

## 高性能な電子放出材料表面に関する研究

～ 表面が物質の性質を決める ～

目黒研究室では光電効果により電子放出を起こす材料の表面に焦点を当て、表面形成とその構造解明および高効率・長寿命化を目指した研究を行っています。

### ～ マルチアルカリカソード ～

- 1種類以上のアルカリ金属とSbの化合物から成るフォトカソード。
- 高量子効率、長寿命フォトカソードの特性研究。
- ⇒基板の表面処理による量子効率の向上。

### ～ NEA (Negative electron affinity) 表面 ～

- p-GaAs表面にCsと酸素を交互吸着させること(Yo-Yo法)で得られる表面。
- 表面光吸収法によるNEA表面形成過程のその場観察。
- 走査トンネル顕微鏡を用いたNEA表面の原子スケールでの構造解明。
- 表面微細加工によるナノ・コーンの作成による量子効率向上。

### ～ アルカリ金属の長周期配列構造 ～

- 重合フラーレン結晶表面の負の曲率を用いた金属の長周期配列。
- 重合フラーレン結晶薄膜を作成。
- 蒸着によりアルカリ金属を表面に吸着。
- STMを用いて表面構造の解明を行う。

## 表面光吸収法を用いた NEA 表面活性化機構解明および高効率、長寿命電子線源への応用

SPA法によりNEA表面形成過程を観察し、NEA表面を解明

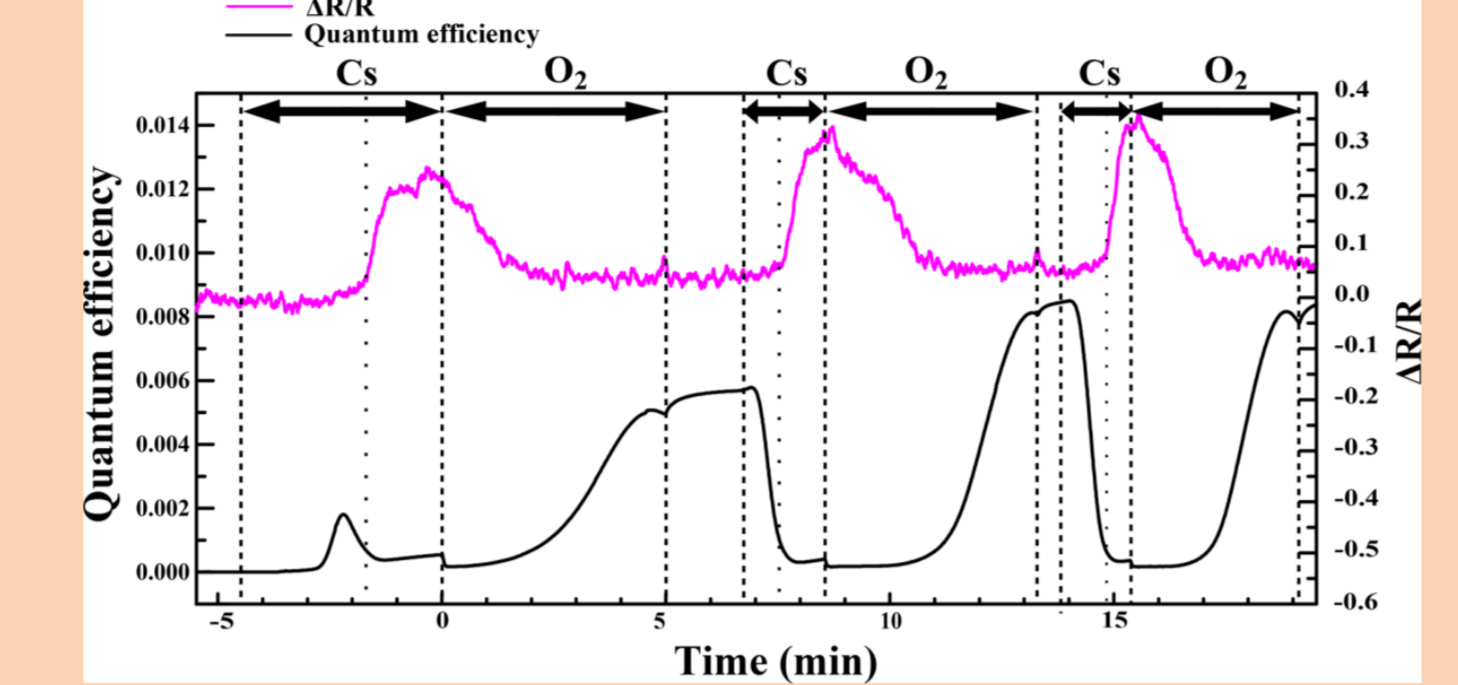
### 表面光吸収 (SPA) 法

- ブリュースター角で試料にp偏光を入射
- 表面状態の変化を単原子レベルで敏感に観察可能

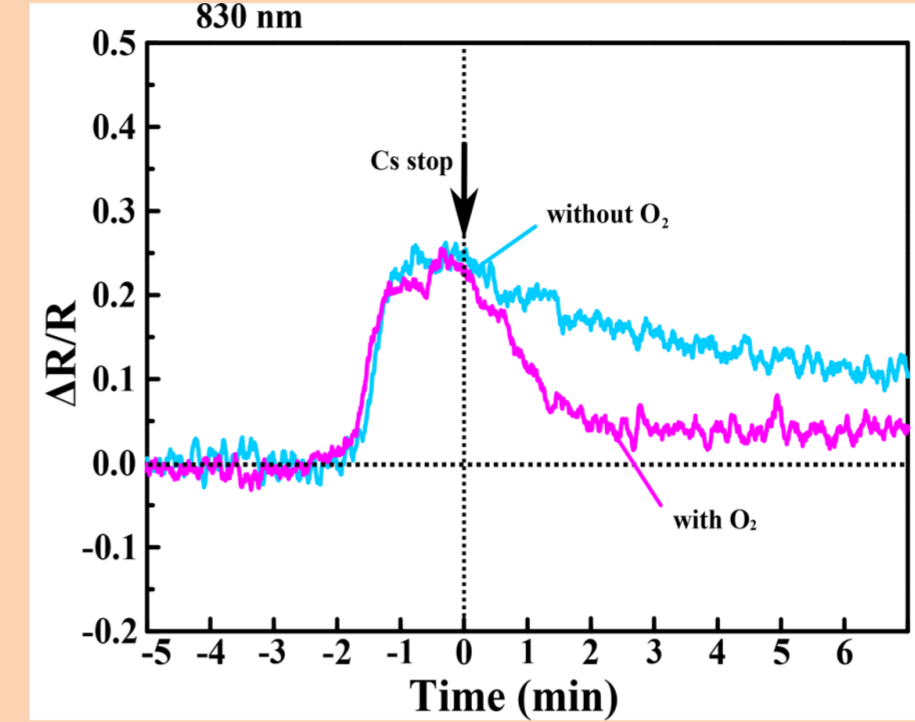
- 劣化しやすいNEA表面の時間変化を観察可能。
- NEA表面の形成過程におけるCsとO<sub>2</sub>の影響を表面原子レベルで観察可能。
- NEA表面形成メカニズム及び表面構造の解明が可能。

高効率・長寿命な革新的電子線源

### NEA表面活性化中のO<sub>2</sub>の効果



p-GaAs上にCsとO<sub>2</sub>を交互供給させたときの量子効率の時間変化



SPAのスペクトル強度の時間変化

Yo-Yo法によるp-GaAs上のNEA活性化中のSPAスペクトルを測定した。1回目のCs供給後にO<sub>2</sub>の供給が有り無しでスペクトルの比較を行った結果、O<sub>2</sub>の供給があることで反射強度が減少している。

O<sub>2</sub>には表面に物理吸着しているCsクラスターを解離し、Ga上のCs吸着サイトを解放させる効果がある。

### 今後の展望

- 加熱処理の条件、CsやO<sub>2</sub>の供給の条件を変えることで、量子効率、SPAのスペクトルの違いを検討し、電子線源の開発に重要な高効率・高寿命をもつ表面状態の解明を進める。

## 超高真空 STM を用いた NEA 表面の構造解析と活性電子放出サイトの同定

### STMによりNEA表面の構造電子放出サイトの解明

### NEA表面の原子スケール構造解析

世界に先駆け電子放出サイトの同定

未踏科学分野、次世代機能材料への挑戦

### As終端GaAs(100) 清浄表面におけるCs吸着とO<sub>2</sub>暴露過程

As終端GaAs(100) 清浄表面

Cs吸着した表面

Cs吸着イメージ

O<sub>2</sub>暴露した表面

O<sub>2</sub>暴露後イメージ

表面全体にCsが広がったように見える。

As終端ではCsがクラスター状で物理吸着

Csのクラスターサイズ減少

バイアス電圧: -2.37~-1.94V トンネル電流: 0.17nA~0.82nA

CsクラスターはAs終端面では物理吸着した。As終端面では電子放出効率が極めて低い。

### Ga-Cs結合が電子放出の要因である可能性

CsクラスターサイズをO<sub>2</sub>が減少させる。酸素によるCsのクラスターの解離

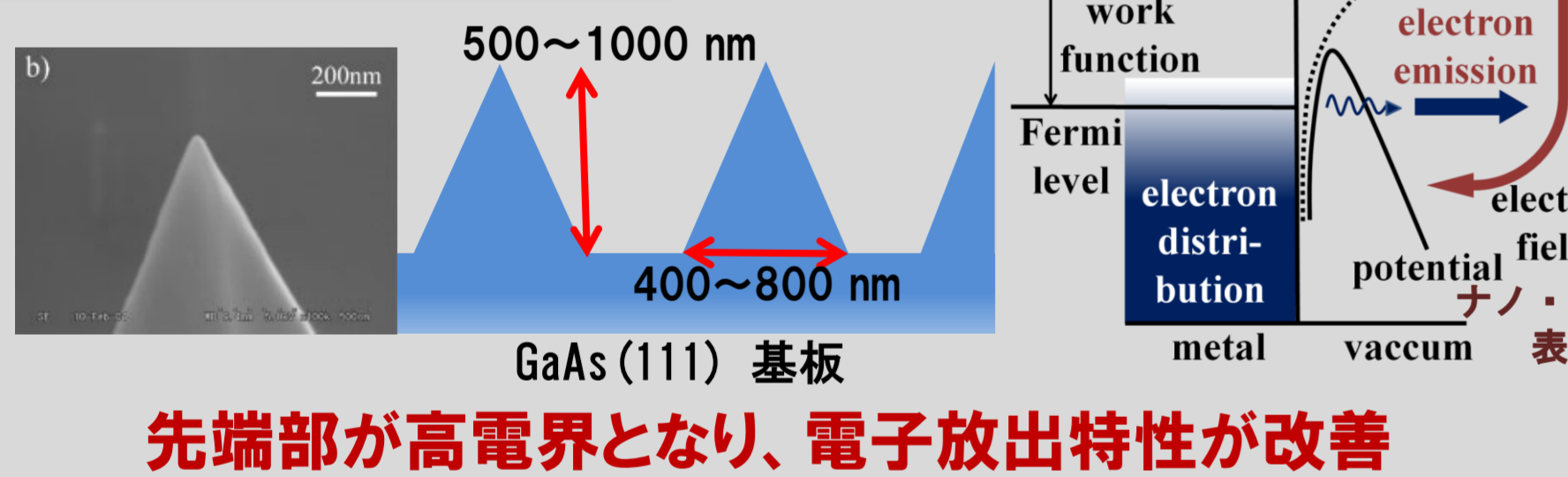
高量子効率、高寿命などより高い機能を有するNEA表面の構造を発見する。

## ナノ・コーン周期構造を有する表面の形成と新奇電子線源の提案

### チャレンジ

表面の粗面化で革新的な電子線源となるか? → 世界的に未踏破の分野 → 先にやった者勝ち!

### ナノ・コーンとは



### 研究設備

[無電解/電解エッチング装置] [イオンビームスパッタ/NEA活性化装置]

Y<sub>o</sub>-Y<sub>o</sub>制御機構

チャンバー

ホルダー制御機構

レーザー照射部

スパッタガス制御機構

イオンビーム発生機構

### ナノ・コーン作成

基板

(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>とH<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)

ナノドットの形成

無電解エッチング

電解エッチング

スパッタリング

エッチング条件を鋭意の確立中!!

NEA表面の活性化

従来: 高温アニール

常温スパッタリング → Y<sub>o</sub>-Y<sub>o</sub>法 → NEA表面

電子放出特性の大幅な改善が見込める!

もビックリ! 世界的な特許なる可能性あり!

## 新奇マルチアルカリカソードの開発研究

### 研究背景

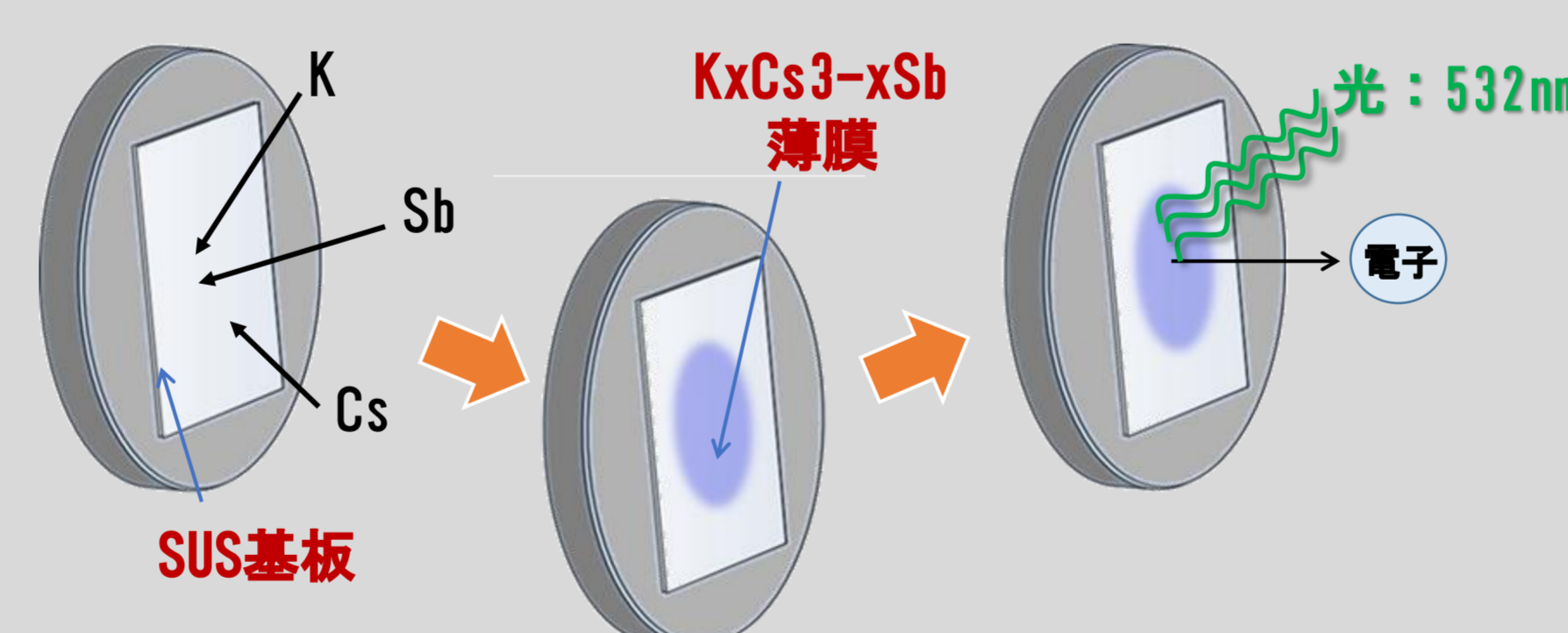
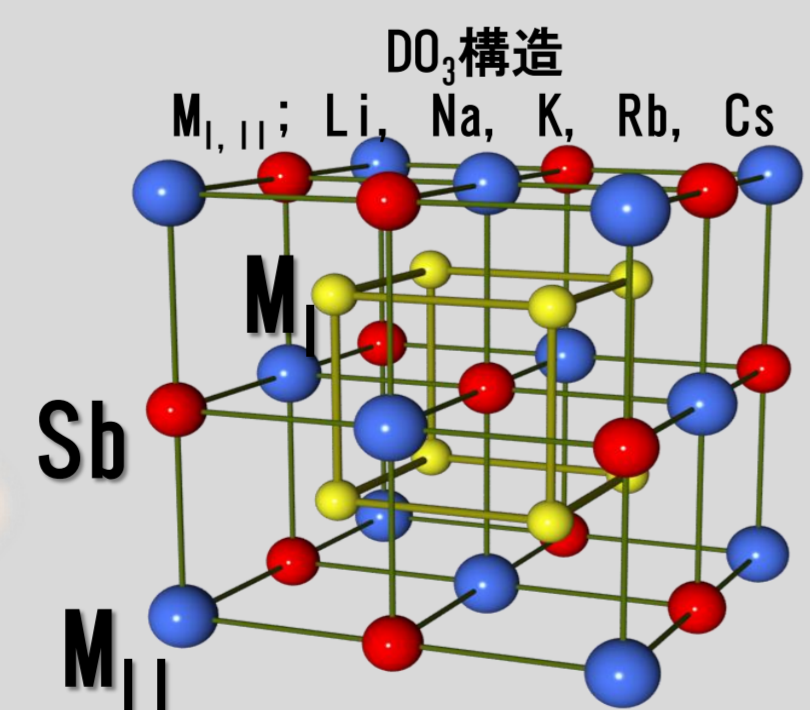
- 表面近傍の電子のふるまい
  - 薄膜の物理
- 我々の研究!

### 高性能電子源

大型加速器  
電子顕微鏡  
半導体リソグラフィ  
etc...

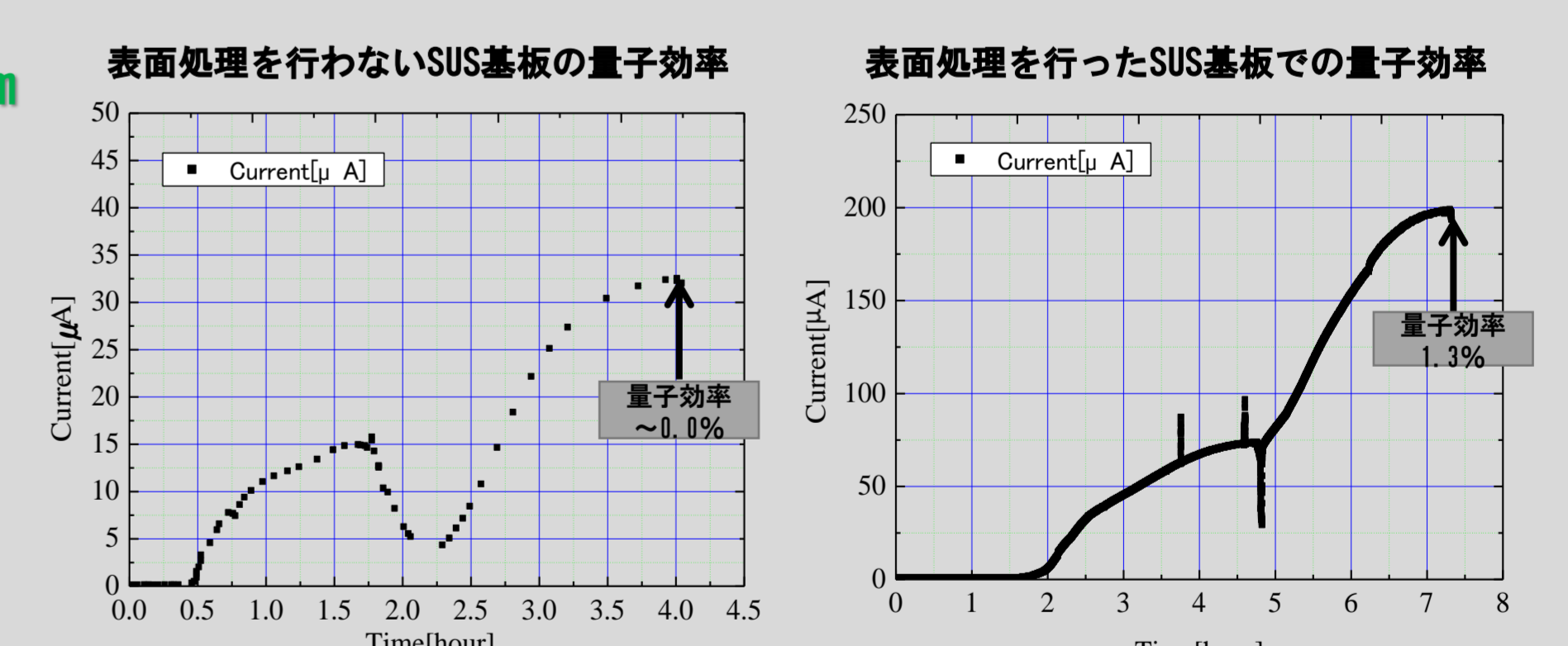
### アルカリ・アンチモンカソード

1種類以上のアルカリ金属(Li, K, Na, Rb, Cs)とアンチモン(Sb)の化合物。Cs<sub>3</sub>Sb, K<sub>2</sub>CsSbなど、M<sub>3</sub>Sbの合金になる。この薄膜は、緑色の光により、電子を励起させることができる。量子効率は高く、寿命も長いカソードとして期待される。



- 加熱処理をしたSUS基板へSbを5nm程度成膜する。
- 基板上へKを成膜する。同時に基板へ緑色LDを照射し、量子効率が最大になるところで通電を止める。
- Csを成膜する。同時に基板へ緑色LDを照射し、量子効率が最大になるところで通電を止める。

### 現状

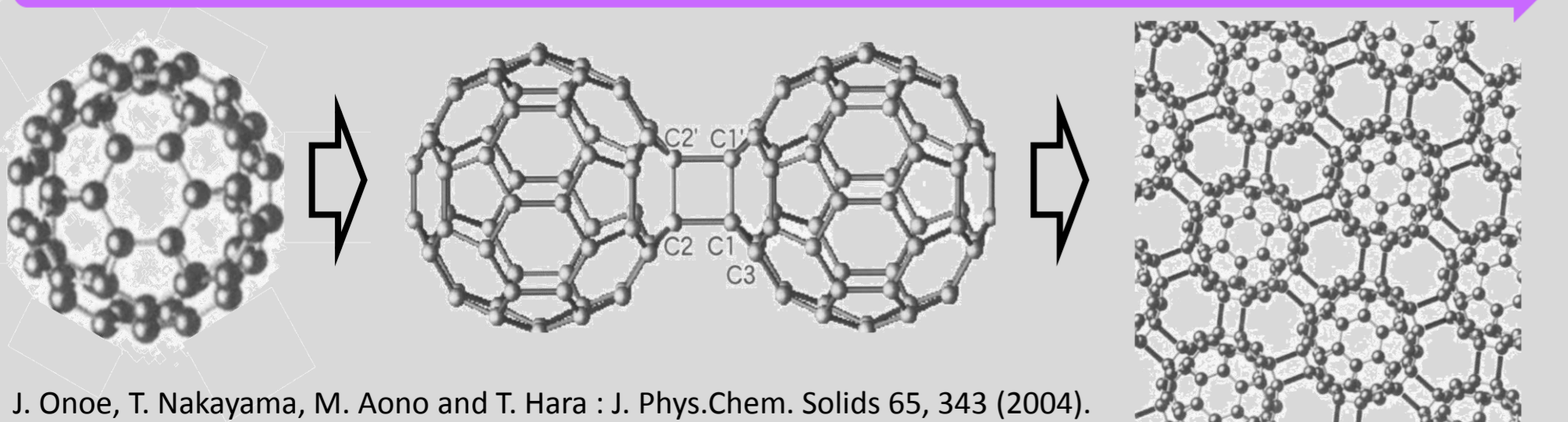


基板の表面処理により、量子効率の違いが現れる。⇒基板の表面依存性が考えられる。表面の状態をSEMで観察する、基板の表面処理方法による量子効率の変化などにより実用化できるアルカリ・アンチモンカソードを目指す!

## 重合フラーレン結晶上におけるアルカリ金属の長周期自然配列構造の研究

～ 金属原子をナノスケールで自然周期配列させることができるか? ～

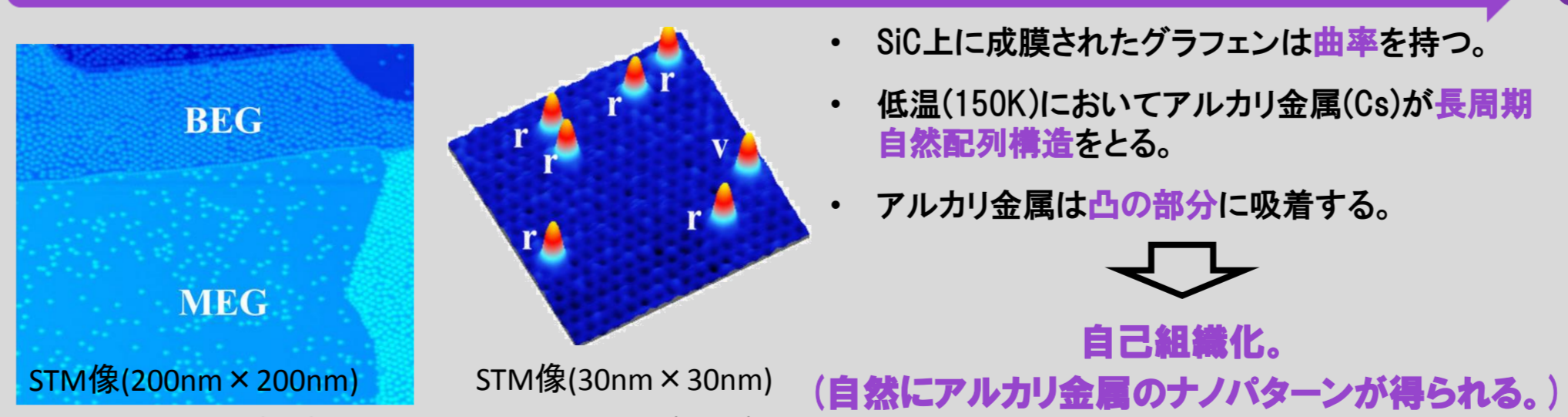
### 重合フラーレン結晶



- 超高真空中(2×10<sup>-7</sup>Pa)でフラーレン粉末をEB(electron-beam)銃を用いて重合化。
- この三次元重合フラーレン結晶を10nm~100nm程度、マイカやシリコン上に成膜する。
- 通常絶縁体のフラーレンが重合することにより電気伝導性を有する。
- 重合フラーレン結晶表面は周期的な負の曲率をもつ。

重合フラーレン結晶表面の周期的な負の曲率を利用

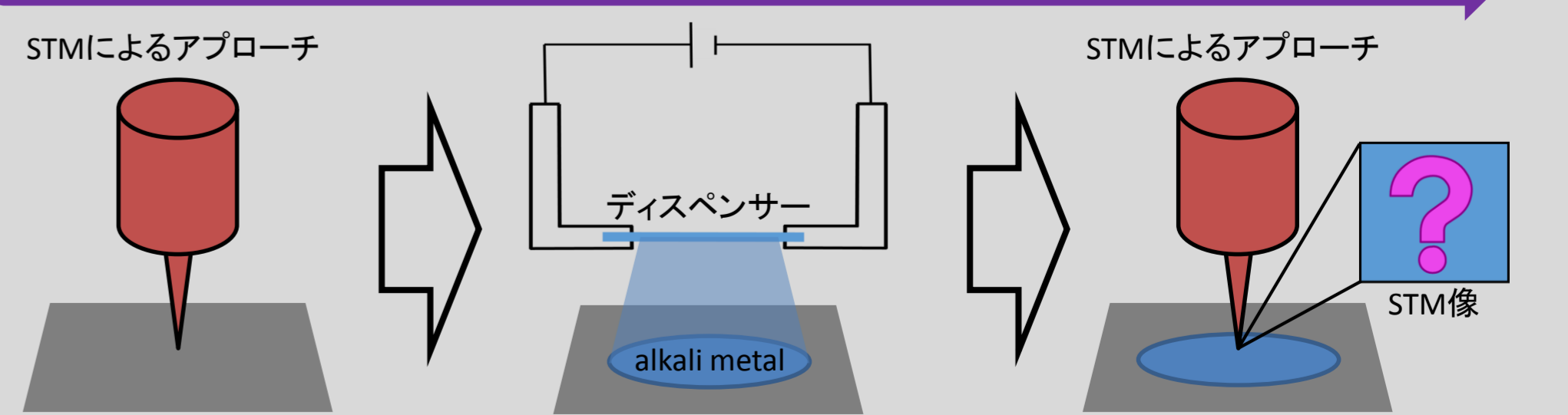
### アルカリ金属の長周期自然配列



- SiC上に成膜されたグラフェンは曲率を持つ。
  - 低温(150K)においてアルカリ金属(Cs)が長周期自然配列構造をとる。
  - アルカリ金属は凸の部分に吸着する。
- SiC上グラフェンでは低温においてアルカリ金属の長周期自然配列が起こる。
- 曲率の大きい重合フラーレン結晶表面ではどのような周期配列をするのか不明である。

常温でのアルカリ金属長周期自然配列の可能性

### STMによるアプローチ



- STM観察では表面の平坦性と電気伝導性の確保が必要なので、伝導性を持ち原子スケールでフラットな試料を用意する。
- 重合フラーレン結晶表面のSTM像を取得する。
- 重合フラーレン結晶表面にアルカリ金属を蒸着させ、ナノパターンを形成させる。
- アルカリ金属を吸着させた表面をSTMを用いて解析。

自然配列したナノパターンを原子スケールで可視化