

# ERL用フォトカソードの提案 1

---

桑原真人、奥見正治、中西疆

名古屋大学大学院理学研究科

# ERL用フォトカソードの要求性能

## ■ 低エミッタンス化

- NEA表面＋半導体
- 半導体を伝導する電子が余分なエネルギーを持たないこと(励起先を伝導帯底にできる波長(エネルギー))

フォトカソードに対する利点:

- エミッタンスが小さければ小さいほど、レーザースポットを広げられる  
⇒ 高パワー密度レーザーによるダメージ低減  
強励起による半導体中の飽和?の低減  
空間電荷効果を抑制
- ビーム輸送系アウトガスの低減によるNEA表面寿命問題の抑制

## ■ 大電流化

- 量子効率の改善

フォトカソードに対する利点:

- 照射レーザー出力の低減
  - 高出力レーザーによるダメージ(熱、アブレーション、表面劣化)
- 強励起による半導体中の飽和?の低減

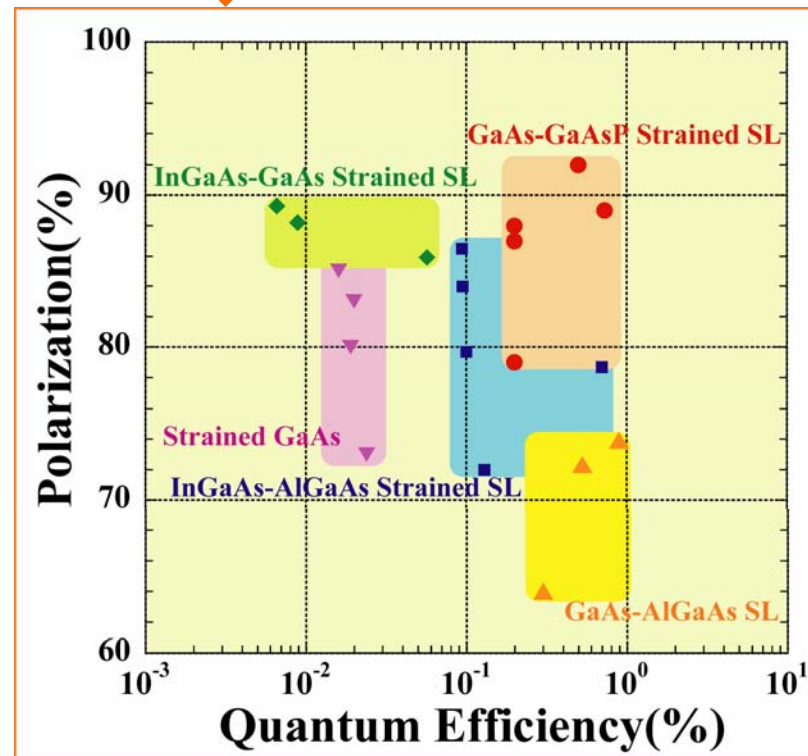
# 偏極電子源用フォトカソードにおけるQE

- 偏極電子源用フォトカソードのQEと偏極度
  - QEは偏極度が高いところを示している。



- 代表的な値 (pol.max., not max.)

- Strained thin GaAs
  - ① QE ~0.02%, pol 86% [1]  
@860nm (hh only)
  - ② QE ~ 0.5%, pol 30%  
@730 nm (hh and lh)  
active layer ~80nm
- GaAs/GaAsP strained SL:
  - ① QE~0.5%, pol 90% [2]  
@780nm (hh only)
  - ② QE~1% pol 35%  
@735nm (hh and lh)  
active layer ~96 nm



⇒ 吸収係数において超格子構造はBulk-GaAsに劣ることは無い。  
(バンド閉じ込めによる局在化で吸収効率が高い可能性もある)

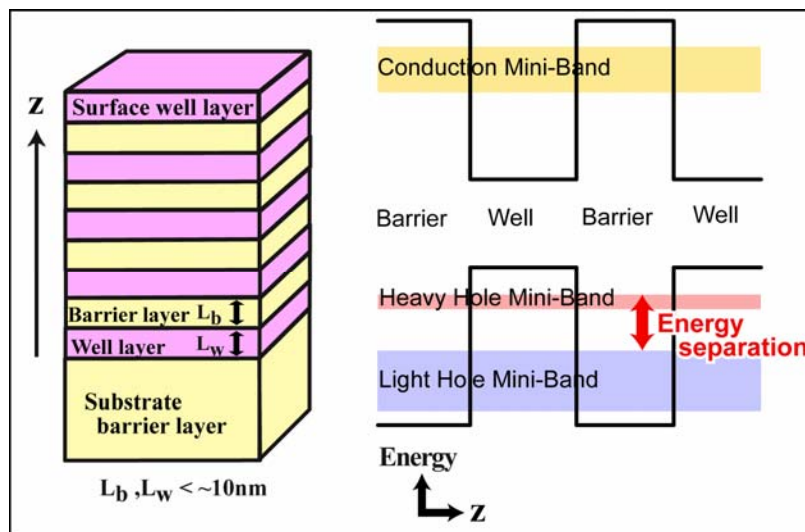
[1] T. Nakanishi, et al. Phys.Lett. A 158 (1991) 345-349.

[2] T. Nishitani, et al., J. Appl. Phys. 97 (2005) 94907.

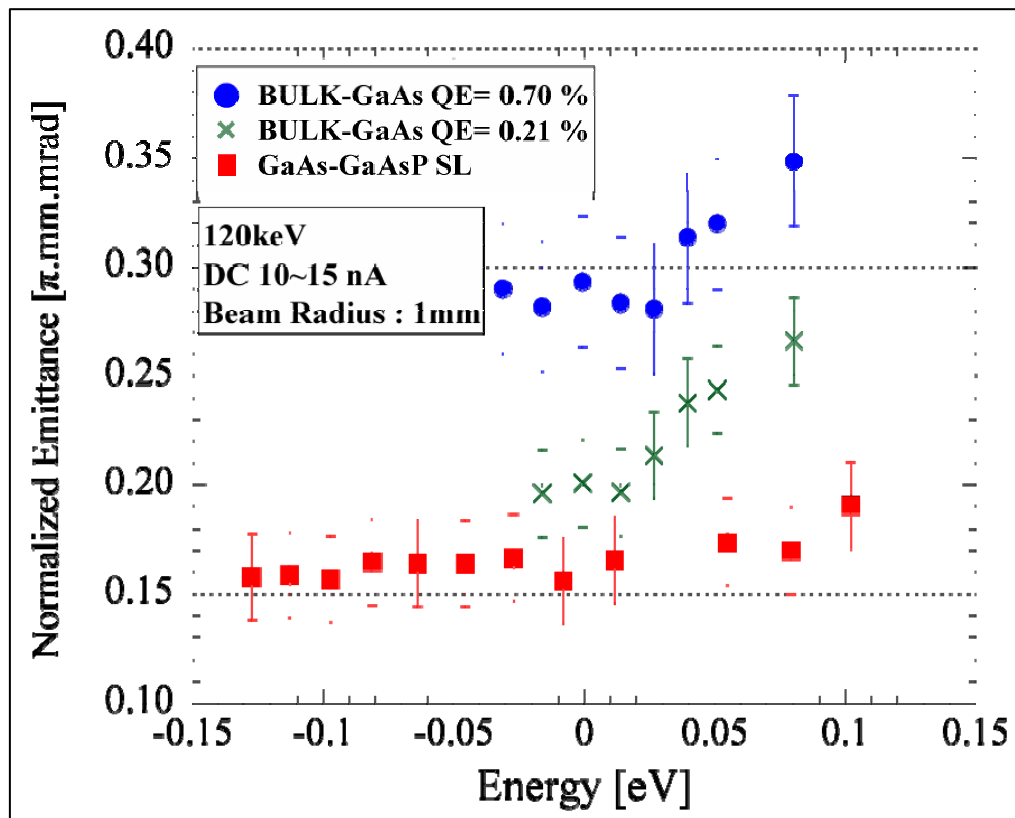
# 偏極電子源用フォトカソードにおけるエミッタンス

## ■ BulkとSuperlatticeのエミッタンス

Schematics of Superlattice mini-band structure



ミニバンドにより、伝導帯で許容されるエネルギーが制限される



⇒ エミッタンスがレーザー短波長側で増加しにくくなる。

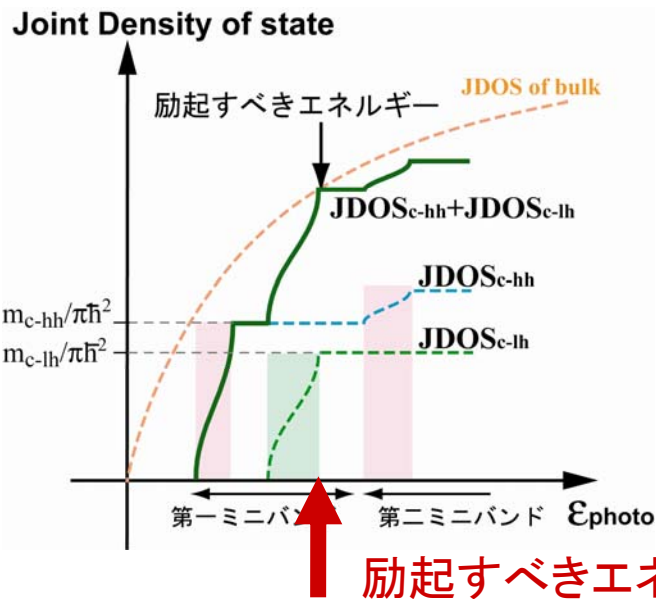
SL構造はBulk-GaAsに比べ、高QEの波長でエミッタンス良

# ERL用フォトカソードの半導体構造の提案

- 低エミッタンス化
  - 超格子・伝導帯第一ミニバンドへの励起を使用
- QEの改善
  - 価電子帯の重い正孔・軽い正孔、両方からの励起を使用
  - 活性層(吸収層)を吸収長程度にする。
    - 100nm→ 1~2 $\mu$ m (Cornell Univ.と比較するなら2 $\mu$ m)  
注:パルス性能に対する考慮必要あり
- レーザー波長
  - 532nmに合わせるように設計
    - AlGaAs/AlGaAsP超格子?(混晶について検討中)

# ERL用フォトカソードの半導体構造の提案

## ■ 超格子において励起すべき波長

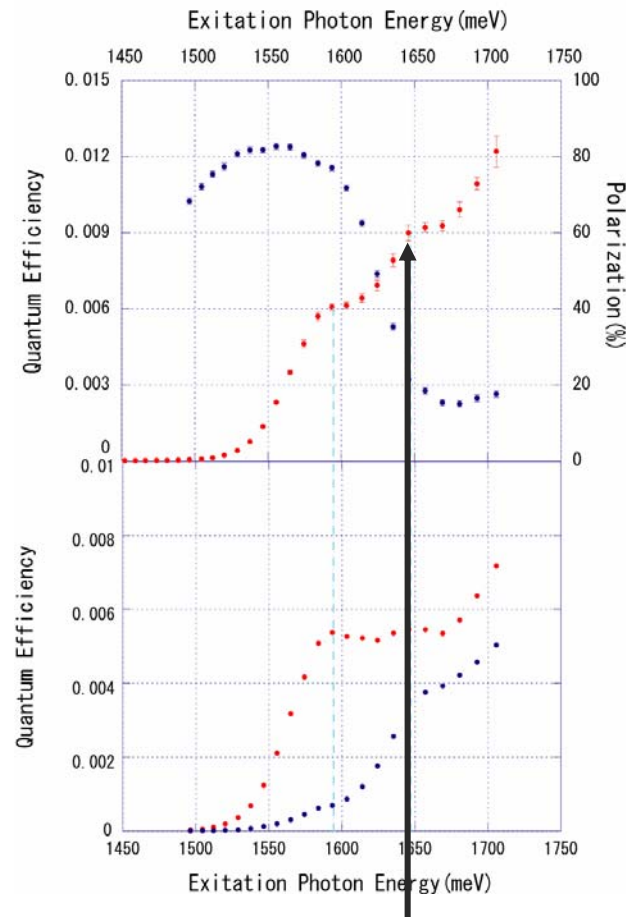


右図のQEより、活性層 $2\mu\text{m}$ とした時のQEを試算すると

$$QE_{2\mu\text{m}} = \frac{1 - \exp(-\alpha \cdot 2 \times 10^{-6})}{1 - \exp(-\alpha \cdot 10^{-7})} \cdot QE_{1\mu\text{m}} = 12.57 \times 0.9 = 11.3\%$$

$1\mu\text{m}$ としても $QE(1\mu\text{m}) = 7.9 \times 0.9 \sim 7\%$

ここで、吸収係数はbulk-GaAsの値  $\alpha \sim 10^6 \sqrt{\varepsilon - E_g} [m^{-1}]$ 、 $\lambda = 730\text{nm}$ を使用しドリフト長の変化による再結合や散乱の増加の寄与は考えてない



計算に使用した波長  
QE $\sim$ 0.9%  
(sample:SL02(歪補償))

# ERL用フォトカソードの半導体構造の提案

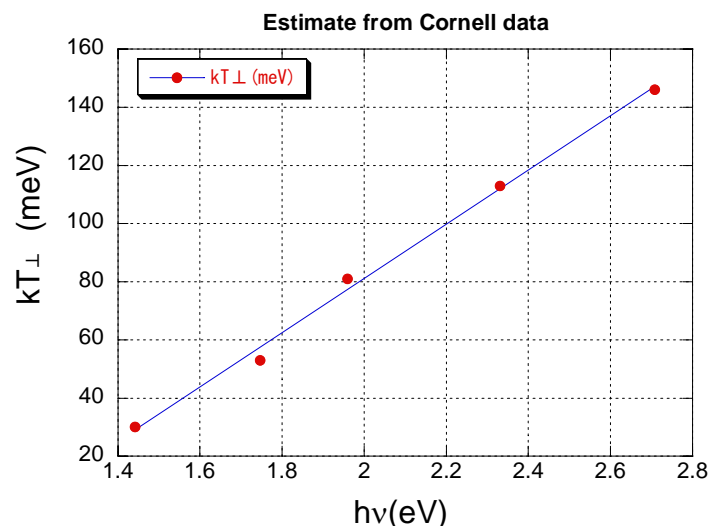
## ■ 超格子での初期エミッタンス(見積もり)

$$\varepsilon_{n,rms} = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{k_B T}{m_0 c^2} + \frac{2(\Delta E_{subband} + \delta_{surface})}{3m_0 c^2}} [\pi m \cdot rad]$$

T=300 K (→27meV),  $\Delta E_{subband}$ =36meV(ミニバンド幅),  $\delta_{surface}$ =0(表面での散乱によるエネルギー幅の劣化), 半径R=1 mm(2 $\sigma$ )とすると

$$\varepsilon_{n,rms} = 1.58 \times 10^{-1} \pi \text{ mm mrad}$$

1. Cornell Univ.のデータ<sup>[3]</sup>(Bulk-GaAs)から、右図に横軸エネルギーでプロットした。  
hv=1.42eVでほぼ27meVになる。表面での散乱による効果があまり無い可能性がある
2. GaAsで532nm励起においてkT=113meVであることから、300K熱エミッタンス以外のエネルギーを86meV持っている。この点においても、超格子は優位である



[3]. I. V. Bazarov, et al., J. Appl. Phys. 103 (2008) 054901

# ERL用フォトカソードの半導体構造の提案

## ■ 背面照射方式の採用

### ○ 利点・期待される効果

- 前方にあるミラー等の非対称構造体を無くす事が可能  
⇒ドリフトスペースにおけるエミッタンス劣化の抑制
- 背面照射による活性層吸収により、表面における光強度の低下する。これにより、NEA表面における高い光強度による破壊が回避される。
- 透過光をモニターすることで、フォトカソード状態を測定可能。

### ○ 検討点

- パルスビームの時間プロファイル。不利になる可能性あり。



## ■ 検討事項

- 532nmに合わせた超格子の組成の決定。  
AlGaAs/AlGaAsP ??
- NEA表面での散乱がどれくらいあるか？その影響によるエミッタンス劣化はどの程度の割合なのか？  
( $\rightarrow \delta_{\text{surface}}=?$ )
- バルクと超格子で、励起波長によるエミッタンス増加率の違いを、波数空間に対するエネルギーバンドから見積もる。
- 前面照射と背面照射で、エミッタンスに対して半導体中のエネルギー緩和の効果の違いを見積もる。
- パルス性能について(エネルギー緩和時間・再結合時間・ドリフト時間より検討)