

# ダイヤモンド薄膜を用いた電子源ビームカレントの増幅

西谷智博, 峰原英介, 羽島良一, 飯島北斗  
日本原子力研究所 自由電子レーザー研究グループ

次世代自由電子レーザー用光陰極電子銃

NEA-GaAs フォトカソードからの電子放出

NEA-ダイヤモンドを用いた電流増幅

まとめ

# 次世代自由電子レーザー(FEL):XFEL、ERL-FELの実現

電子源性能が鍵

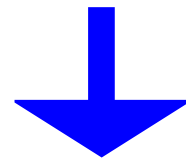
高出力、高輝度の電子ビームが不可欠

- ☆微小エミッタンス( $< 1\text{mm}\cdot\text{mrad}$ )
- ☆大電流( $> 100\text{mA}$ )
- ☆長寿命

負電子親和性表面を持つガリウムヒ素半導体フォトカソード  
(NEA-GaAsフォトカソード)

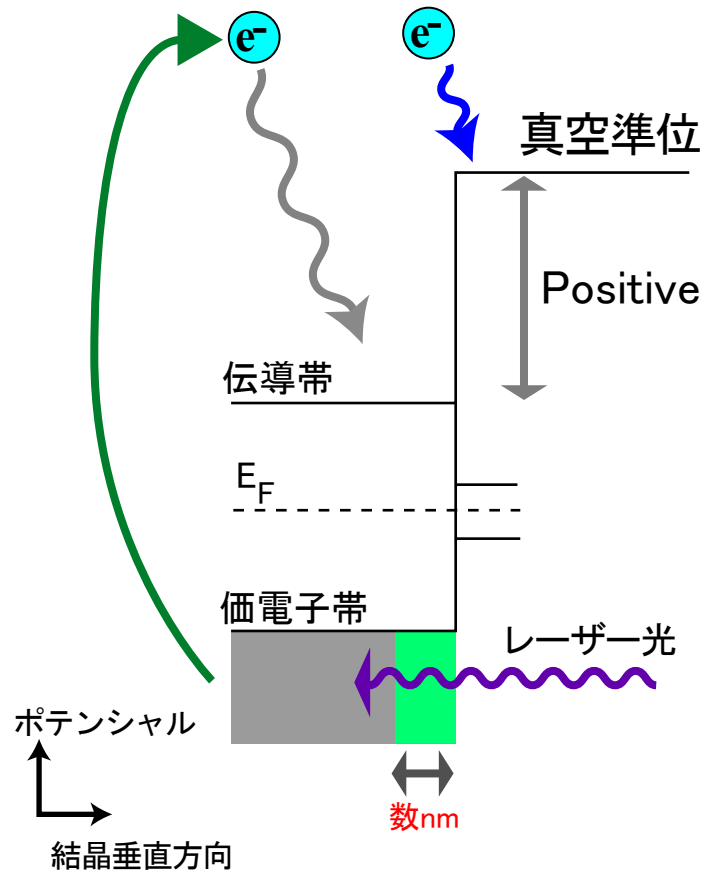
利点

- ☆電子が真空中へ飛び出す際のエネルギーを極小にできる。(超低エミッタンス)
- ☆数%の高い量子効率を持つ。
- ☆電子ビーム構造を可視領域レーザー(波長 $\sim 800\text{nm}$ )で制御できる。

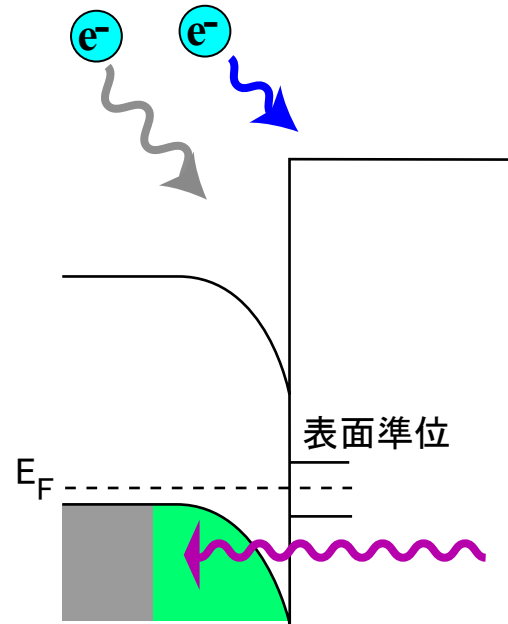


原研NEA-GaAsフォトカソード電子銃の開発

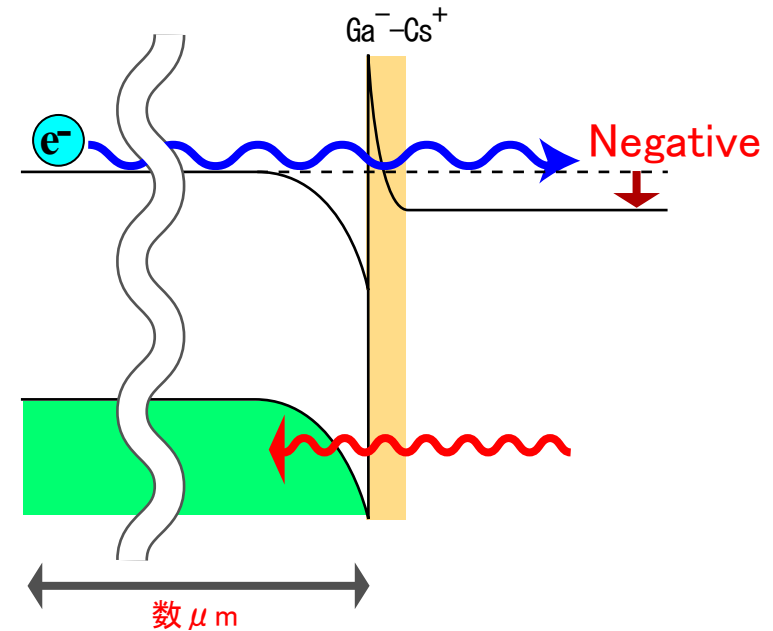
# 負電子親和性表面 (Negative Electron Affinity -NEA-)



真性半導体

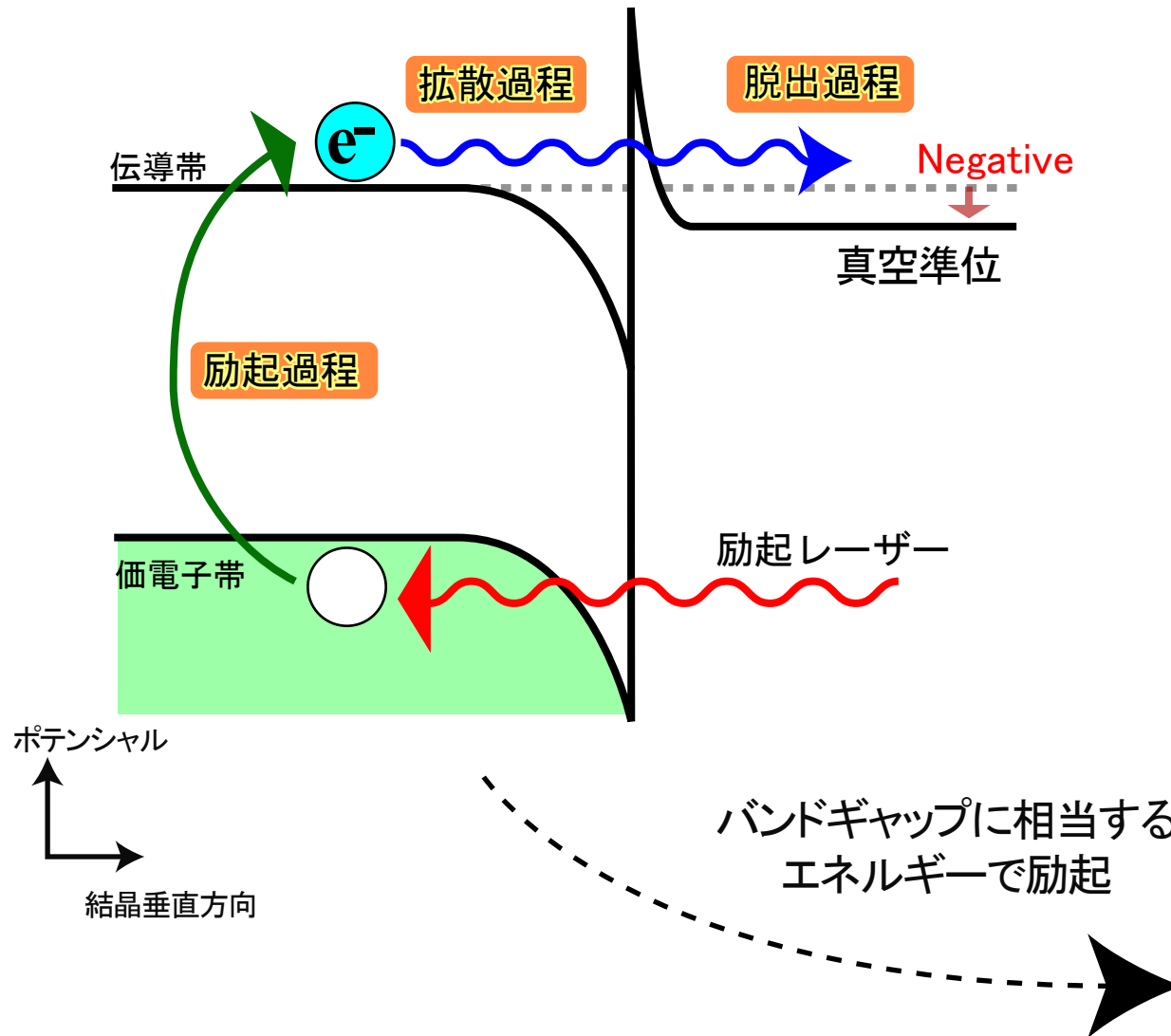


P型半導体



NEA表面を持つP型半導体

# NEA-GaAsフォトカソードの利点



## 利点

電子が真空中へ放出する際のエネルギーが微小

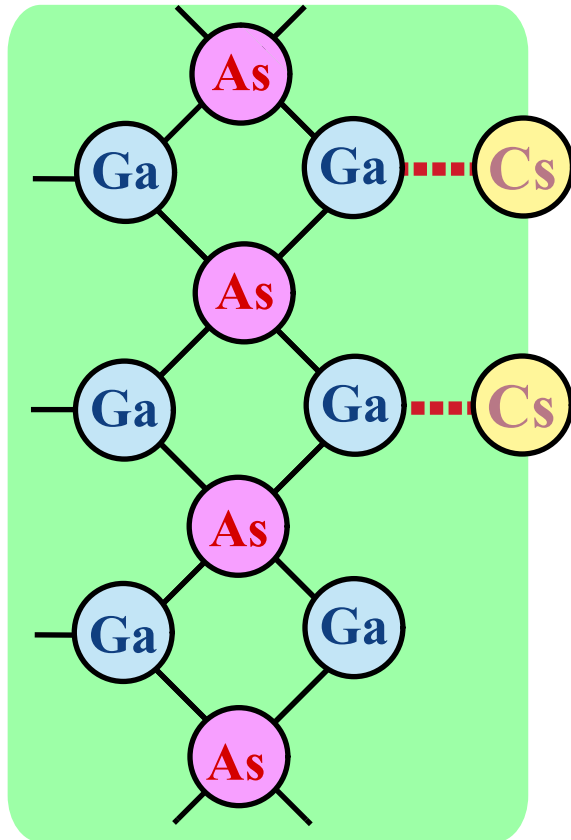
極小ビームエミッタンス



超高輝度電子ビーム

電子ビーム構造を可視領域レーザー (波長~800nm) で制御できる。

# NEA-GaAsフォトカソードの問題



## NEA surface

\* NEA表面はCs、Ga原子からなる数Åオーダー程度の厚さ

表面敏感

## 問題

量子効率制限問題

(バルクGaAsで量子効率10%)

厳しい表面維持条件

極高真空( $< \sim 10^{-12}$ Torr)が必要

厳しいNEA活性化条件

清浄表面の導出

Csのアノード電極付着が原因となる

電界放出暗電流(イオンバックボンバードメント)

# NEA表面を持つダイヤモンドによる光電流の増幅

## NEA表面を持つダイヤモンド

- ・ホウ素をpドーピングした半導体ダイヤモンドの表面を水素終端することでNEA表面になる。
- ・表面の水素は、セシウムで形成するNEA表面よりも強固。  
(室温の大気中でも安定である)
- ・1-3keVの電子を入射したとき、反射二次電子の電流は一次電子の約80倍。

J. E. Yater, et. al., Phys. Rev. B, Vol 56, pp. 4410-4413, 1997

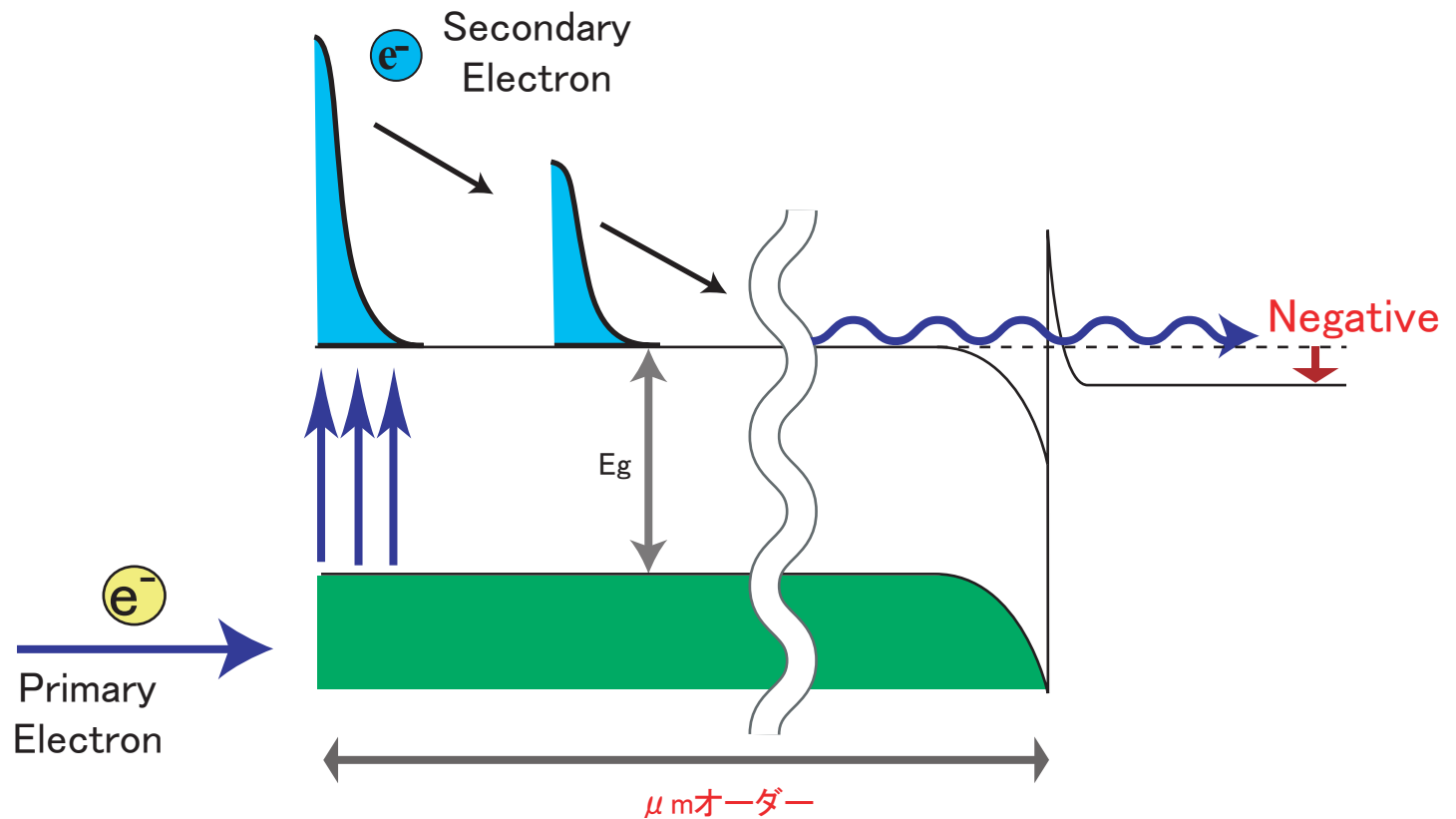
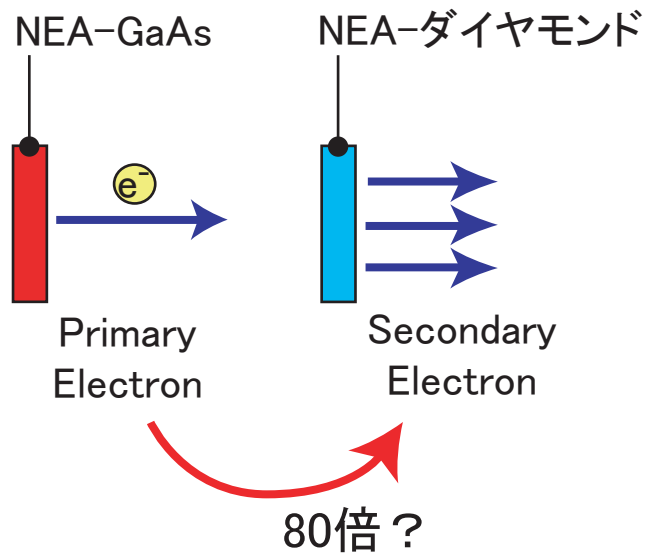
P. Ascareli, et. al., J. Appl. Phys., Vol 89, No 1, pp. 689-696, 2001



**フォトカソードから放出した光電流をダイヤモンドを通し電流を増幅**

→Ben-Zvi氏によりダイヤモンドの二次電子増幅効果を用いたK<sub>2</sub>CsSbフォトカソードRF電子銃の提案

# NEA表面を持つダイヤモンドからの二次電子放出

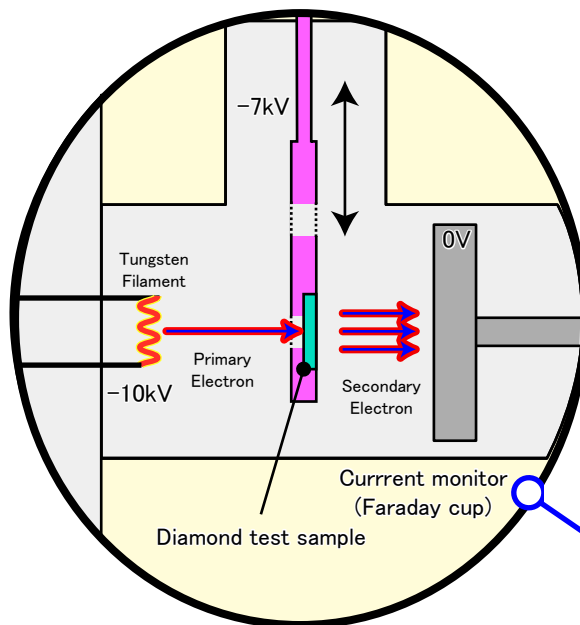


NEA表面を持つダイヤモンド(P型半導体)

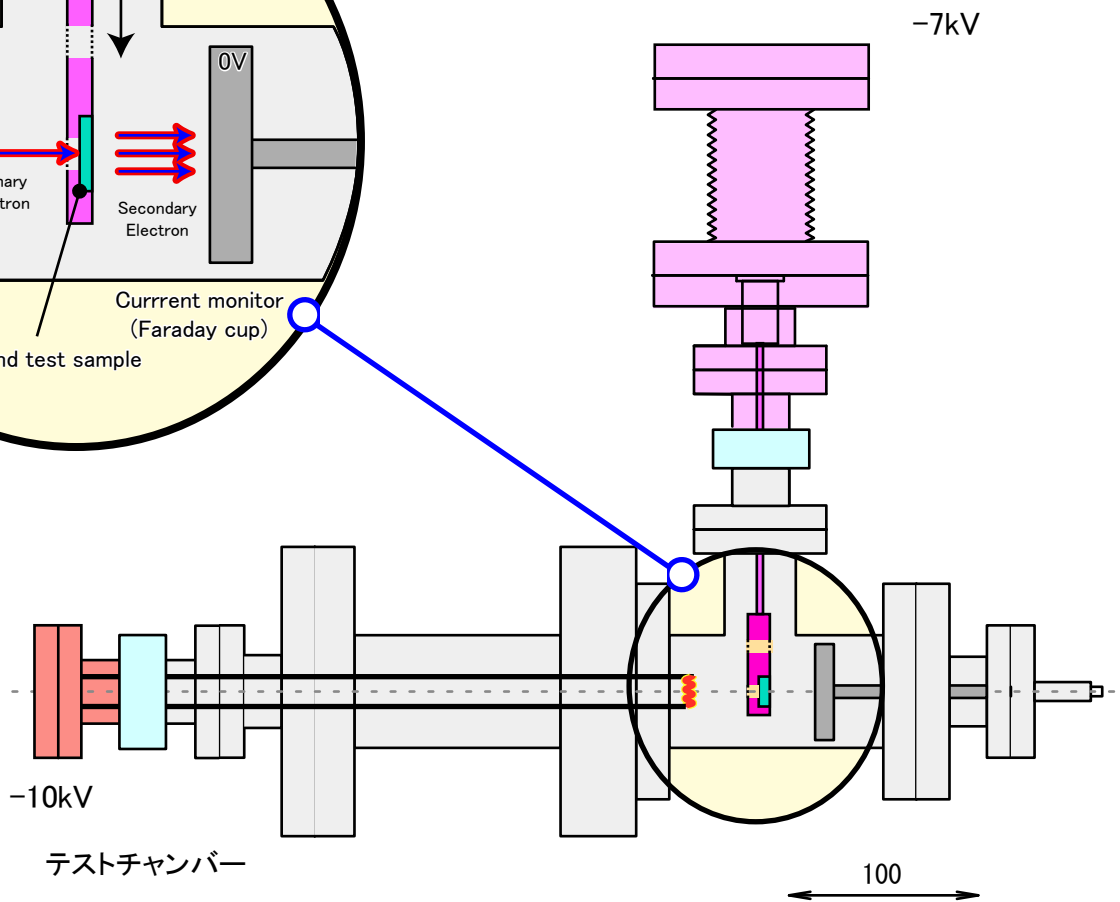
\* バンドギャップ:  $E_g$ は5.5eV  
(GaAsは1.4eV)

# ダイヤモンドを用いた電流増幅試験

3つのサンプルについての電流増幅効果の確認  
→サンプル-電子源間距離、電圧の依存性  
(増幅効果の最適値を探る)



熱フィラメントからの一次電子を  
表面からダイヤモンドに入射し、  
背面から抜けてくる電流を測定

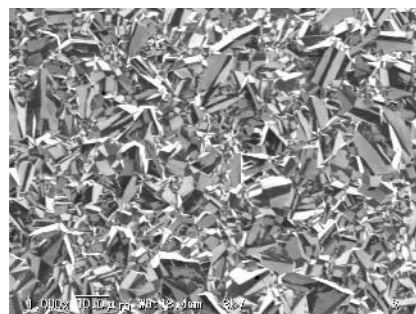




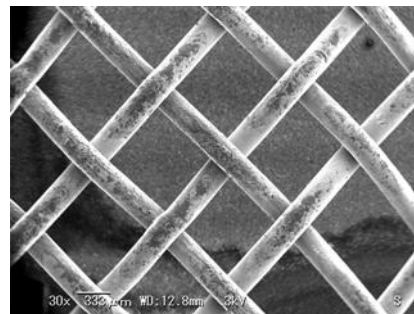
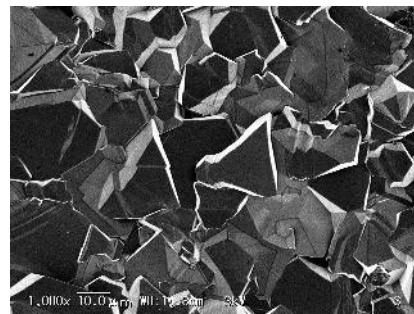
# ダイヤモンド薄膜テストサンプル

## 結晶条件の違う3つのサンプル (表面形状、薄膜層厚、ドーピング)

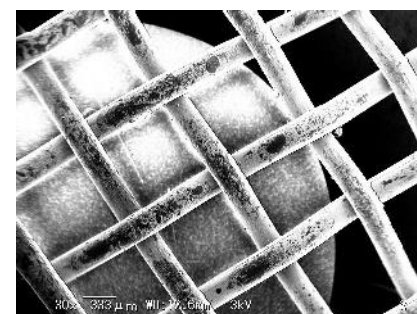
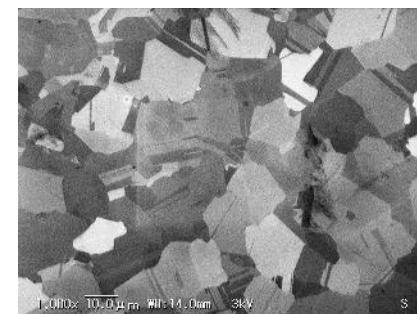
以下の3つのテストダイヤモンドサンプルについて試験を行う。



サンプルⅠ  
層厚 =  $\sim 50 \mu\text{m}$   
B doped  
水素終端表面



サンプルⅡ  
層厚 =  $\sim 130 \mu\text{m}$   
B doped  
水素終端表面



サンプルⅢ  
層厚 =  $250 \mu\text{m}$   
non-doped

\*写真は電子顕微鏡による表面観察

## まとめ

次世代自由電子レーザーの電子源として  
NEA-GaAsフォトカソード電子銃の開発

### NEA-ダイヤモンドを用いた電流増幅

NEA-ダイヤモンドにより、NEA-GaAsが抱える大電流引き出し、  
NEA寿命問題を克服

- ・ 二次電子による電流増幅効果
- ・ 強いNEA表面



### 電流増幅効果試験

電流増幅効果の確認  
最適な電流増幅条件の追求