

川上研究室

量子機能工学講座 光材料物性工学分野

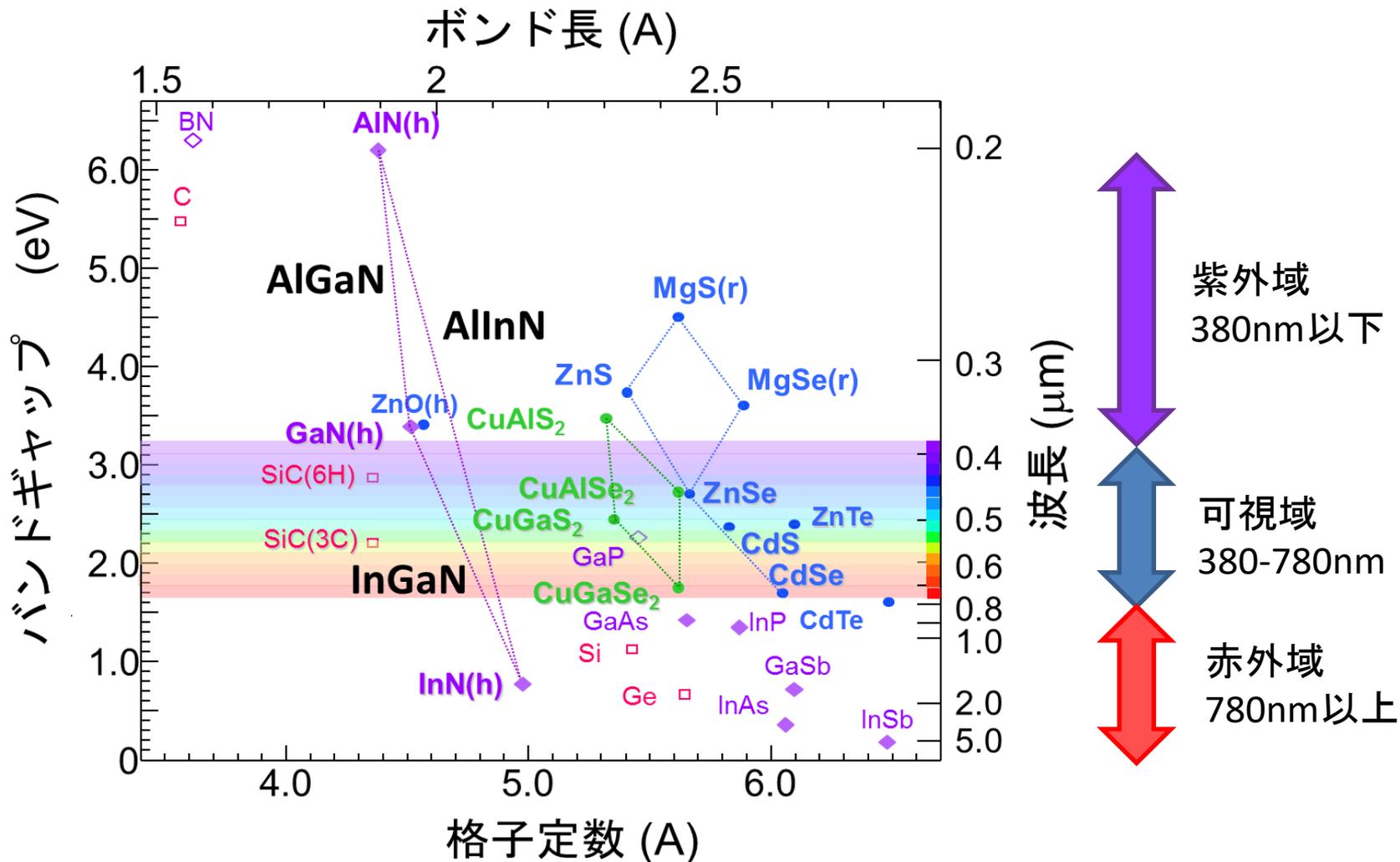


<http://www.optomater.kuee.kyoto-u.ac.jp/>

研究室では、**新しい光デバイスの開発**や**基礎光物性研究**を推進。
そのキー材料は、**ワイドギャップ半導体**であり、GaN(窒化ガリウム)
をベースとした**窒化物半導体**や**ダイヤモンド**などがあげられる。

ターゲットとするワイドギャップ半導体材料

- (a) GaN系窒化物系材料 (b) SiC系材料 (c) ZnO系酸化物材料
 (d) ダイヤモンド (e) その他 II-VI系など



ワイドギャップ半導体光子デバイスが拓く未来

省エネ・低炭素化・高度情報化: 21世紀を支える光・電子素子

窒化物(GaN)・炭化物(SiC)・酸化物(ZnO)・ダイヤモンド(C)

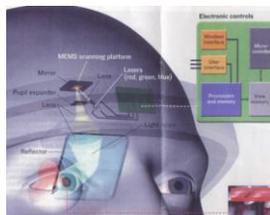
グリーン・イノベーション

可視発光デバイス

LED
電球



イルミネーション



ディスプレイ応用

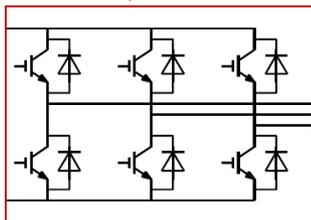
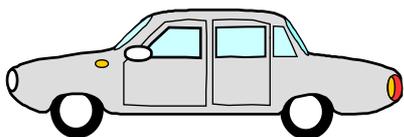


植物工場光源

パワーエレクトロニクス

HV/EV

インバータ

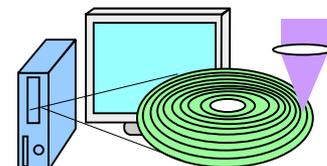


情報イノベーション

短波長・超高速光電子デバイス



移動体
通信



高密度情報記憶

THz: ISBT 高速光通信

ライフ・イノベーション

紫外光源・広波長域光デバイス

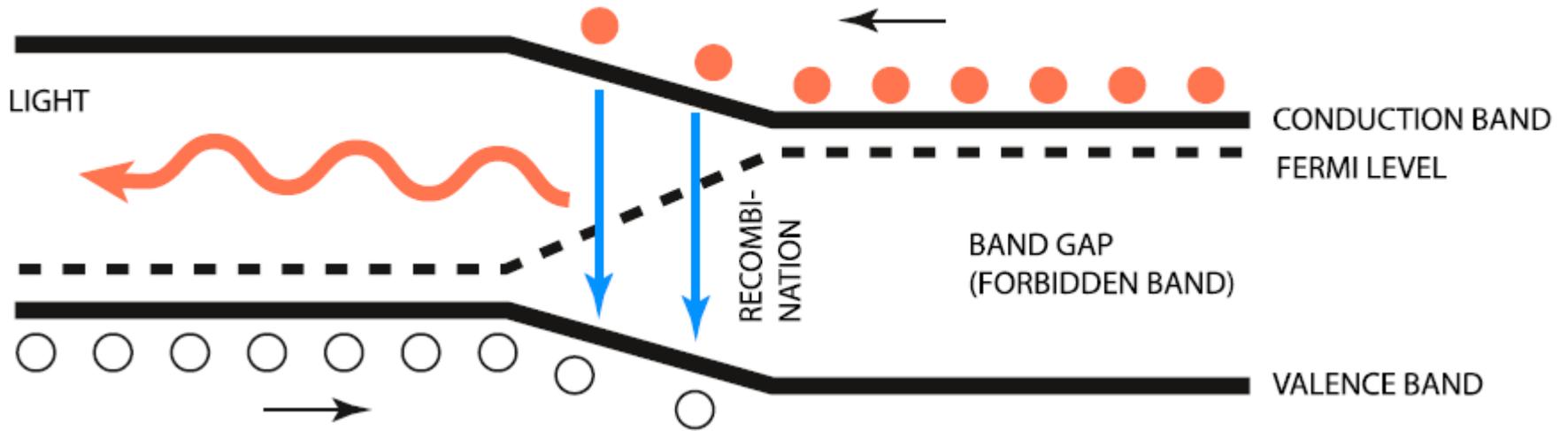


バイオ・医療・環境

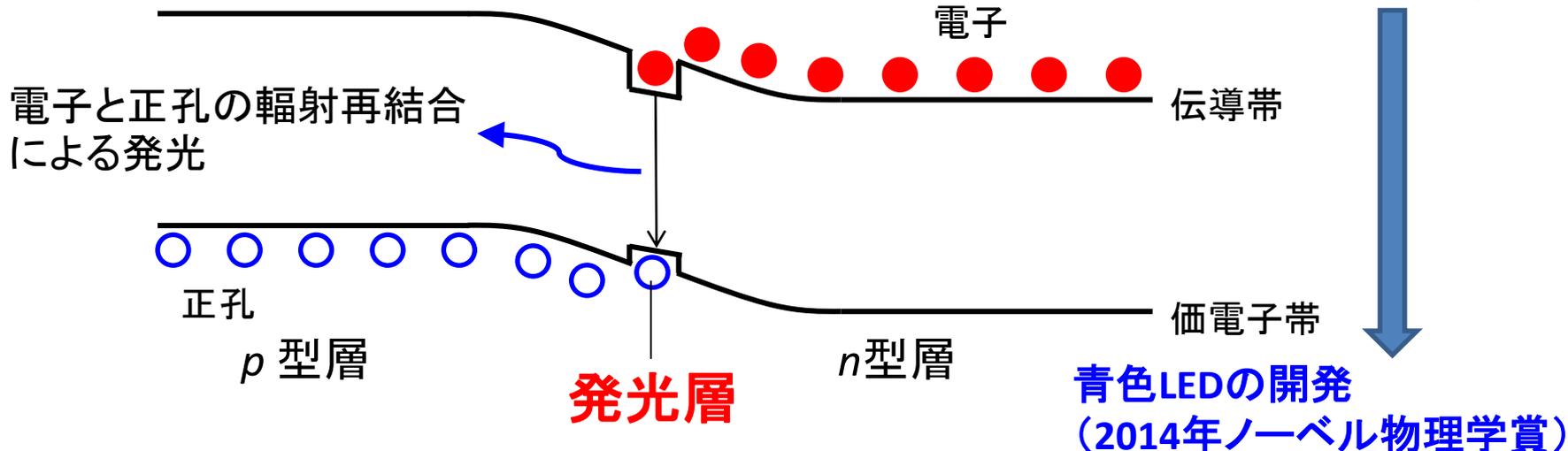


高効率太陽電池

LED(発光ダイオード)の原理

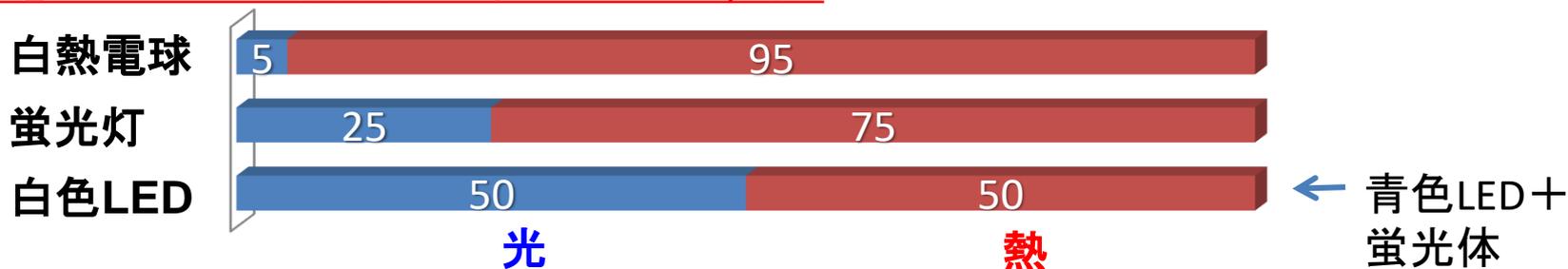


実際には、高効率発光させるため、異種の半導体を積層した**半導体ヘテロ構造**
(2000年ノーベル物理学賞)



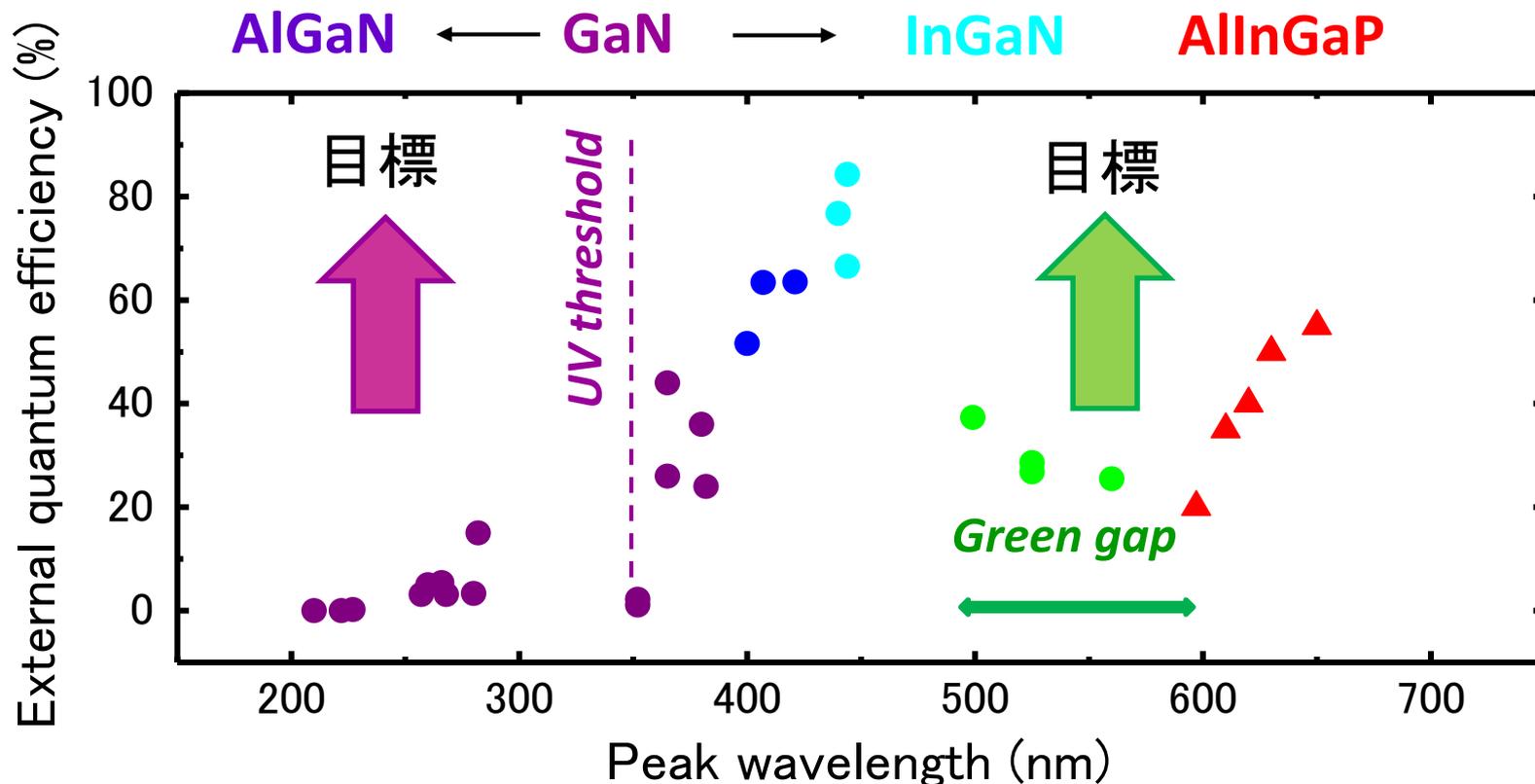
LEDの現状と課題

総電力の25%は照明(日本:250TWh/年)

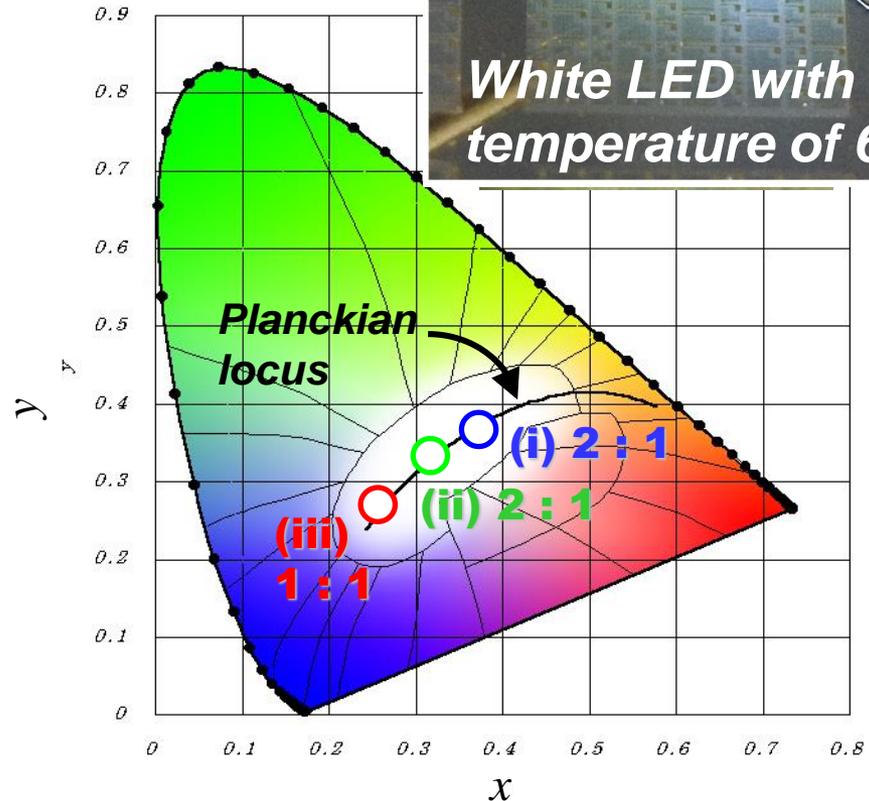
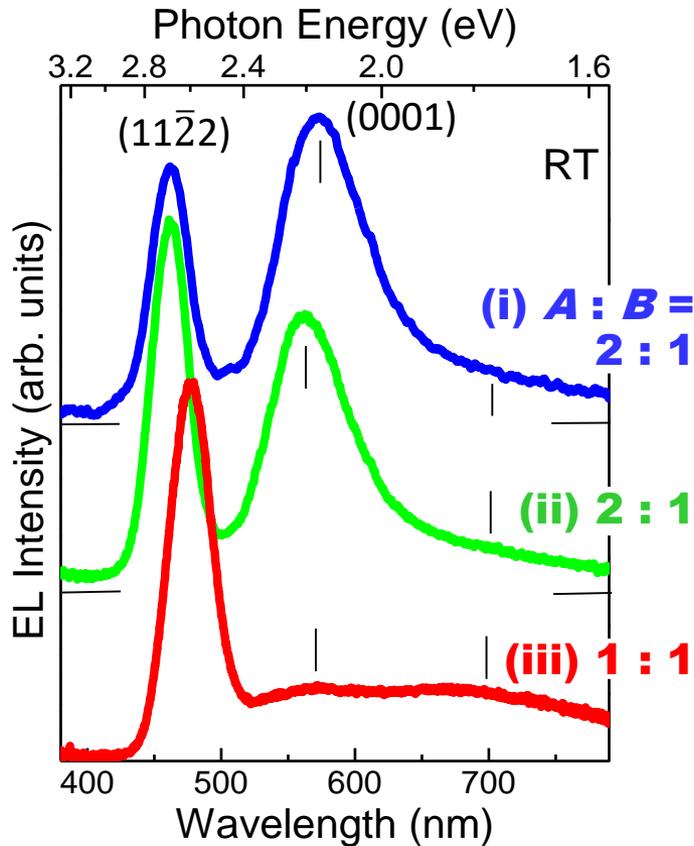
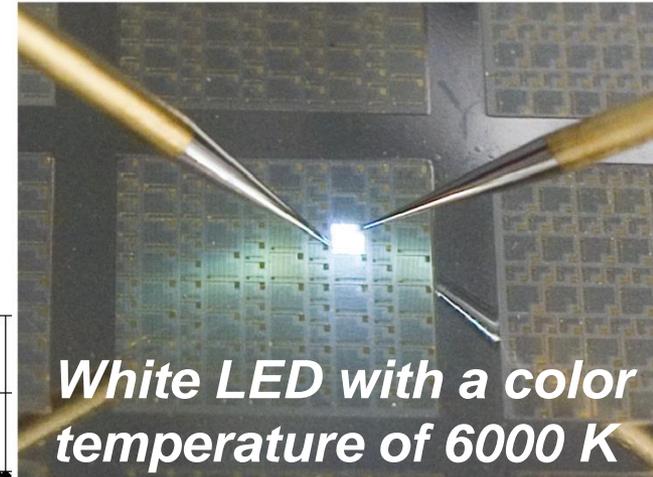
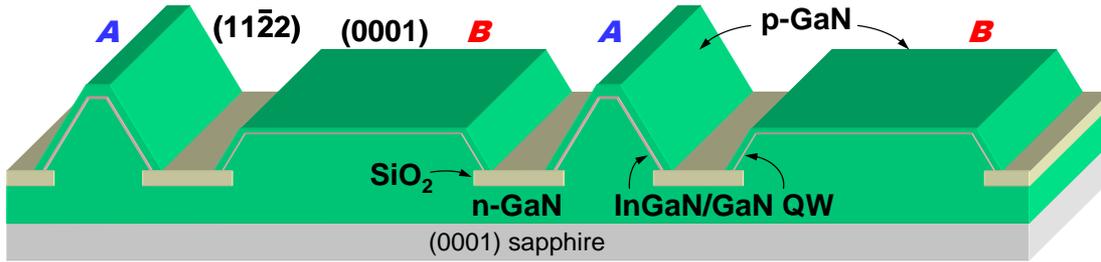


Green gapの解決 → 超小型ディスプレイ, RGB型オールLED照明

UV thresholdの解決 → 微細加工, 表面改質, 殺菌, バイオ応用



3次元InGaN量子井戸による白色LED(世界初)



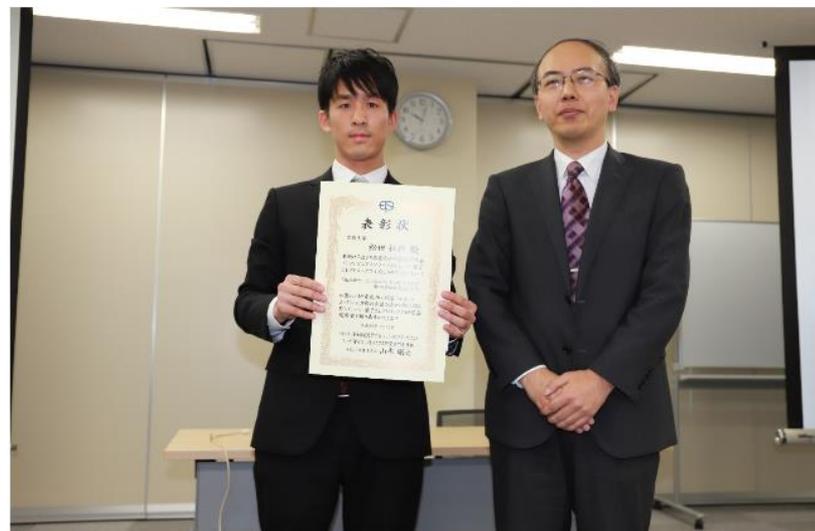
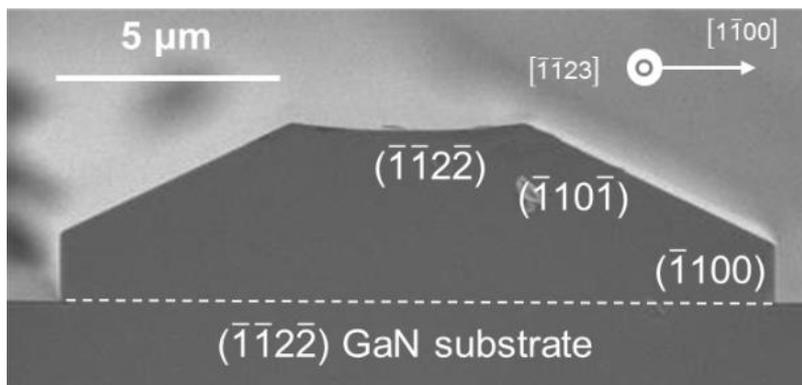
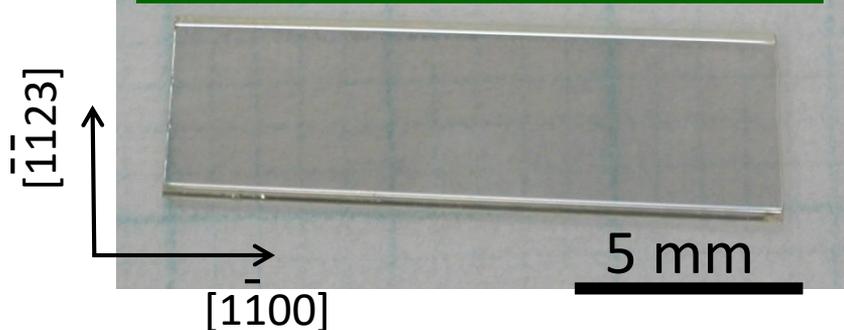
M. Funato et al. *Appl. Phys. Exp.* 1, #011106 (2008).

学生の活躍：新3次元構造から多発光色を実現

新3次元構造

$(\bar{1}\bar{1}2\bar{2})$ 半極性面上に作製

$(\bar{1}\bar{1}2\bar{2})$ 半極性バルクGaN基板



松田 祥伸 氏 (M2, 現D2)
電子情報通信学会LQE奨励賞
を受賞しました。



どのような夢を持って研究しているか: **テーラーメイド照明**

外科手術照明



カプセル内視鏡

オプトジェネティクス



可視光通信技術



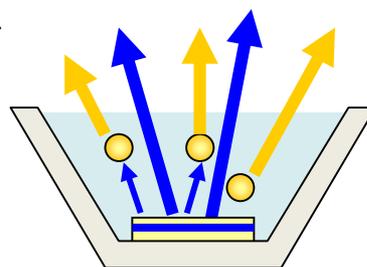
テーラーメイド照明

所望の物体色に制御するために
発光スペクトルを合成,
各発光波長のオンオフを高速変調
発熱が殆ど無い**テーラーメイド照明**
は、**次世代照明(高演色・省エネルギー)**に大きく寄与

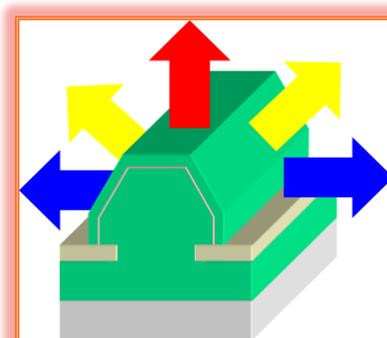
さらには、**医療・バイオ応用**や
光情報処理などに革新をもたらす。

(良)

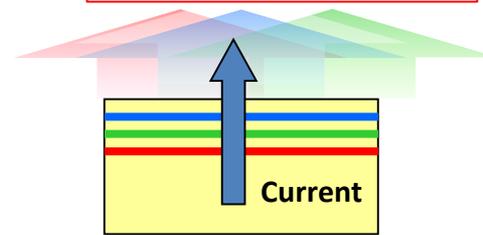
発光強度の制御性



LED + 蛍光体



InGaNマルチファセット



積層量子井戸

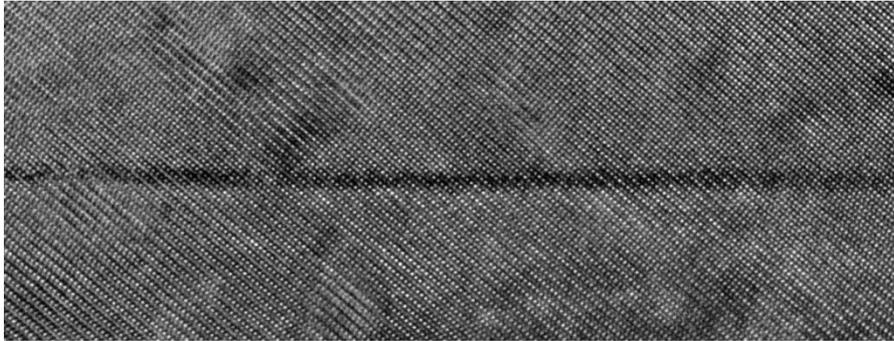
(悪)

(悪)

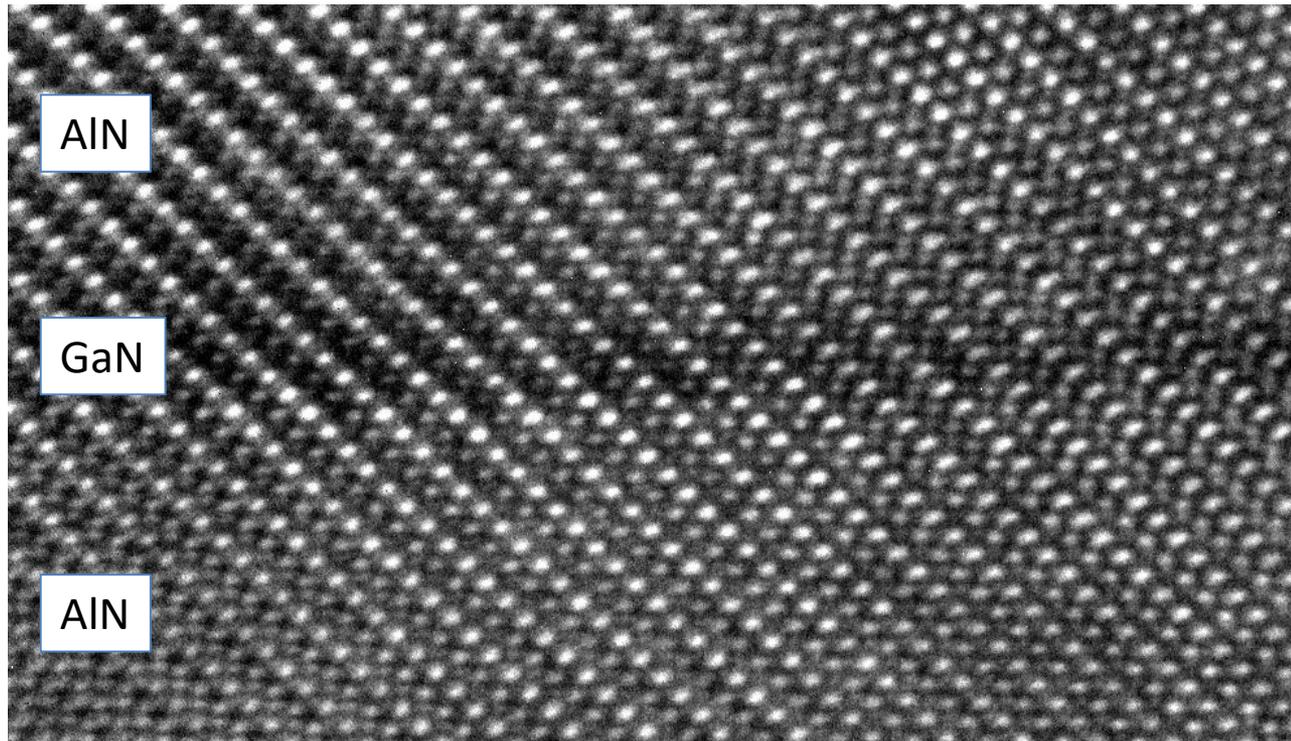
発光波長の制御性 (良)

新しい波長フロンティア： 深紫外発光素子を目指して

原子レベルで制御された界面：AIN/GaN量子井戸（一例）



5 nm

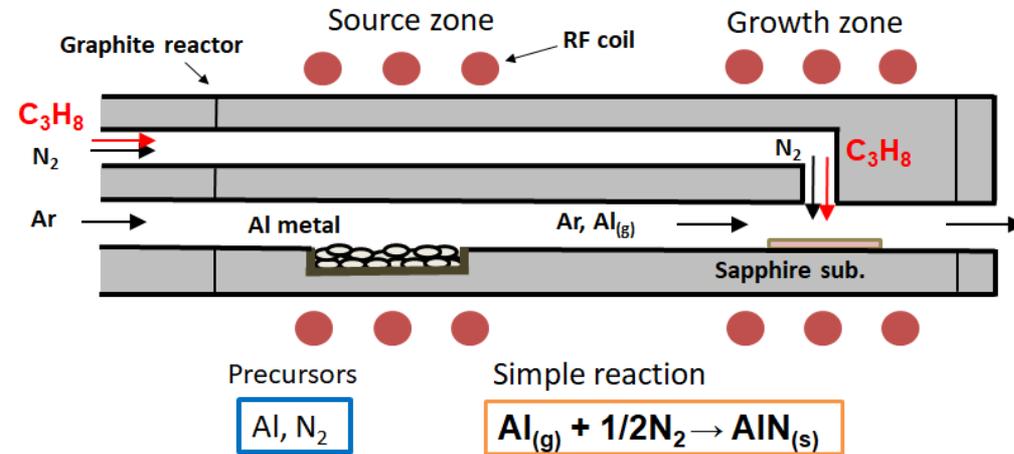


0.5 nm
格子一つ分

学生の活躍：深紫外材料AlNの表面p型伝導制御

研究室で独自に開発した結晶成長法

Elementary source Vapor Phase Epitaxy (EVPE)



岸元克浩氏(D1, 現D2)

International Workshop on Nitride Semiconductors 2018 (Kanazawa, Japan, Nov. 11-16, 2018)
にて、Student Awardを受賞しました。

講演番号 LN2-3

"Controlling p-type conductivity at AlN surfaces"

Katsuhiro Kishimoto, Mitsuru Funato, and Yoichi Kawakami

近接場光学顕微鏡 (SNOM) による発光機構解明

XYZスキャン

局所領域の
発光ダイナ
ミクス検出

光励起

2018年には、世界で
最短波長で分光可能
なSNOM開発に成功

光ファイバ
プローブ

励起子発生
拡散・局在

輻射再結合

非輻射再結合

キャリア発生・拡散

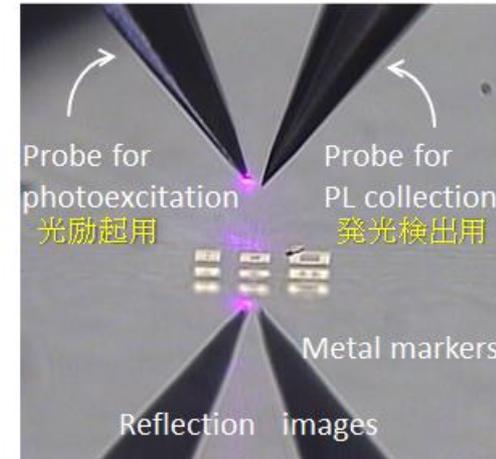
熱分解

非弾性散乱

励起子分子生成

われわれの
アプローチは
近接場

InGaN 発光層 (量子井戸)



2014年ノーベル化学賞

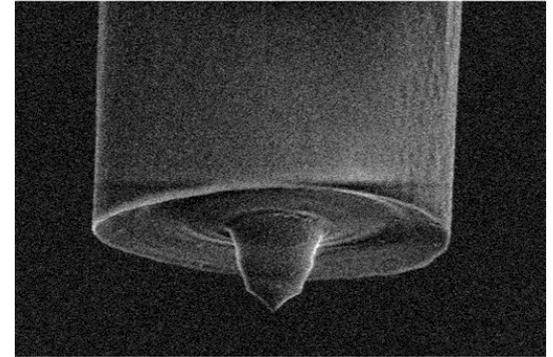
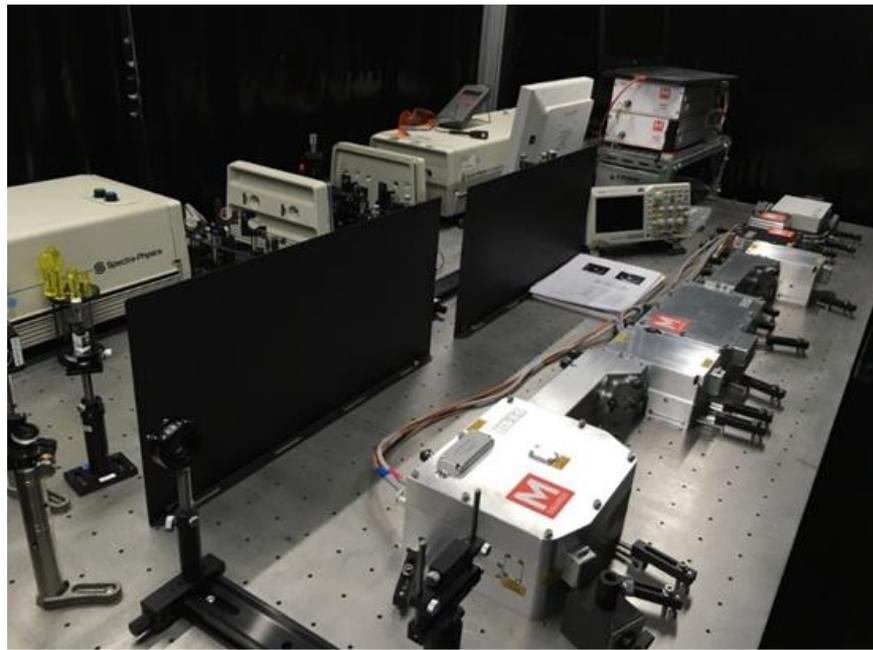
光学顕微鏡の分解能の限界(回折限界)
~ $\lambda/2NA$ (例: $\lambda=400\text{nm}$ のとき~ 200nm)

Surpassing the limitations of the light microscope

Stimulated emission depletion (STED) microscopy

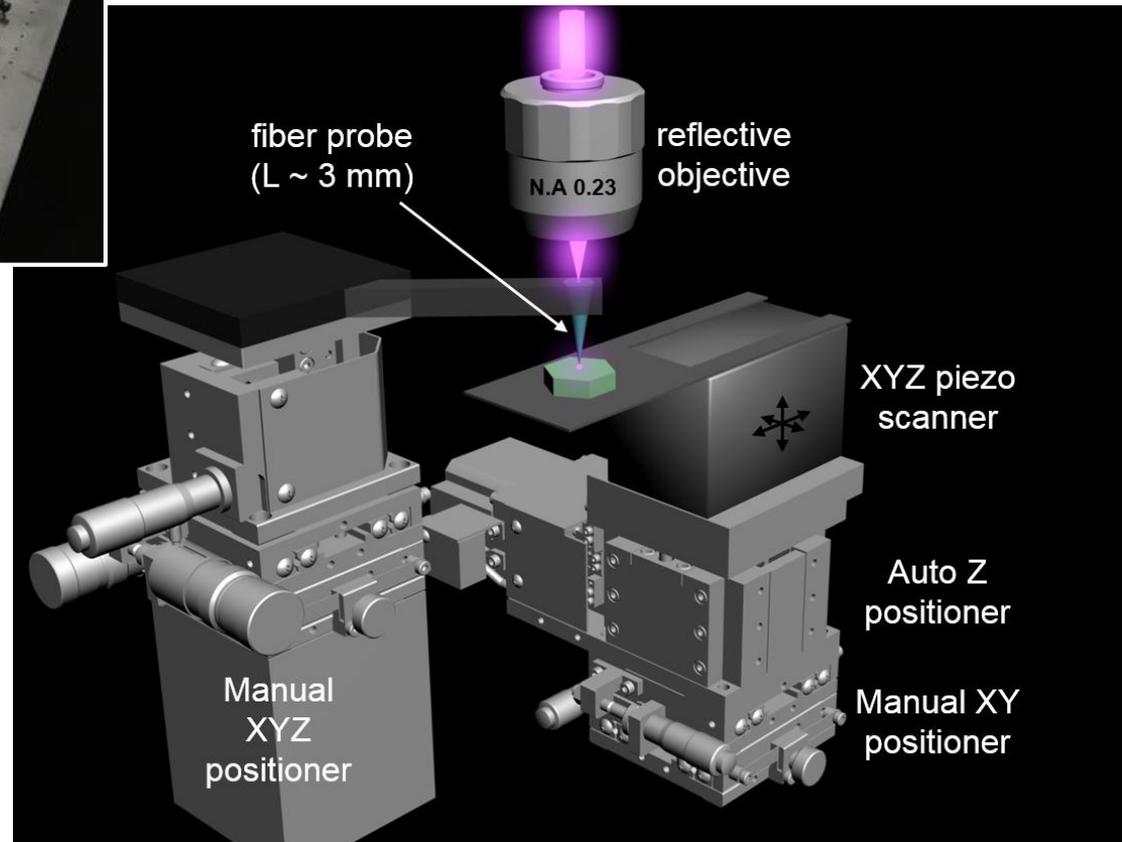
遠視野で回折限界を突破 (分解能~数10nm, 単一分子分光)

世界最短波長SNOMの開発



- ・CW-UVレーザー(日本に一台)
- ・UVファイバ
- ・UV光学部品など

⇒ **210 nm励起 SNOM**



学生諸君に持ってほしい目標

□ **卒業生の就職先は、多岐**（半導体分野以外に自動車，通信，電力，電鉄，アカデミックポストなど）
大学では，研究の最先端に到達する努力を通じて
将来どの分野でも通用する力が身に付きます

- 論理的な思考力、企画力
- 人と議論する能力
- 表現力（プレゼンテーション）
- 文章力（研究レポート、論文、随筆）
- 英語力
- 情報リテラシー（情報収集、整理、発信）
- テクノ・サイエンスアイディアの特許化
- 良い人間関係

補足資料

発光素子が拓く明るい未来

超小型ディスプレイ



イメージ図

水浄化(殺菌)



現状: 水銀ランプ

可視光通信技術

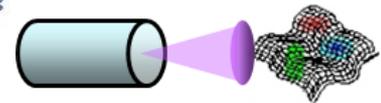


外科手術照明



カプセル内視鏡

バイオ応用



cells
(e.g. cancer cells)

新規応用分野の開拓

オプトジェネティクス



マイクロLEDがホットな話題

紫外光源と種々の応用

183 280 315 380 Wavelength (nm)

UV-C UV-B UV-A

VUV

DUV

Near-UV

Visible

210nm

365nm

AlGaN LED/LD

■ ハロゲンランプ

■ クセノンランプ

■ 超高圧水銀ランプ

■ 水銀クセノンランプ

■ 重水素ランプ

■ 低圧水銀ランプ

■ 高圧水銀ランプ

■ メタルハライドランプ

■ バリア放電ランプ

高輝度光源
(ショート&ミドルアーク)



低輝度光源
(ロングアーク)



光源

応用



硬化・接着

改質

殺菌

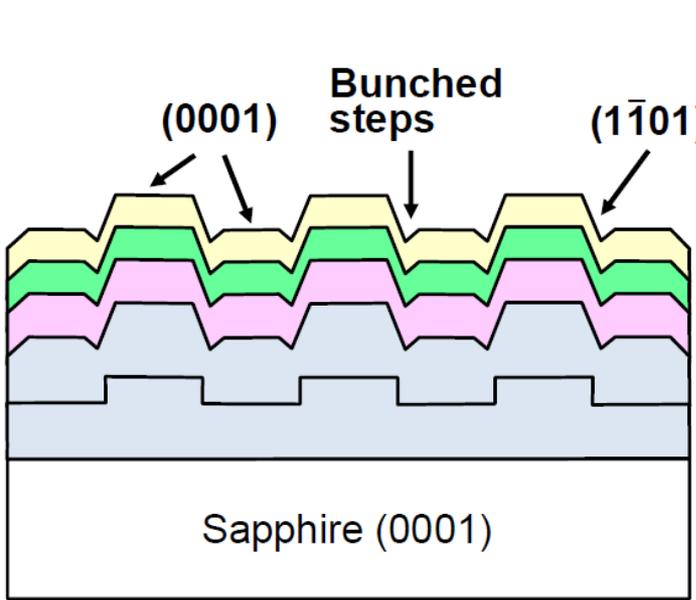
医療

露光

剥離・洗浄

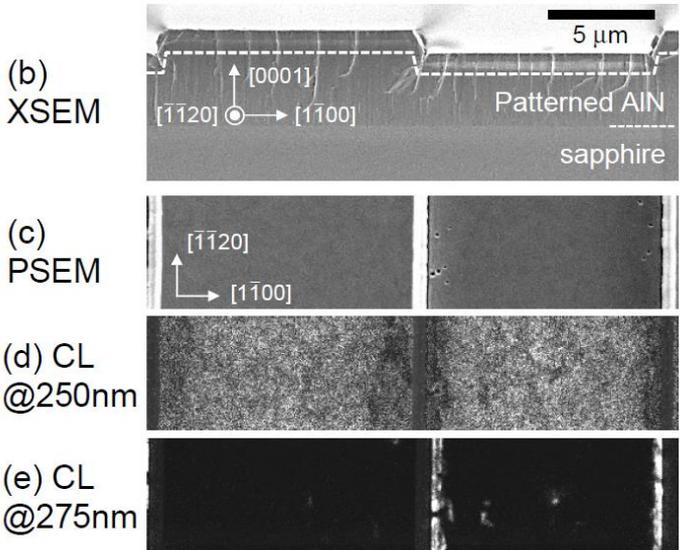
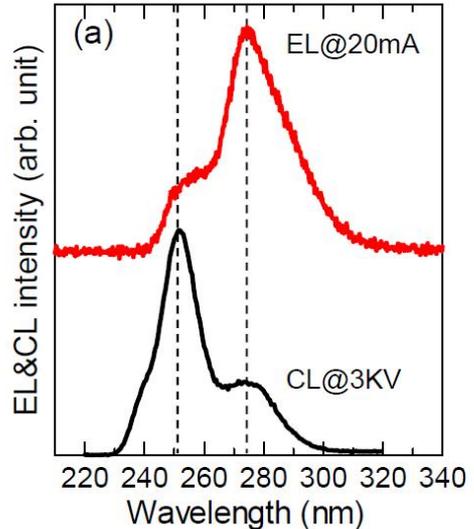
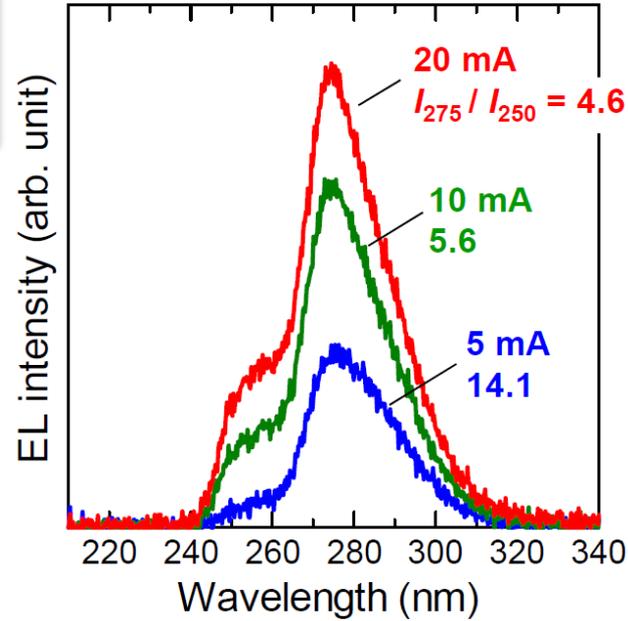
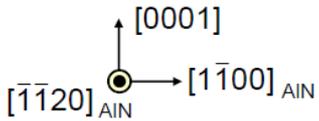


3次元AlGaN 量子井戸による多波長深紫外LED(世界初)



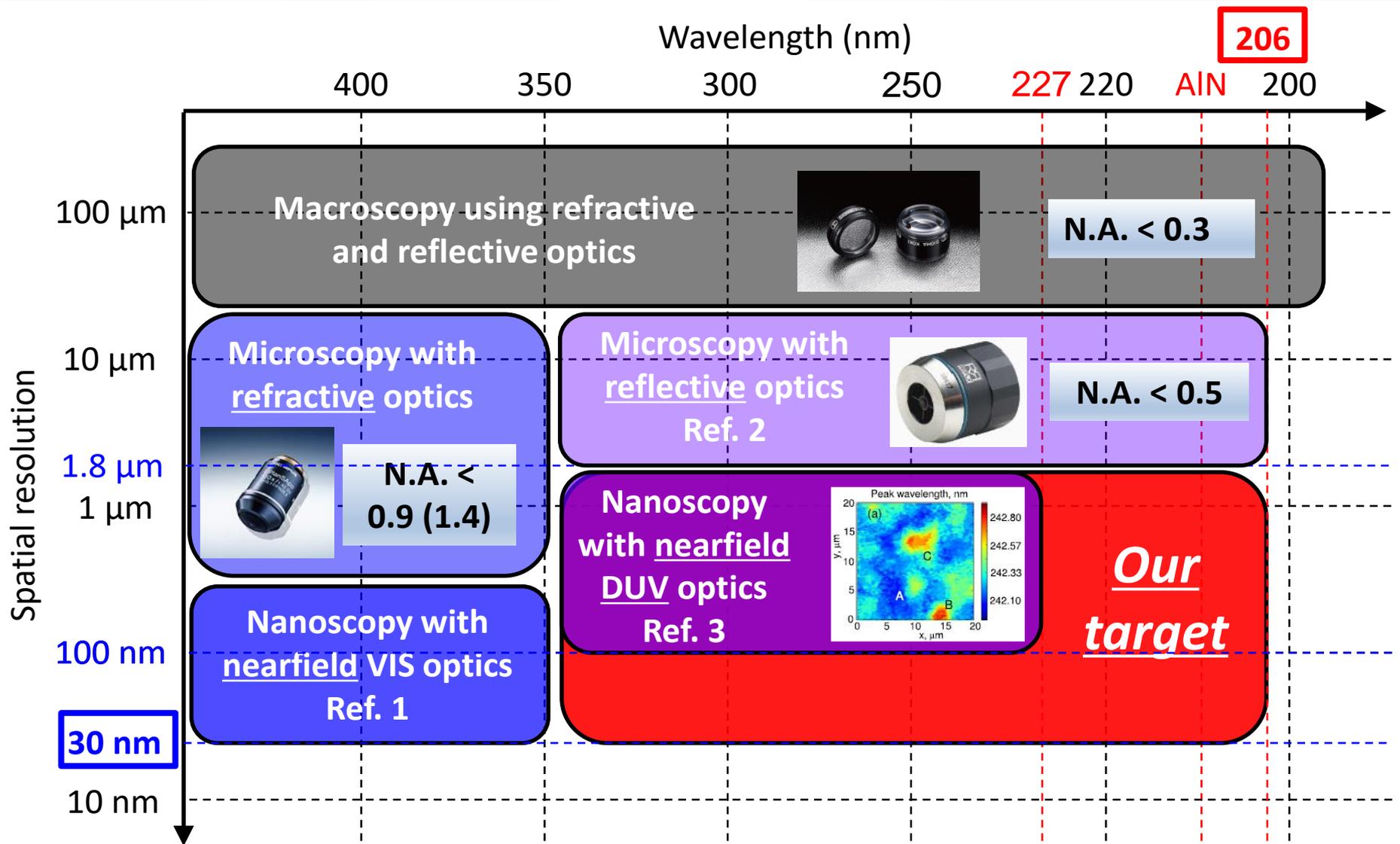
3QWs
 Well: $\text{Al}_{0.50}\text{Ga}_{0.50}\text{N}$, 1nm
 Barrier: $\text{Al}_{0.74}\text{Ga}_{0.26}\text{N}$, 6nm,

p-(Al)GaN
 AlGaN/AlGaN QW
 n-AlGaN (Al:74%)
 regrown AlN
 patterned AlN



**K. Kataoka, M. Funato,
 Y. Kawakami,
 Appl. Phys. Express
 10, 121001 (2017)**

顕微発光スペクトル分光技術の現状とターゲット



[1] Kaneta *et al.*, APL **81**, 4353 (2002).

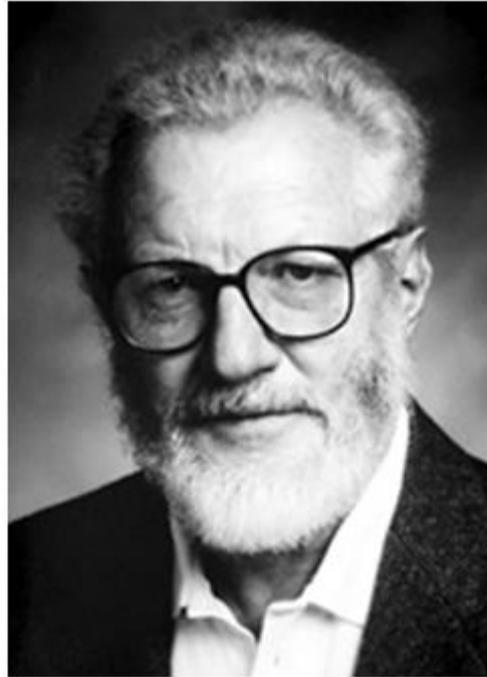
[2] Iwata *et al.*, JAP **117**, 115702 (2015).

[3] Marcinkevicius *et al.*,
APL **105**, 241108 (2014).

The Nobel Prize in Physics 2000



Zhores I. Alferov



Herbert Kroemer



Jack S. Kilby

The Nobel Prize in Physics 2000 was awarded to Alferov and Kroemer *"for developing semiconductor heterostructures used in high-speed- and opto-electronics"* and the other half to Kilby *"for his part in the invention of the integrated circuit"*.

The Nobel Prize in Physics 2014



赤崎 勇終身教授
(名城大学)



天野 浩教授
(名古屋大学)



中村 修二教授
(カリフォルニア大学)

The Nobel Prize in Physics 2014 was awarded jointly to Isamu Akasaki, Hiroshi Amano and Shuji Nakamura ***"for the invention of efficient blue light-emitting diodes which has enabled bright and energy-saving white light sources"***.

http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2014/

The Nobel Prize in Chemistry 2014



Photo: Matt Staley/HHMI

Eric Betzig

Prize share: 1/3



© Bernd Schuller, Max-Planck-Institut

Stefan W. Hell

Prize share: 1/3



Photo: K. Lowder via
Wikimedia Commons, CC-
BY-SA-3.0

William E. Moerner

Prize share: 1/3

Surpassing the limitations of the light microscope

For a long time optical microscopy was held back by a presumed limitation: that it would never obtain a better resolution than half the wavelength of light. Helped by fluorescent molecules the Nobel Laureates in Chemistry 2014 ingeniously circumvented this limitation.

Their ground-breaking work has brought optical microscopy into the nanodimension.

http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2014/

共同研究プロジェクト(オールジャパン体制)



文部科学省科学研究費助成事業「新学術領域研究」平成28－平成32年度
特異構造の結晶科学
完全性と不完全性の協奏で拓く新機能エレクトロニクス

<http://tokui.org/index.html>

特異構造の結晶科学という
新しい学理を開拓することが目的

A01 結晶成長Gr.

特異構造の作製と拡張結晶学の構築



東大・三重大
東京農工大
名城大

A02 デバイス展開Gr.

特異構造の作製と新規エレクトロニクス展開



NIMS
理研
北大

B01 構造解析Gr.

特異構造の局所結晶評価と欠陥物性



阪大
筑波大
千葉大

B02 光物性評価Gr.

特異構造の光物性解明と機能性探索



京大・川上研
東北大
山口大