

ナノ構造制御LaB₆次世代 電界放射電子銃の開発

独立行政法人物質・材料研究機構

材料信頼性萌芽ラボ、一次元ナノ材料グループ

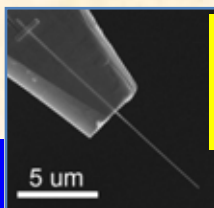
唐 捷

開発背景(次世代LaB6電子銃の開発)



電子源

		輝度 (A/m ² sr)	エネルギー の広がり	顕微鏡 分解能
一世代	熱陰極電子銃 タングステン	10 ⁹	3.0eV	4Å
二世代	熱陰極電子銃LaB ₆	10 ¹⁰	1.5eV	↓
三世代	Schottky電子銃 W/ZrO	10 ¹²	0.6eV	
四世代	電界放射型電子 銃タングステン	10 ¹³	0.3eV	
五世代	冷陰極電界放射型 ナノLaB ₆ 電子銃	~ 10 ¹⁴	~ 0.2eV	<1Å

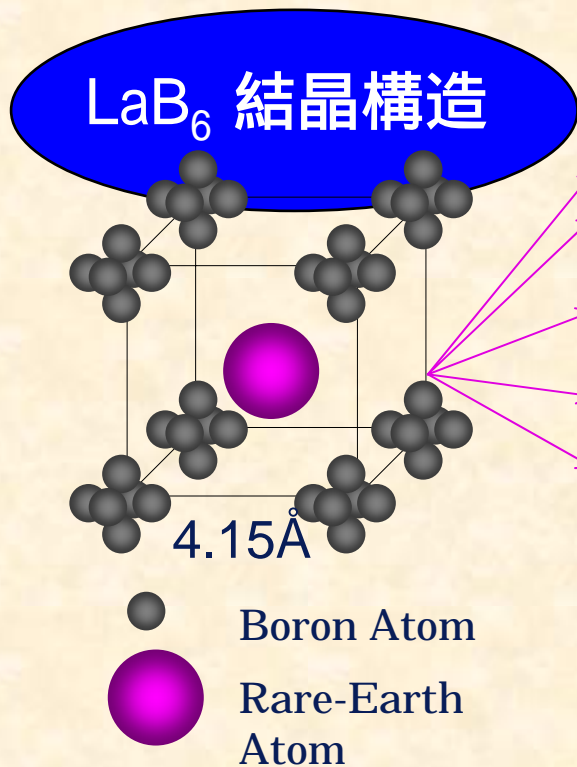


開発目標

要素技術プログラム、一般領域、電子銃

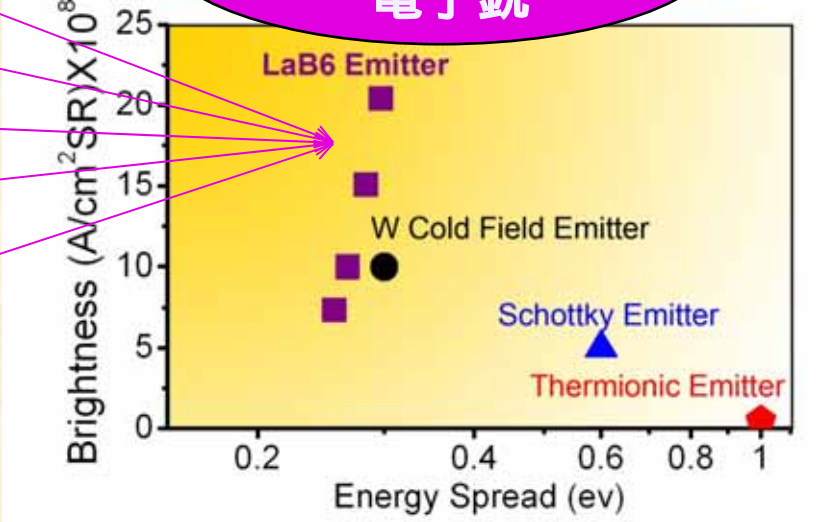


なぜ LaB6?



- 仕事関数が小さい
- 化学的に安定
- 高硬度
- 融点が高い
- 導電率が高い

電界放射型LaB₆電子銃



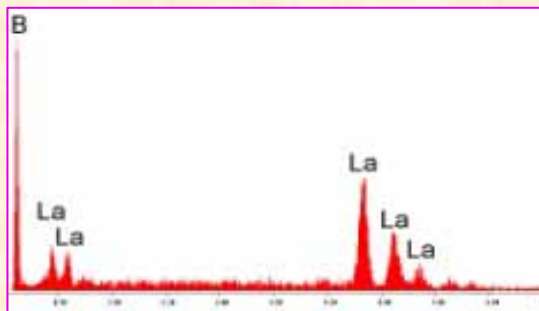
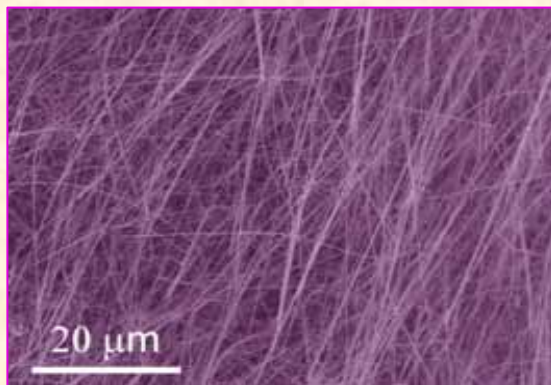
目標

LaB6ナノ構造 冷陰極電界放出型電子源の開発

開発内容 ナノ構造単結晶LaB₆材料の作製

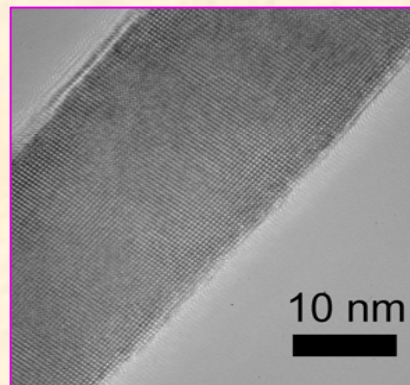
良質単結晶ナノワイヤの作製法の確立

SEM Study

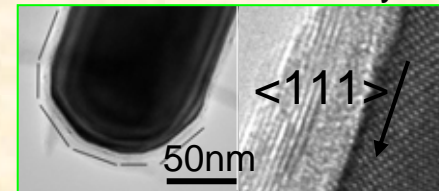


High Quality LaB₆ nanowire growth without any impurity

TEM Study

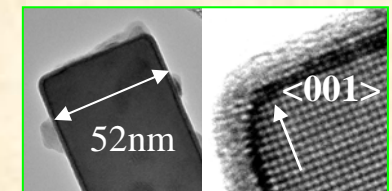


Fe Metal as Catalyst



<111> Orientation

Pt Metal as Catalyst

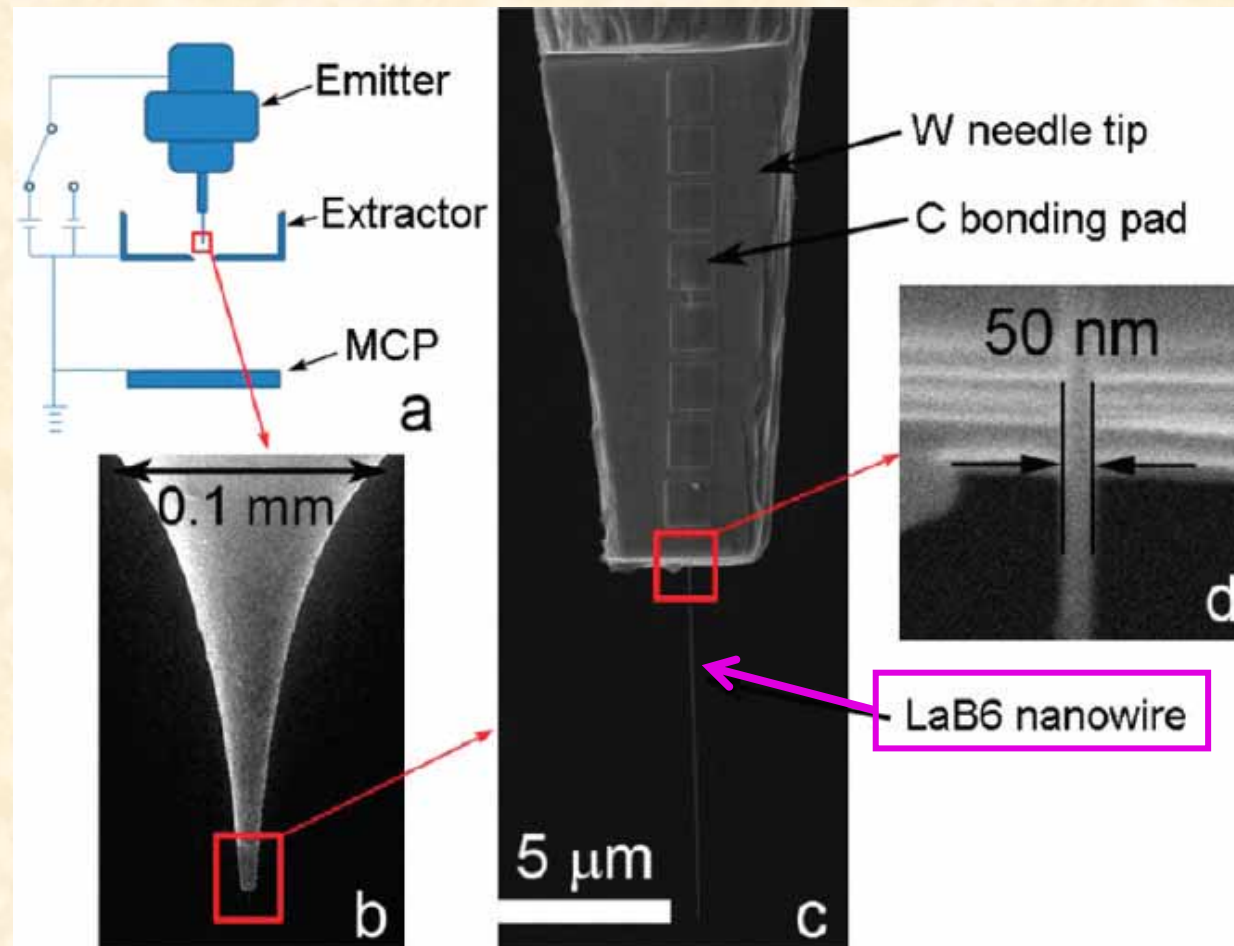


<001> Orientation

- 基板上的触媒粒子の形状と分布の制御
- LaやBの塩化物の導入量の制御

自然成長されたナノワイヤの結晶方位・結晶面の制御を行うことに成功した。

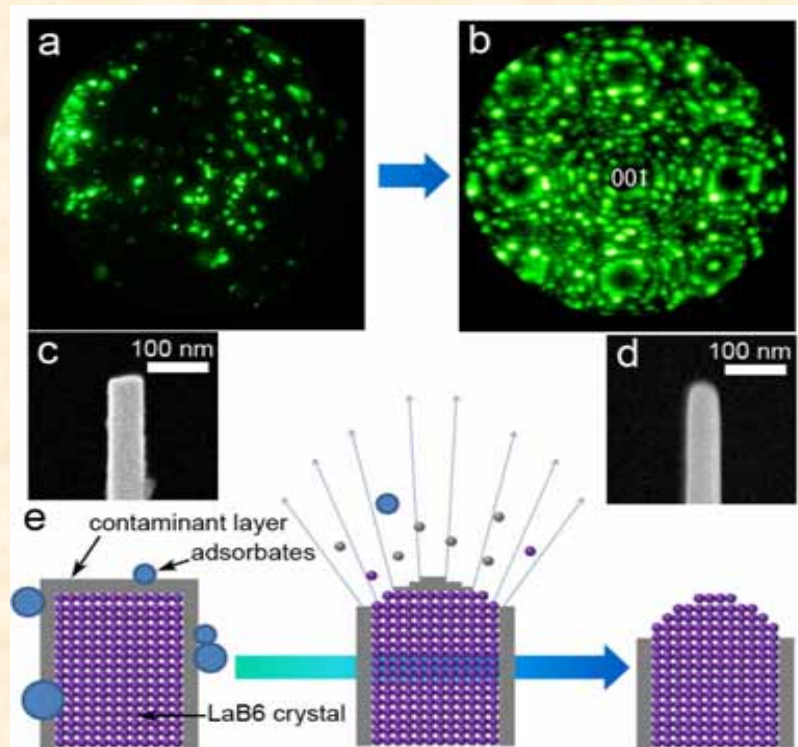
作製されたLaB₆ナノ構造電子源



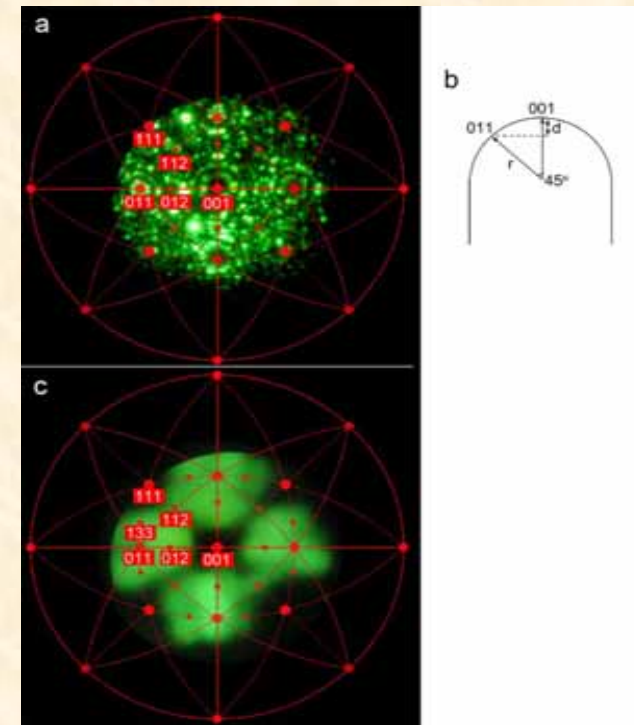
A Controllable Process Yielding Desired Structure

ナノワイヤー電界放射電子源表面の清浄化法の開発

電界蒸発による表面清浄化

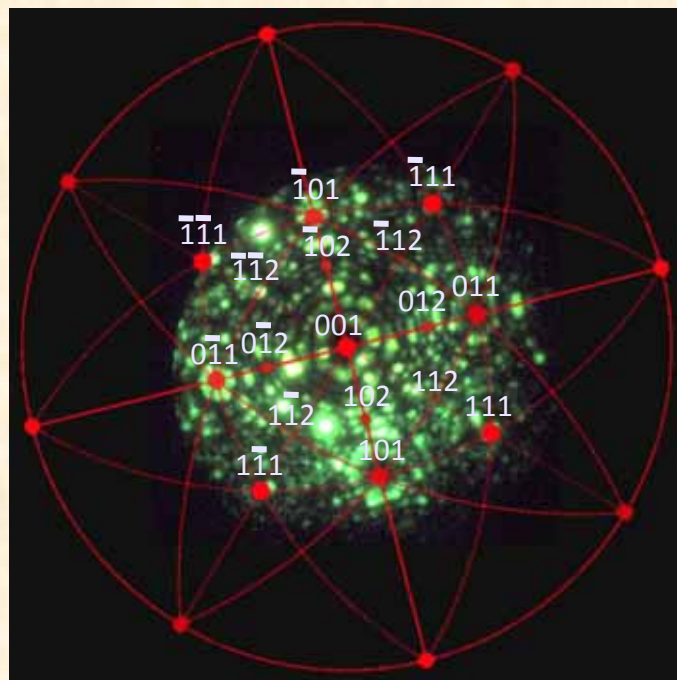
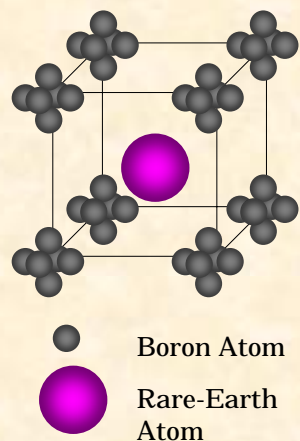


LaB₆単結晶ナノワイヤ電子源表面が電界蒸発によりクリーニング化され明瞭となった電界イオン顕微鏡像(a,b)と電界蒸発清浄化により最適化された電子源先端の走査型電子顕微鏡写真(c,d)とクリーニング過程を示すイラスト(e)

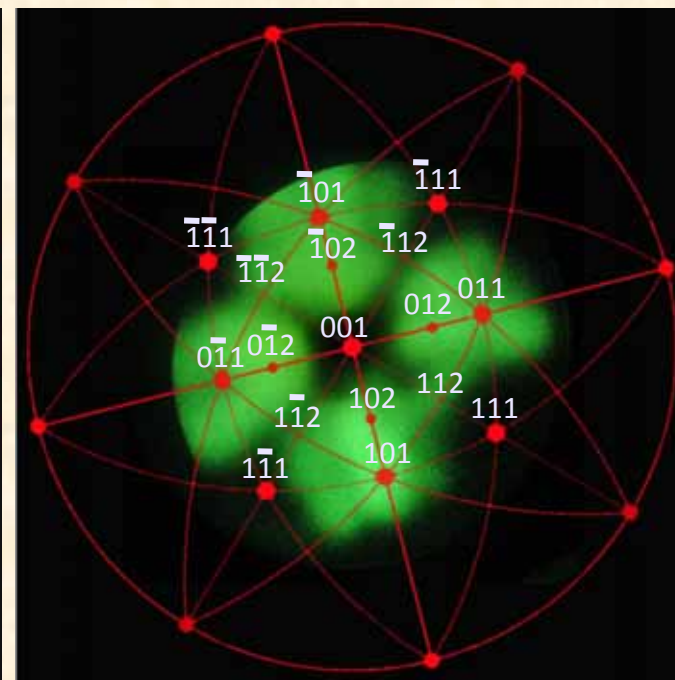


(a)電界イオン顕微鏡像
(b)チップ先端の結晶面方位
(c)電子源の電界放出電子像

結晶面の指数付け



FIM image



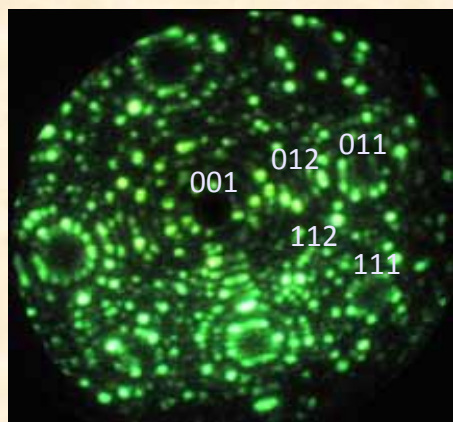
FEM image

Simple cubic lattice, (100) orientation

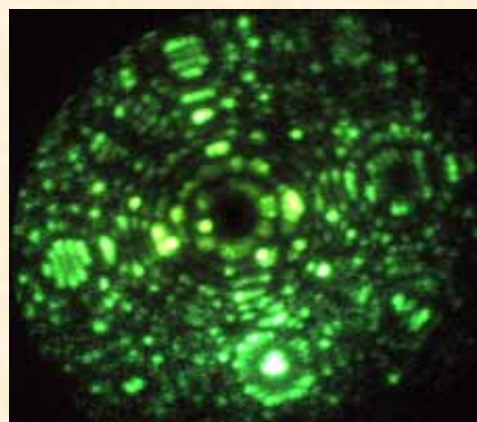
LaB6 Crystal Planes	Work Function
(210)	2.55 eV
(100)	2.60eV
(110)	2.65eV
(111)	2.90eV

**FIMパターンとFEM像で同一の指数付けができた。
→ 清浄表面を達成。**

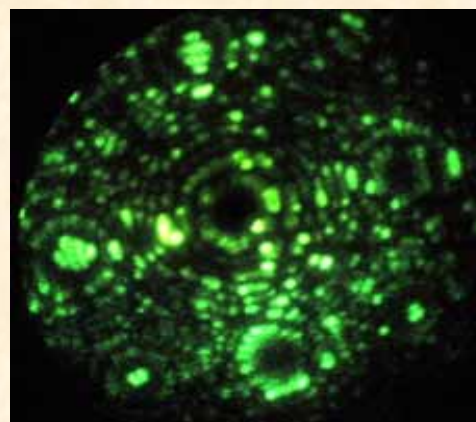
FIMイメージの時間安定性



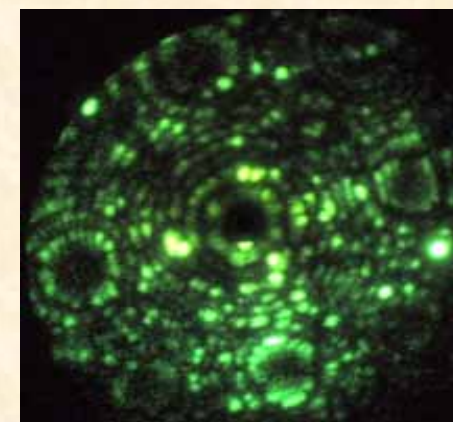
Starting



After 1 hour

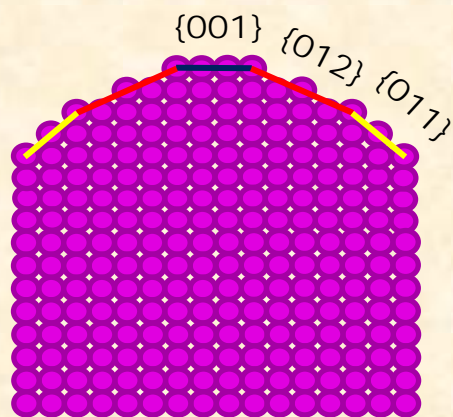


After 2 hours



After 3 hours

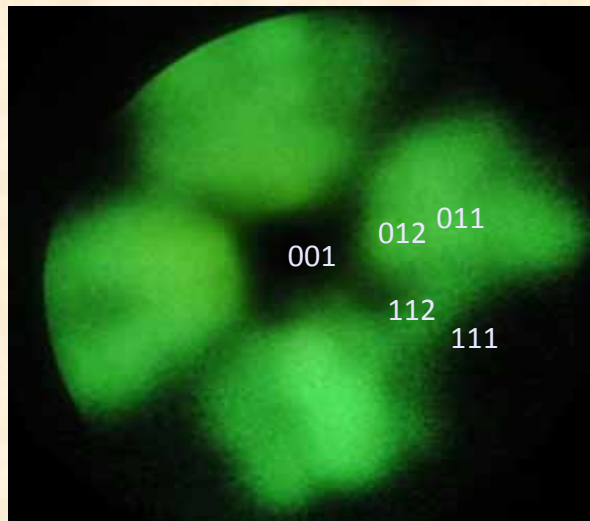
1.2E-5 torr, 3kv, 77k, H₂ imaging gas



電界蒸発後の
LaB6ナノワイヤ

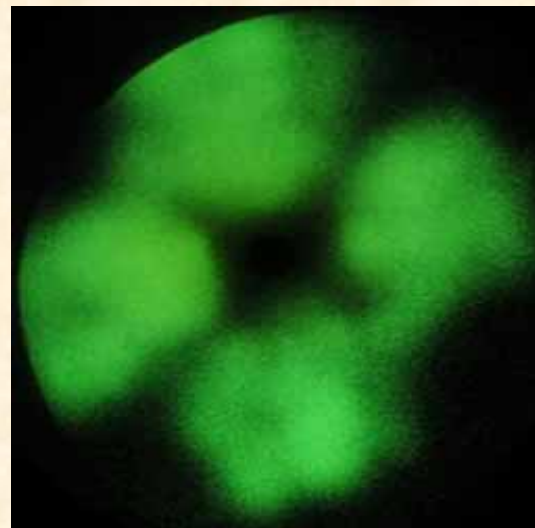
FIMイメージは3時間後も安定

電界放出イメージの安定性

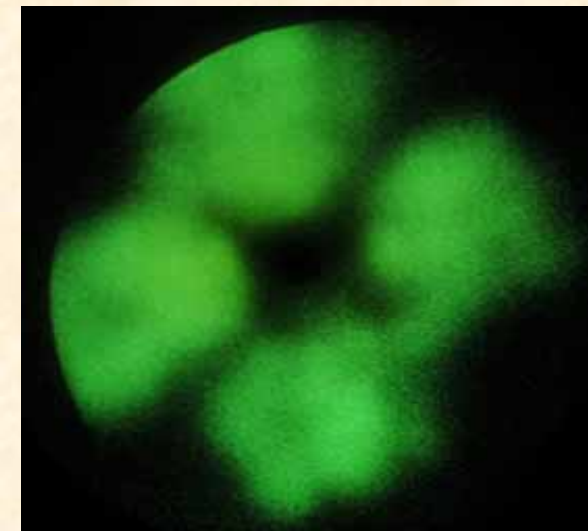


Starting

3.3-3.7E-9 torr, 500v, 77k



After 1 hour

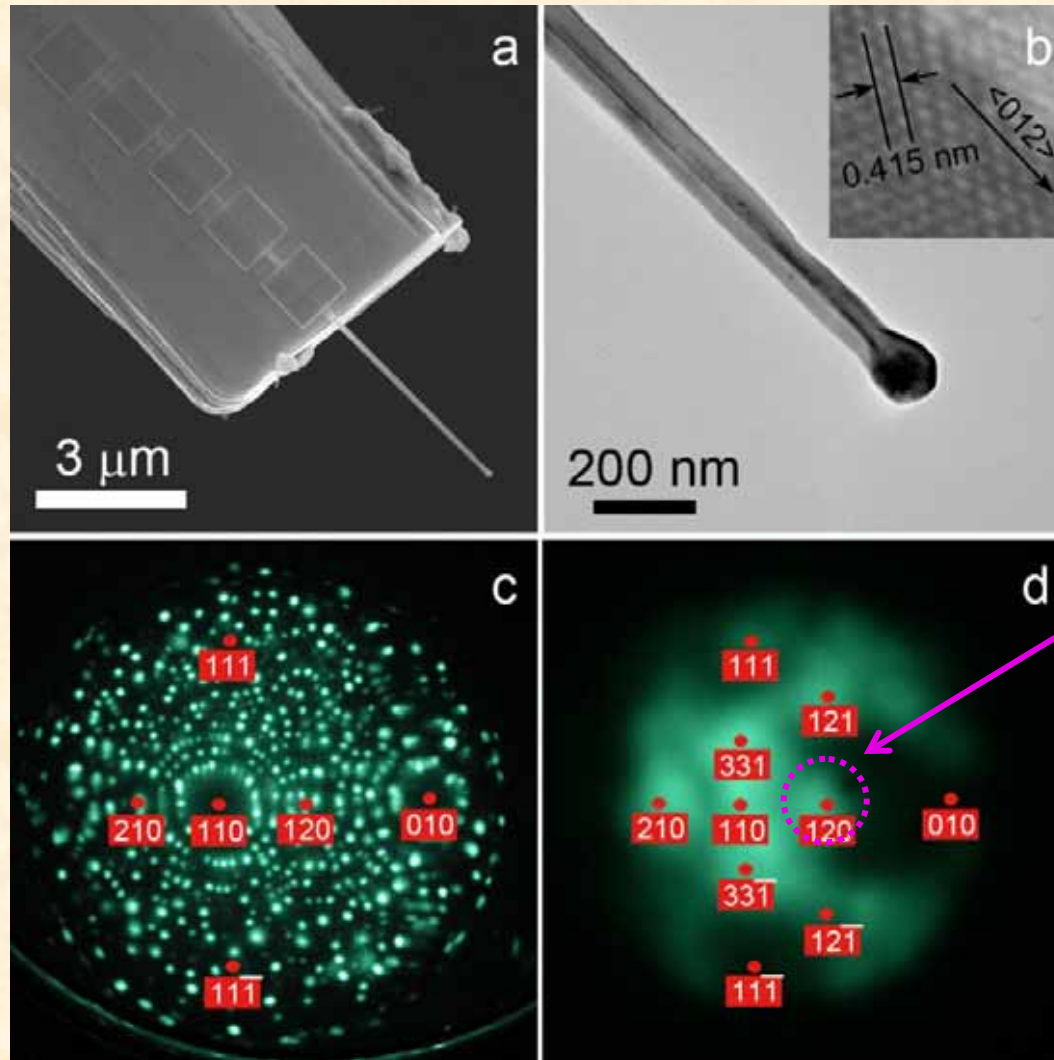


After 2 hours

FEMイメージは2時間後も安定

結晶方位と輝度

(210) oriented LaB6 nanowire emitters



(210)方位単結晶ナノワイヤのTEM像

ナノワイヤ先端中心領域

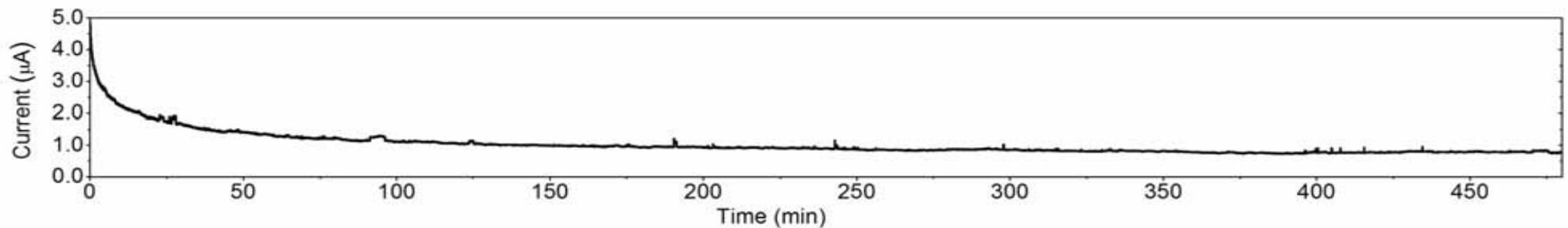
(210)結晶方位によって、得られた電子源の電界放出電子像。中心の輝度が高くなっている。

ナノ構造LaB₆エミッタの電流安定性



Durability Test

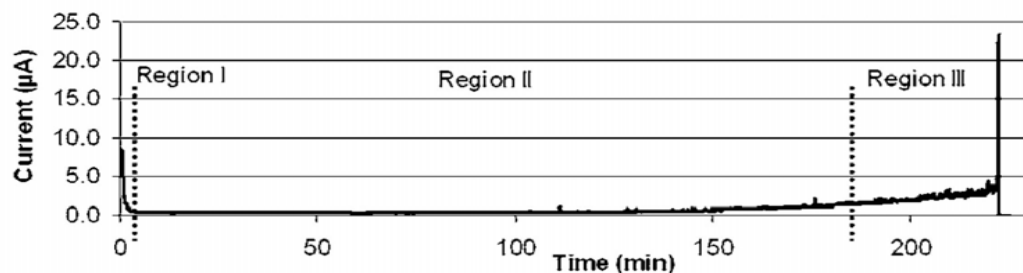
LaB₆ NW emitter



1.5E-9 torr; $I_t=1\mu\text{A}$; $V_e=1.9\text{kv}$

W emitter

良い電流安定性が得られた。



4E-9 torr; $I_t=200\text{nA}$; $V_e=10\text{kv}$

K.S.Yeong & J.T.L. Thong, J. Appl. Phys.
99, 104903 (2006)

まとめ



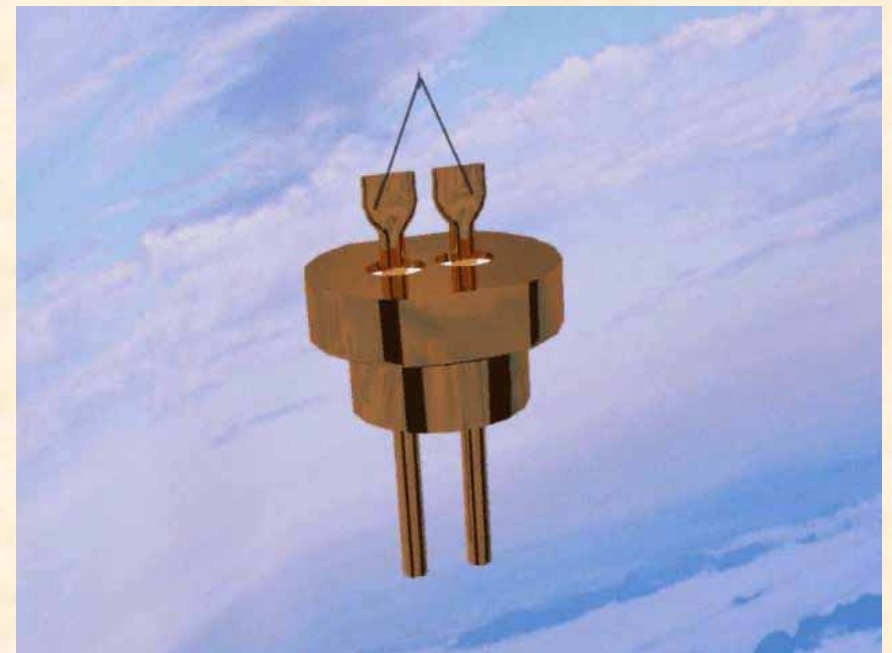
ナノワイヤ LaB_6 エミッタの放出電流は、 $1\mu\text{A}$ が達成された。

ナノワイヤ LaB_6 エミッタの電流時間安定性は、8時間、保持された。

ナノワイヤ LaB_6 エミッタの電流の変動は同条件下で使われているW冷陰極エミッタより小さい。



ナノワイヤ LaB_6 は冷陰極エミッタとして有望。



従来技術とその問題点

電子顕微鏡の分解能が向上することは
輝度、
電流安定性、
の向上が望ましい。

新技術の特徴・従来技術との比較



仕事関数が低く、高温でも高硬度等の優れた電子源特性をもつ六ホウ化ランタンをCVD法により、単結晶ナノワイヤーとすることにより、世界で初めて電界放射電子源とすることに成功した。

本技術の適用により、現在、最高の電子源の輝度より10倍以上となり、ビームの広がり半分以下に細く絞れることが期待される。

想定される用途

- 透過型電子顕微鏡；
- 走査型電子顕微鏡；
- 電子線描画装置；
- マイクロX線医療機器；

想定される業界



電子顕微鏡の分解能が向上することは、それだけで、広範な科学技術分野に大きなインパクトを与える。

高輝度の細く絞れた電子ビームは半導体の製造に必要な電子ビーム描画装置の性能も格段に向上させる。科学技術への貢献だけでなく、エレクトロニクス産業や電子顕微鏡等の計測機器メーカーの競争力の向上に大いに役立つ。

さらには、細く絞れた電子ビームでX線を容易に発生させることにより、各種の小型で高性能なX線計測装置開発に貢献する。ガン細胞の検出、小型のMRIなど、医療機器の性能向上も貢献すると考えられる。

企業への期待

冷陰極電子源及び電子顕微鏡の製造技術を持つ、企業との共同研究を希望。

また、新型電子源を開発中の企業、電子源顕微鏡応用分野への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と期待される。



本技術に関する知的財産権

発明の名称：希土類六ホウ化物冷陰極
電界放出型電子源

出願番号：特願2009-101794

出願人：物質・材料研究機構

発明者：唐捷、張晗、
秦禄昌、新谷紀雄



お問い合わせ先

物質・材料研究機構、材料信頼性萌芽ラボ、
一次元ナノ材料グループ
唐 捷

T E L 029 - 859 - 2728

F A X 029 - 859 - 2701

e - mail tang.jie@nims.go.jp