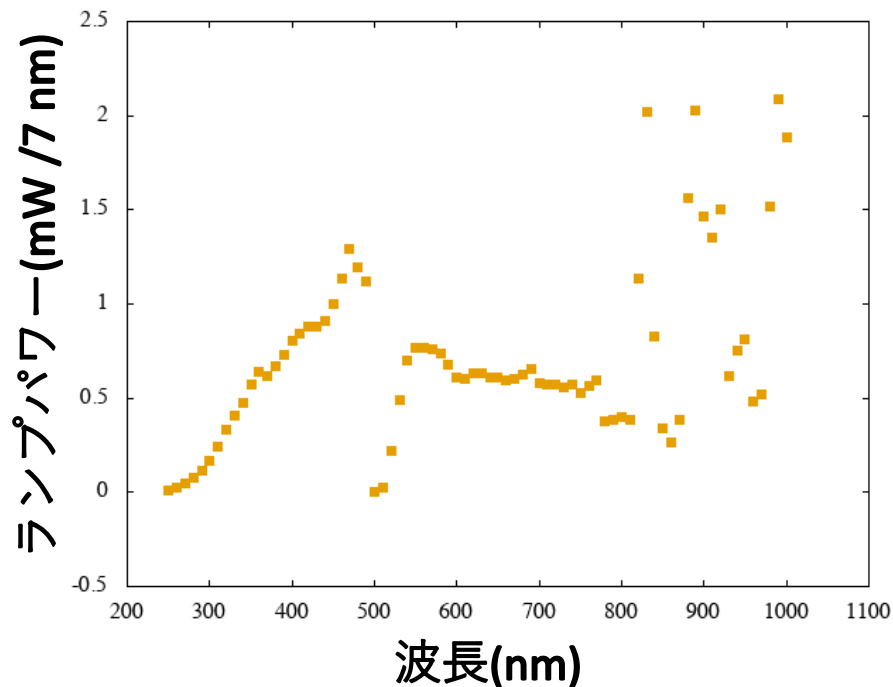
# 光学系

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

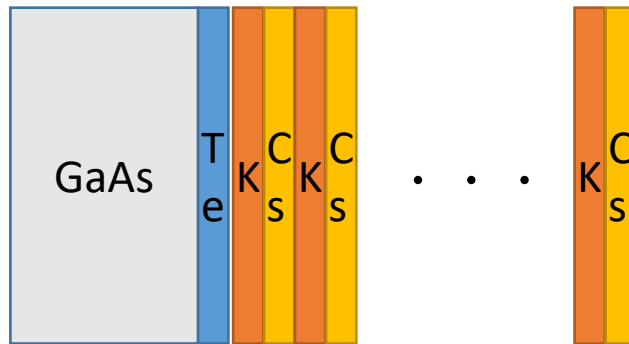


# 実験方法

- 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



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

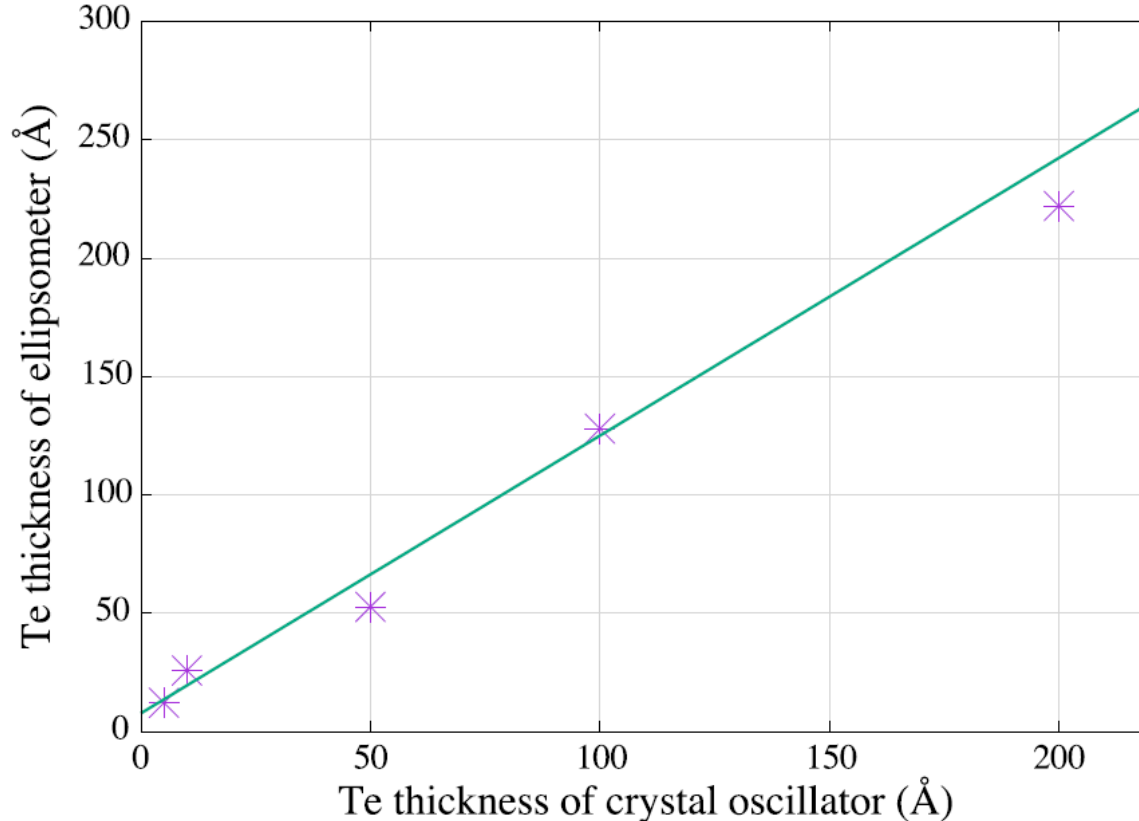
最適膜厚となるまで繰り返す

図：GaAs上にTe,K,Csを蒸着した模式図

- 1 波長につき60回光電流値を測定

# Te膜厚の較正

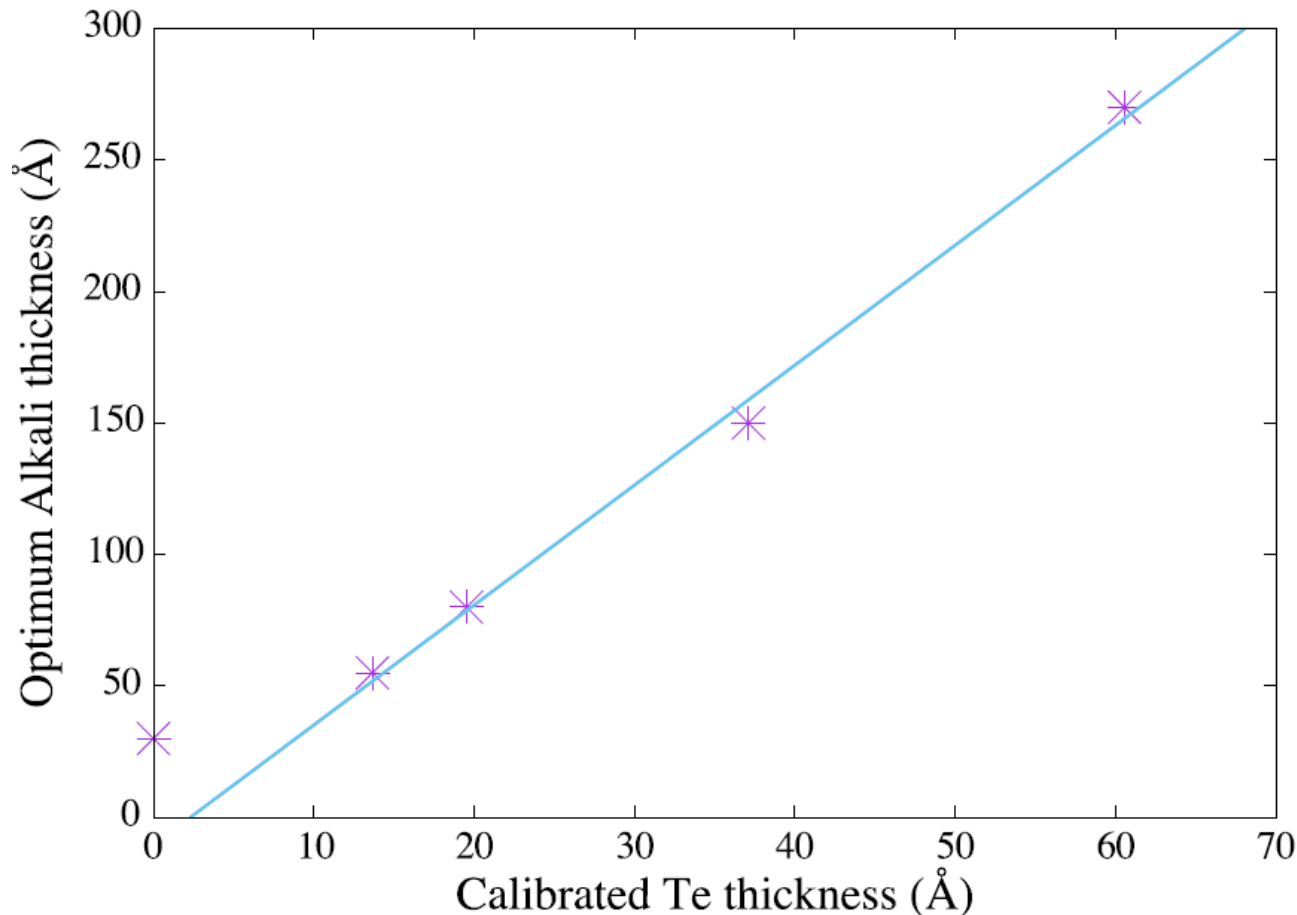
- エリプソメーターにより水晶振動子膜厚を較正  
GaAsウエハ上にTeを蒸着  
⇒エリプソメーターで膜厚 $t_{Te}$ を測定



※以降Te膜厚は較正值を用いる



# 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
- ・ 4.96 eVと1.43 eVの最大量子効率膜厚は不一致

## 考察

- ・ Cs-K-Te薄膜によるNEA活性化を示唆