

科学技術政策研究所シンポジウム



# 近未来への招待状

～ナイス ステップな研究者 2009からのメッセージ～



## 世界を照らすLED

天野 浩

名古屋大学大学院工学研究科

電子情報システム専攻

[amano@nuee.nagoya-u.ac.jp](mailto:amano@nuee.nagoya-u.ac.jp)

発光ダイオード(Light Emitting Diode : LED)とは?

# LEDを作るための元素

## The periodic table of the elements

	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	0		
1	H															He		
2	Li	Be									B	C	N	O				
3	Na	Mg									Al	Si	P	S	Cl	Ar		
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	L	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	A															
	L	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
	A	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

AlGaInN...青・緑・白色LED

AlGaInP...赤色LED

- Metals
- Metalloids
- Non-metals
- Transition Metals
- Gases

# LEDは第4のあかり

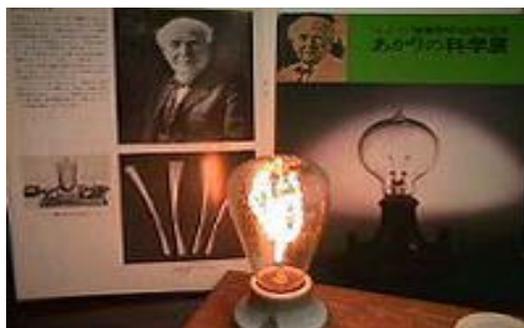


第4のあかり

1962 実用化LED  
(最初のLEDは1907)



1926 エドムント・ゲルマー(独) 蛍光灯  
第3のあかり

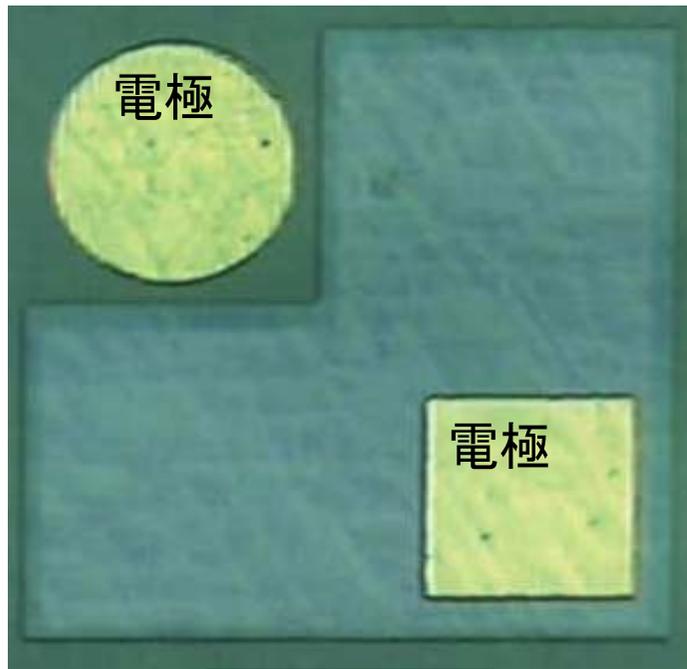
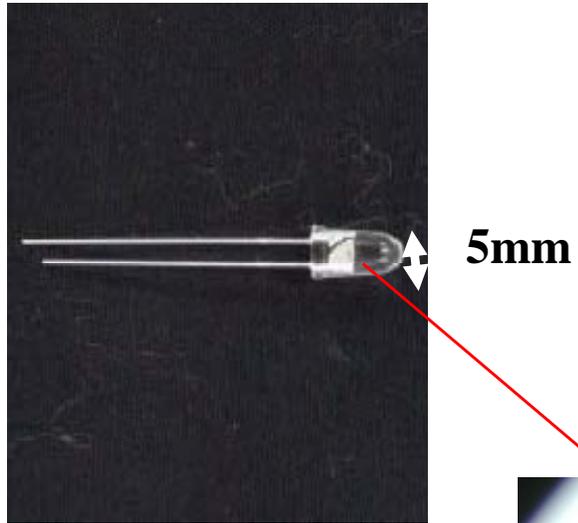


1879 ジョセフ・スワン(英)  
白熱電球  
第2のあかり

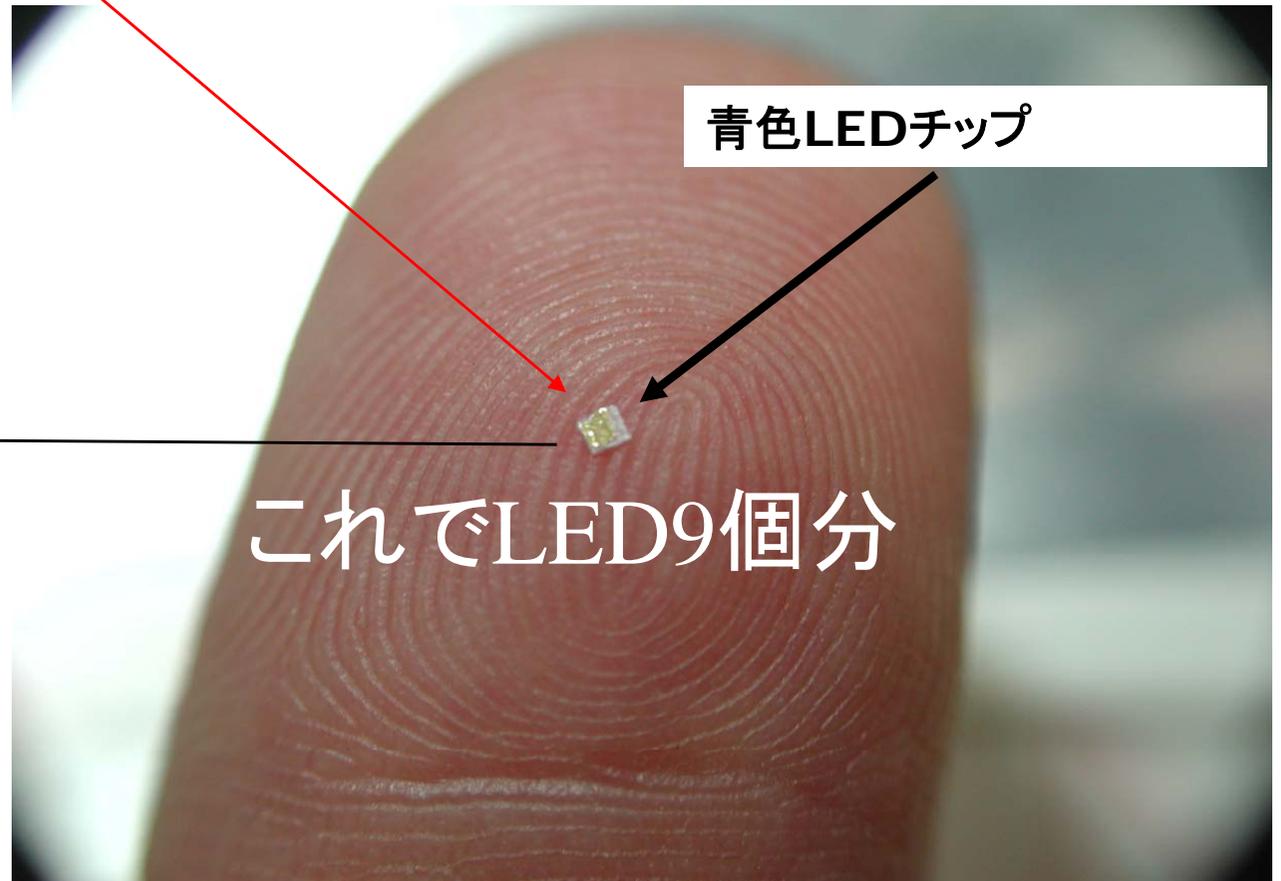


～19世紀 炎  
第1のあかり

# LEDの概観と中身



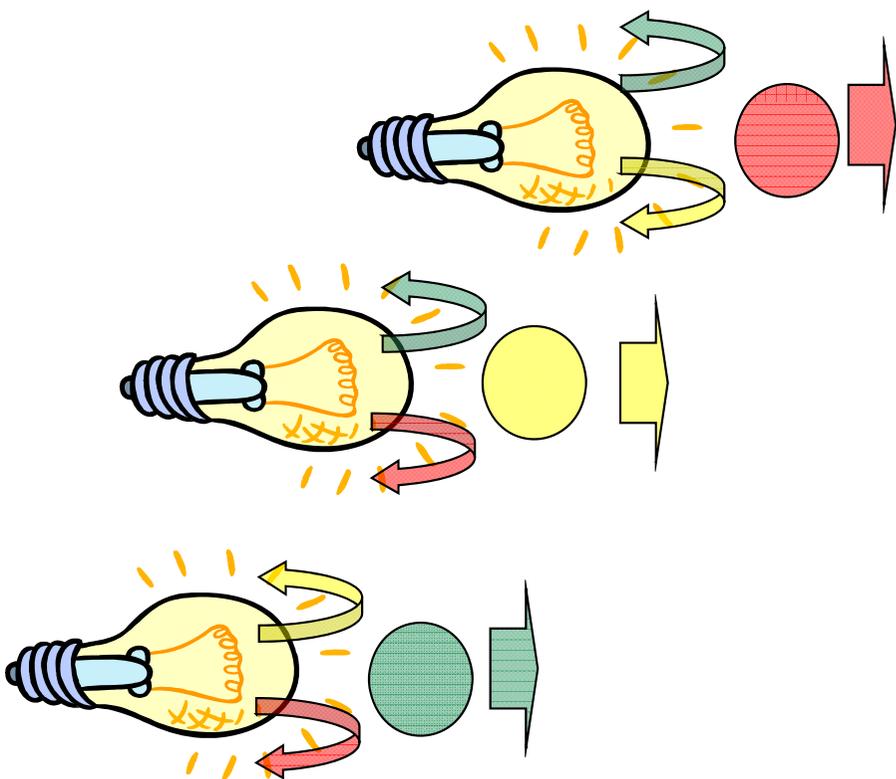
← 0.3mm →



# LEDの良いところ

色フィルタ

無駄な光が多い



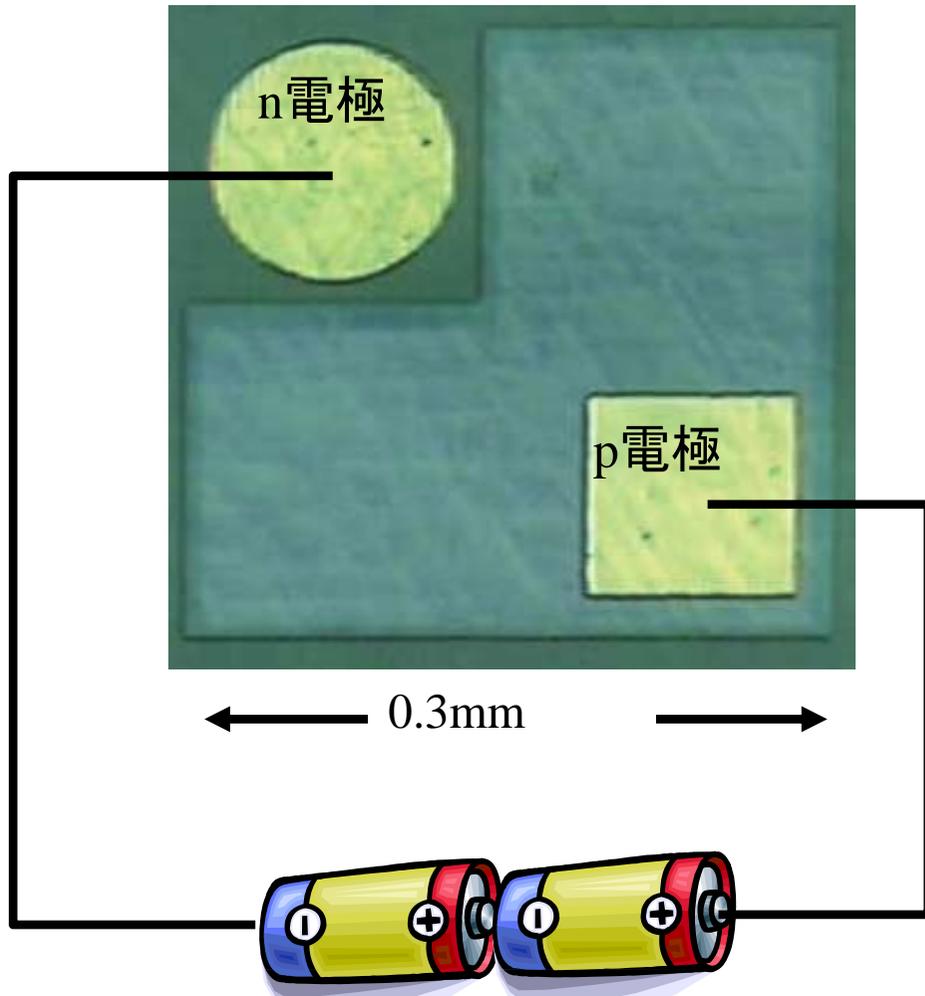
従来のランプ+色フィルタ方式



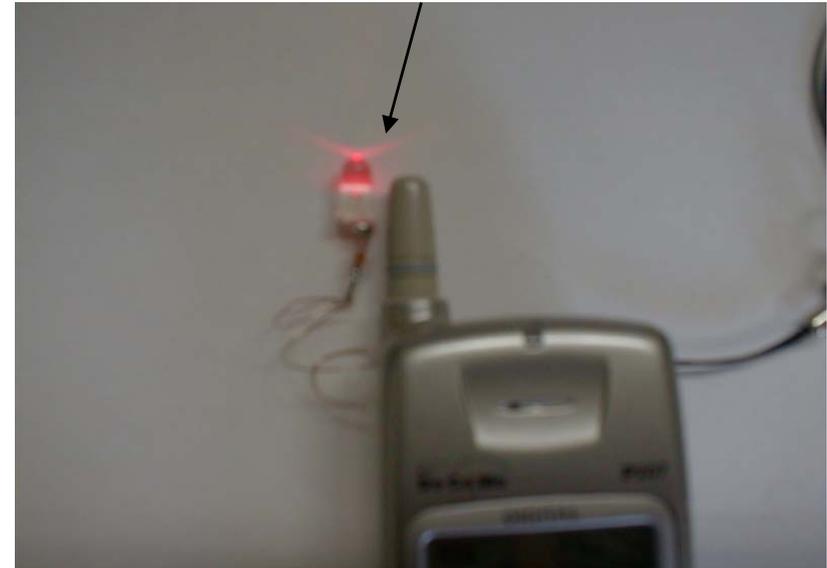
**LEDは必要な色のみ発光**  
⇒ **無駄な光を出さない**  
⇒ **省エネルギー**

# LEDの良いところ

光るアンテナ

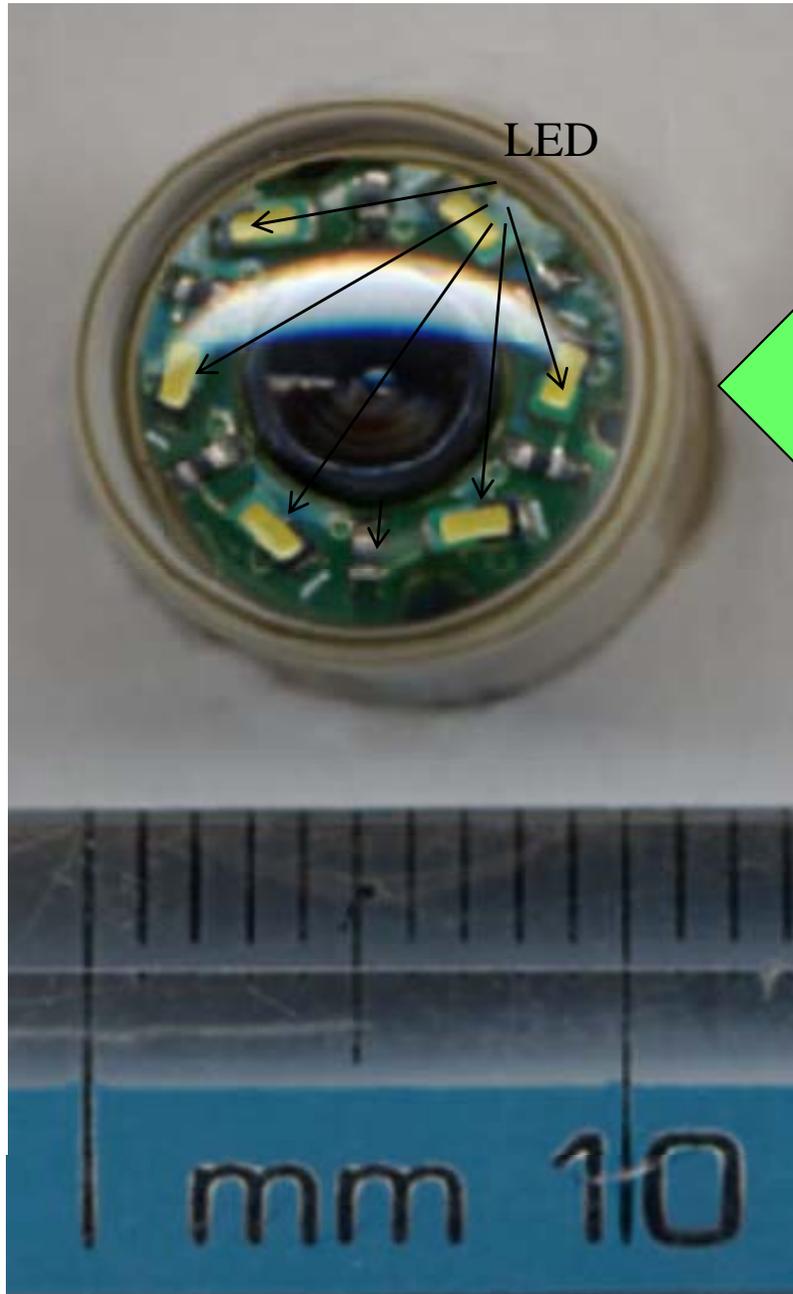


乾電池で動作可能



乾電池なしでも光る!  
携帯電話アンテナ

# LEDの良いところ

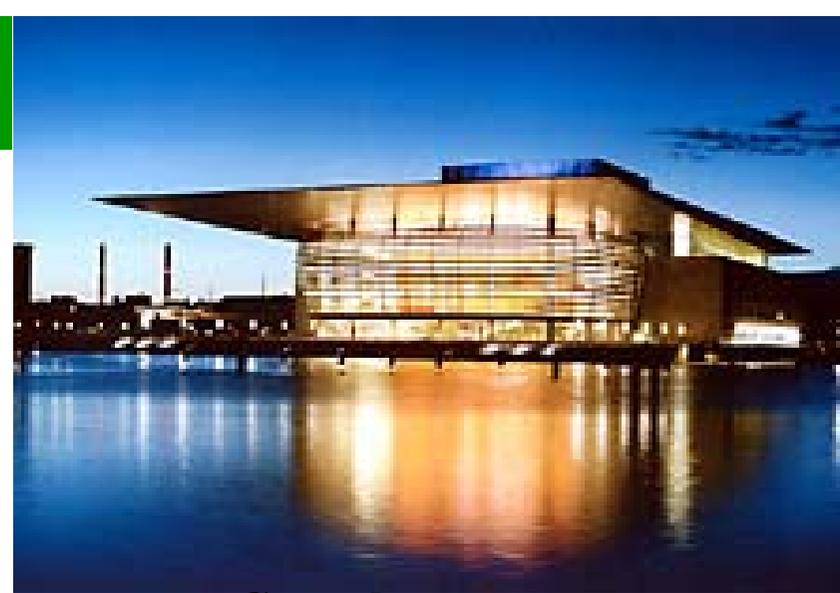


小さい！

# 世界を照らすLED



**Fremont Street, Las Vegas**



**Copenhagen**



**Times Square, New York**

[http://en.wikipedia.org/wiki/Fremont\\_Street\\_Experience](http://en.wikipedia.org/wiki/Fremont_Street_Experience)

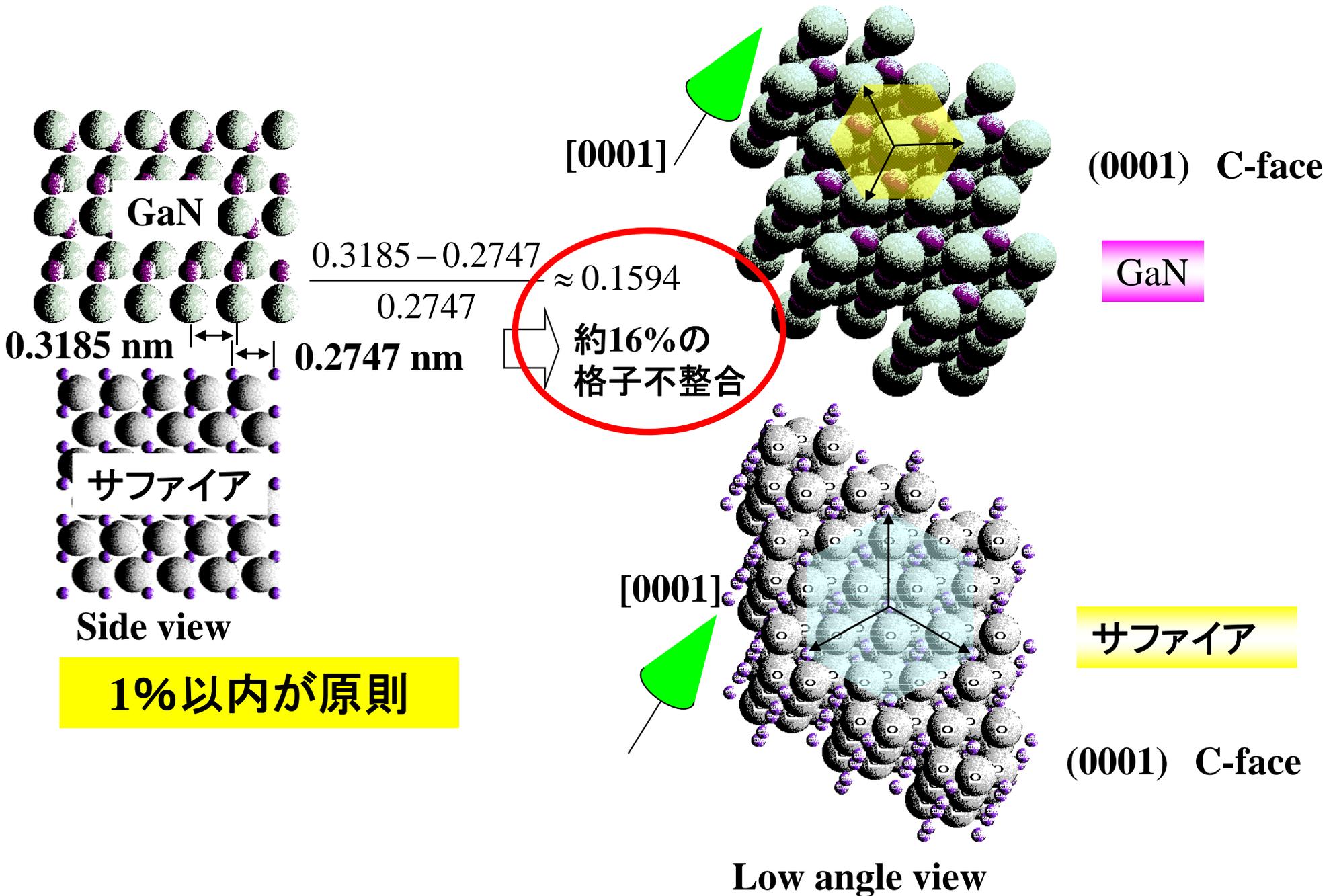
[http://www.shopbiz.jp/contents/news\\_LF/50\\_034.phtml](http://www.shopbiz.jp/contents/news_LF/50_034.phtml)

# 開発の歴史・・・なぜ青色LEDは難しかったか？

赤色LEDの実用化・・・1963年

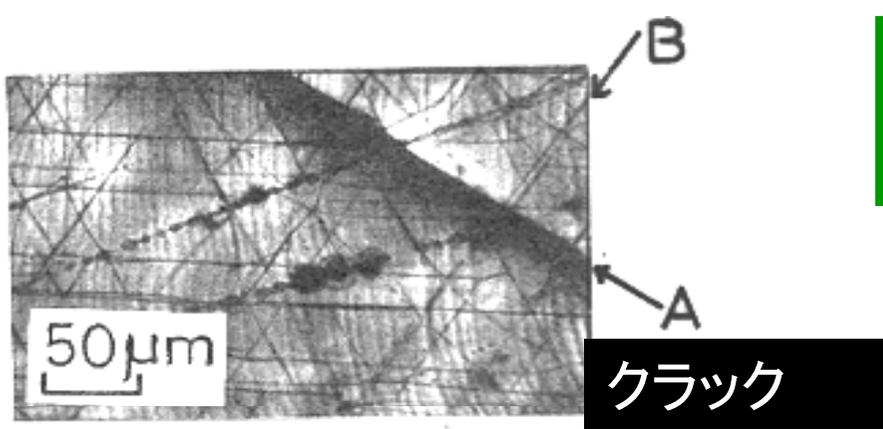
青色LEDの実用化・・・1993年

# 開発の歴史・・・なぜ青色LEDは難しかったか？

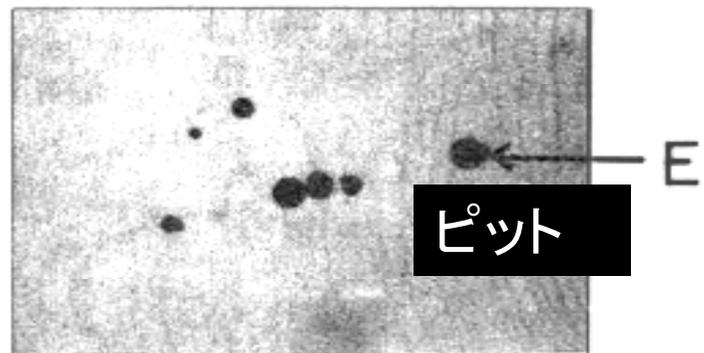


1980年代までの  
青色LED用結晶の様子

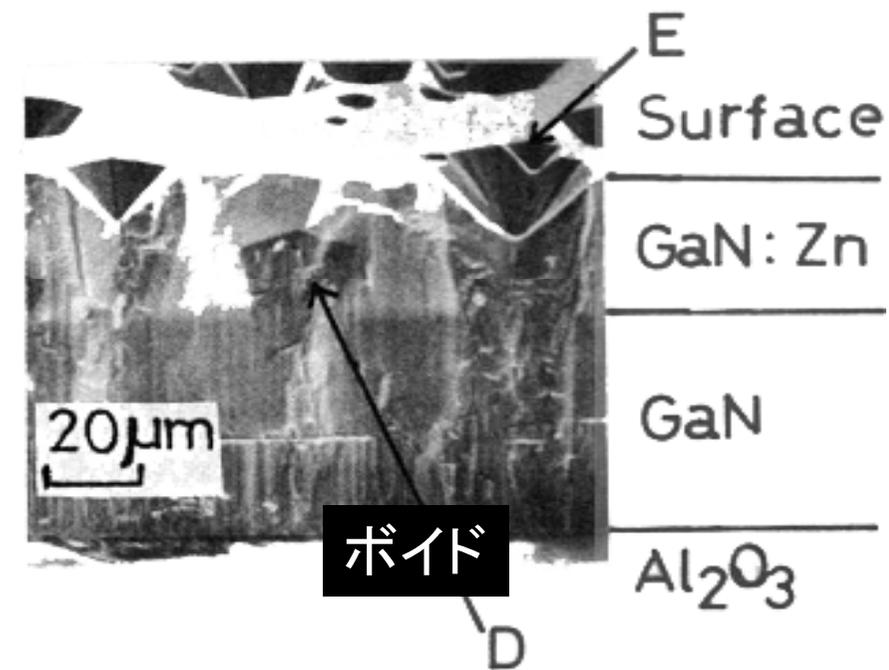
(a)



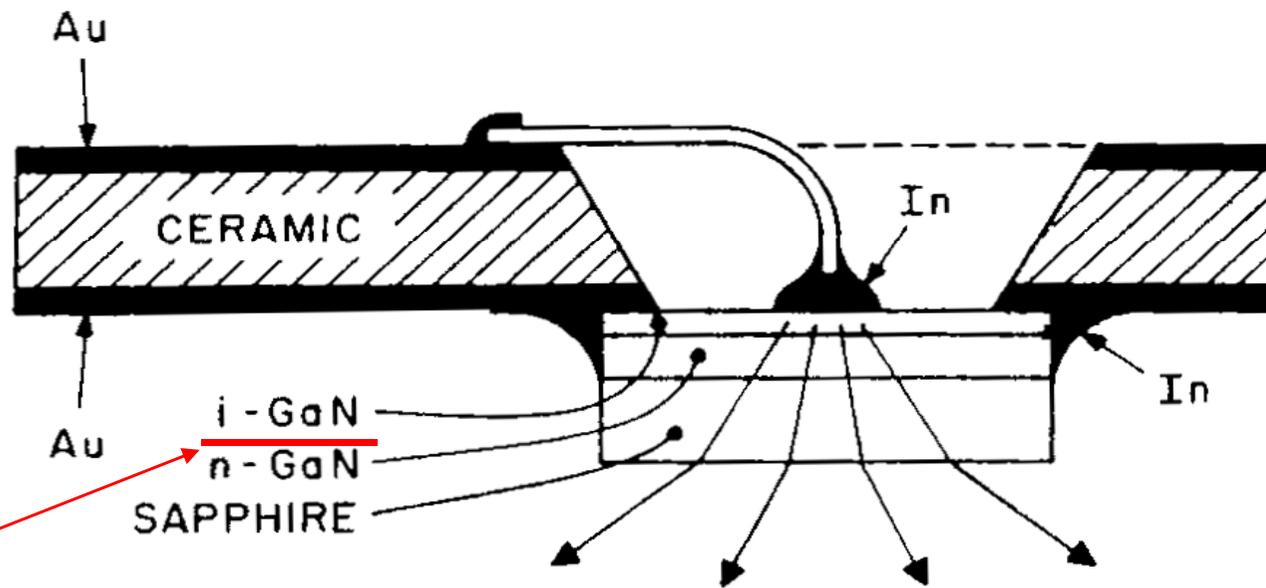
(b)



(c)



# 1980年代までの青色LEDの様子



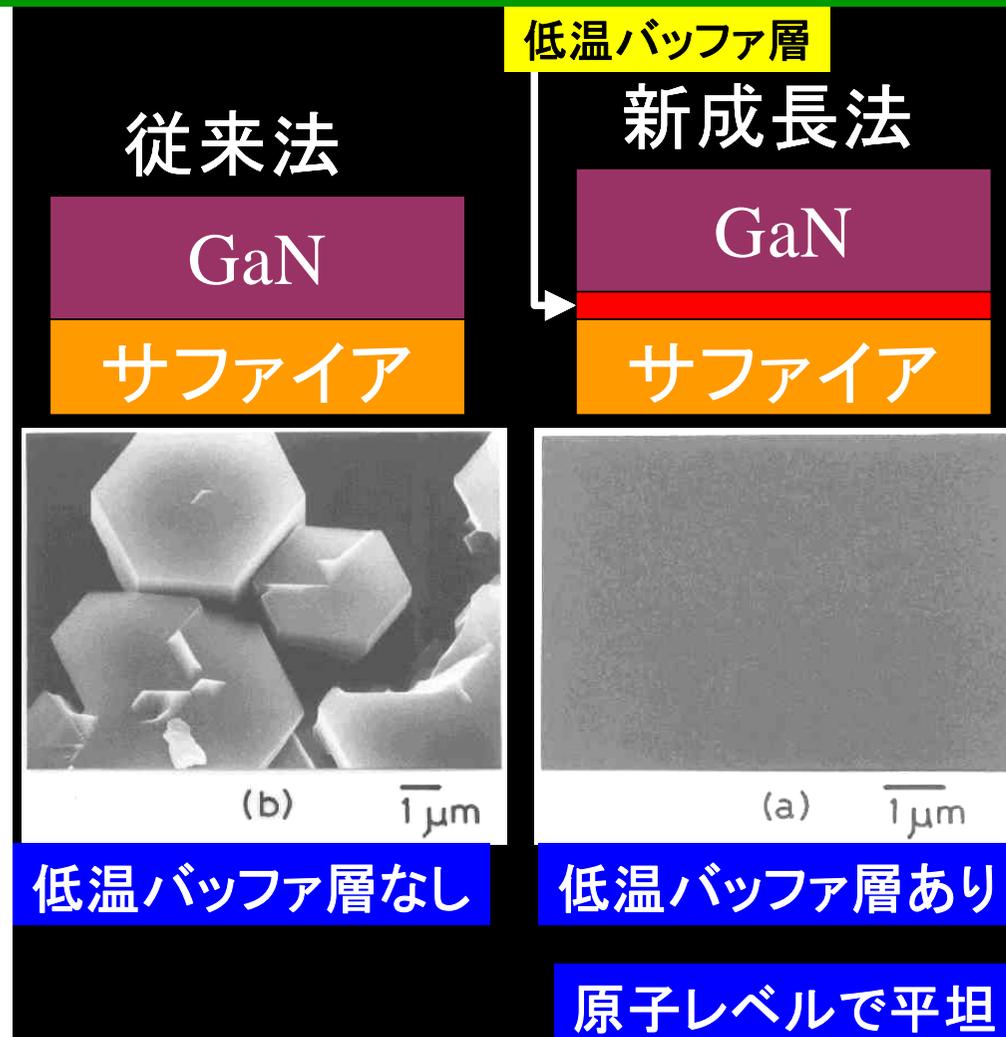
p型結晶は  
できなかつた。

1971～1982年の青色LED

効率:  $10^{-5} \sim 3 \times 10^{-4}$

1970年代～1980年初頭まで、世界の著名研究所（米国、フランス、スウェーデン、日本）で研究がすすめられていたが、結晶のクラック、ボイド、ピット等の発生等、高品質の結晶が得られなかつた。またp型結晶は得られなかつた。

# 低温バッファ層



## Metalorganic vapor phase epitaxial growth of a high quality GaN film using an AlN buffer layer

H. Amano, N. Sawaki, and I. Akasaki

*Department of Electronics, School of Engineering, Nagoya University, Chikusa-ku, Nagoya 464, Japan*

Y. Toyoda

*Kawasaki Laboratory, Matsushita Electric Ind. Co., Ltd., 3-10-1, Higashimita, Tama-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa 214, Japan*

活性化しやすいp型不純物  
(Zn × MgO)の選択

活性化しにくさ

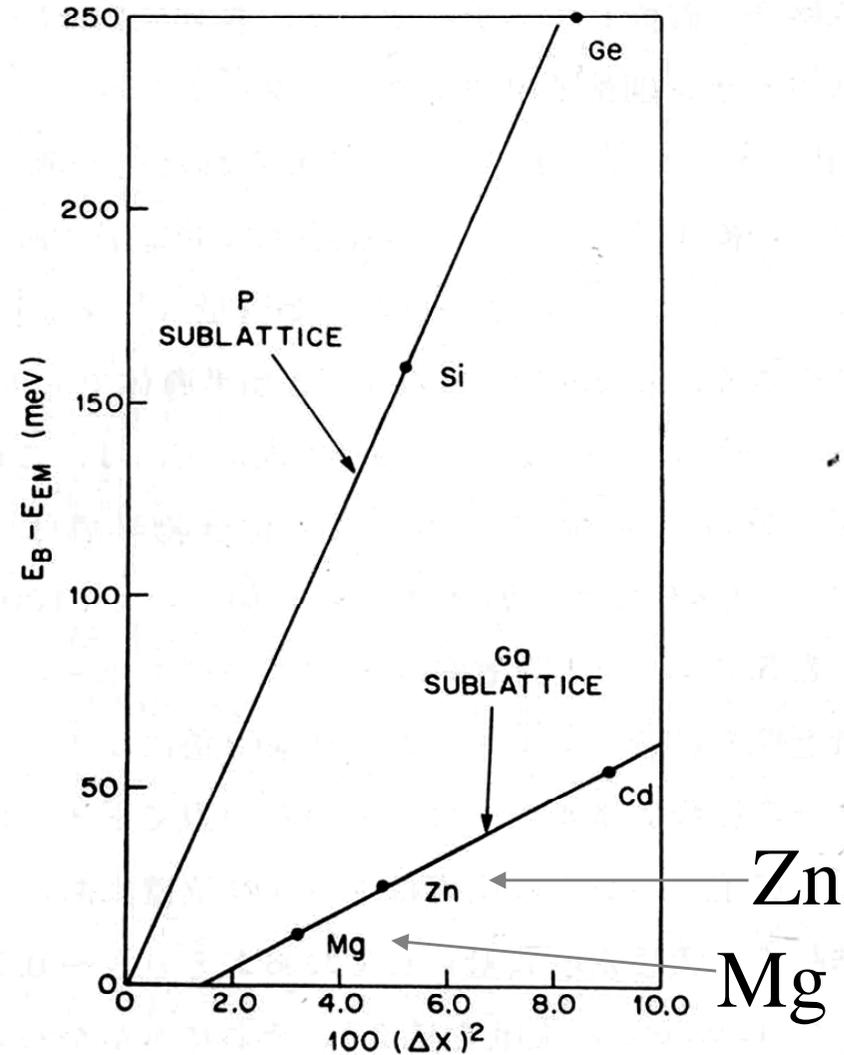
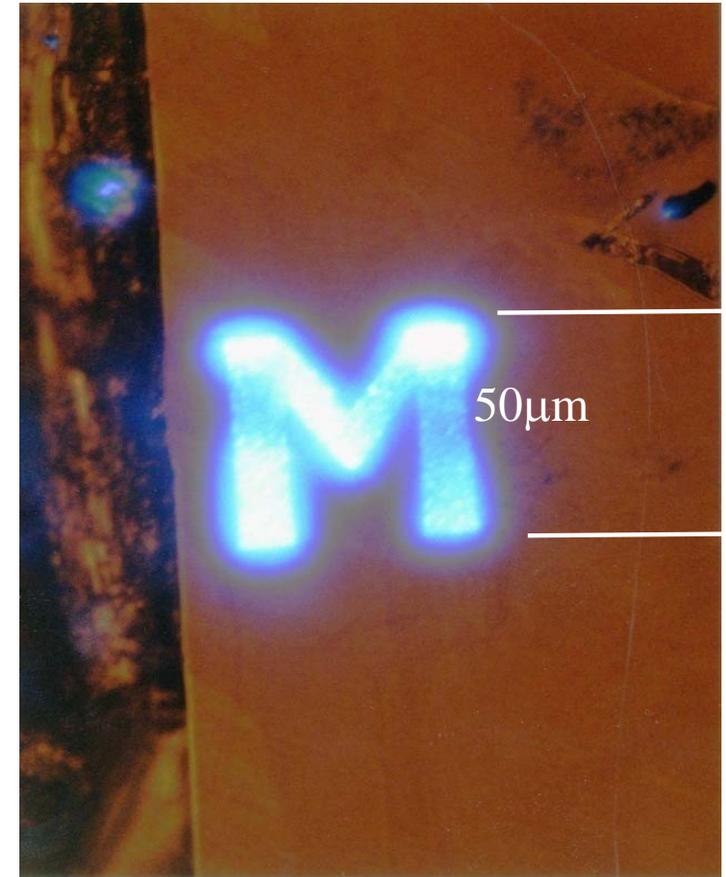
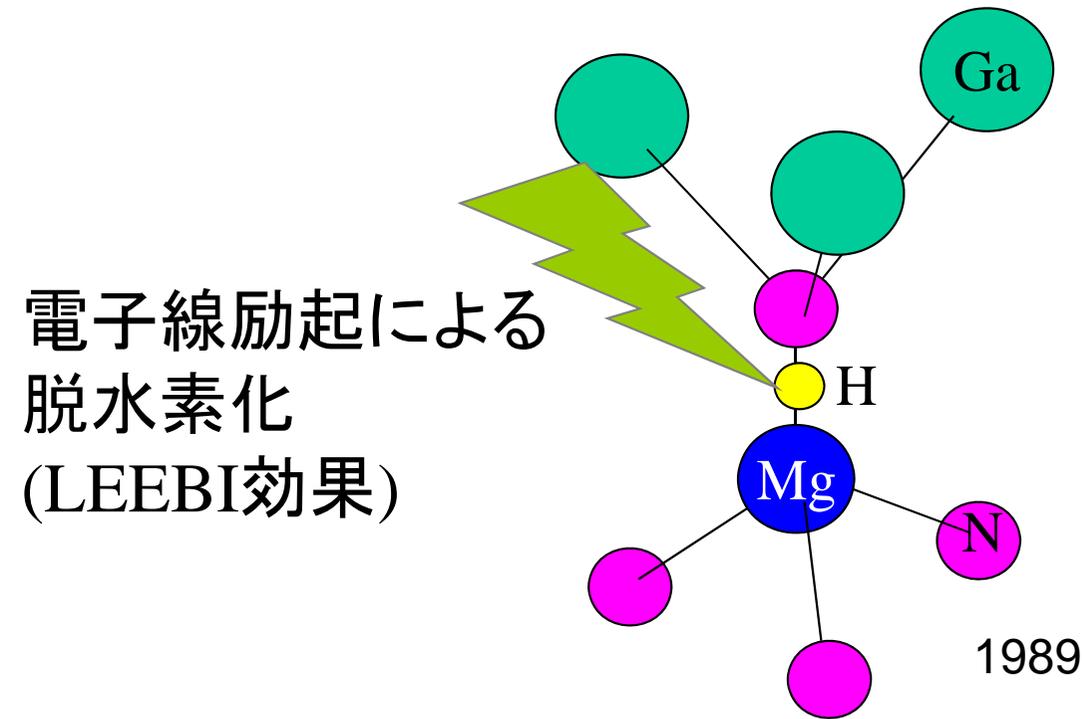


図 9.11 GaPの単原子アクセプターの結合エネルギーに対する中心殻補正. P副格子上に置換したⅣ列不純物とGe副格子上に置換したⅡ列不純物との間の傾斜についての4倍の差に注目 [データおよび有効質量エネルギー  $E_{EM}$  はP.J.Dean 達による. *J. Appl. Phys.* 41 3474 (1970) ]

## 脱水素化によるアクセプタ型不純物の活性化

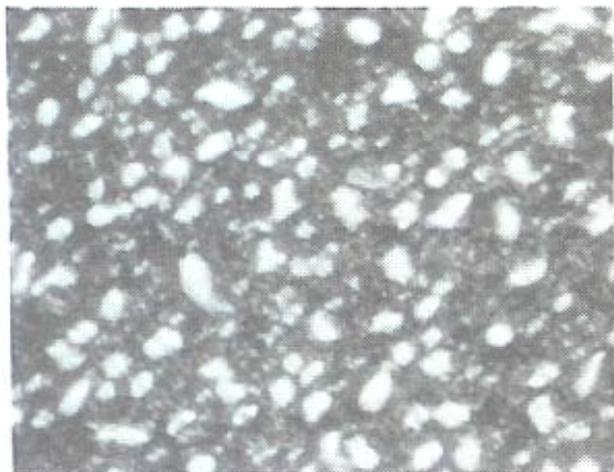


1992 熱処理(日亜化学)・・・量産化

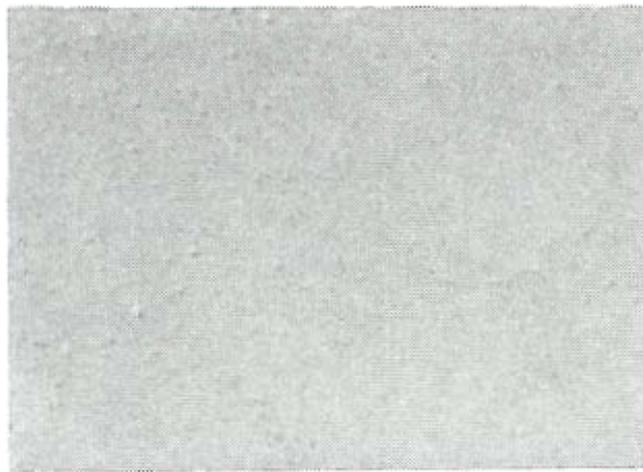
# GaN成長

1989

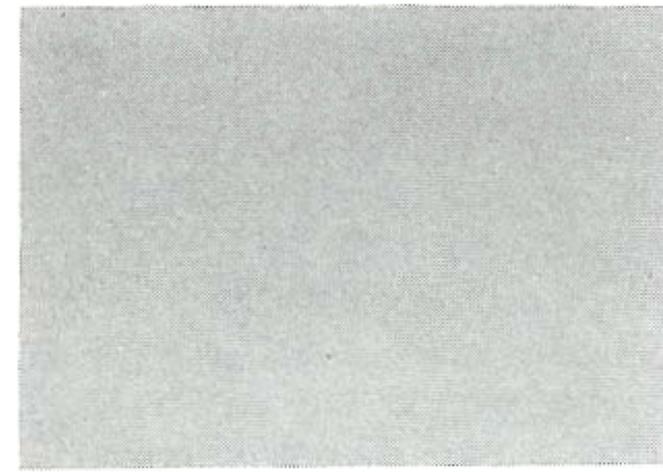
10  $\mu$  m  
└──┘



(a)  $V / III = 16000$



(b)  $V / III = 80000$



(c)  $V / III = 165000$

GaNの場合の100倍

*Inst. Phys. Conf. Ser. No 106: Chapter 3*

*Paper presented at Int. Symp. GaAs and Related Compounds, Karuizawa, Japan, 1989*

## Wide-gap semiconductor (In,Ga)N

T. MATSUOKA, \*H. TANAKA, T. SASAKI and A. KATSUI

*NTT OPTO-ELECTRONICS LABORATORIES*

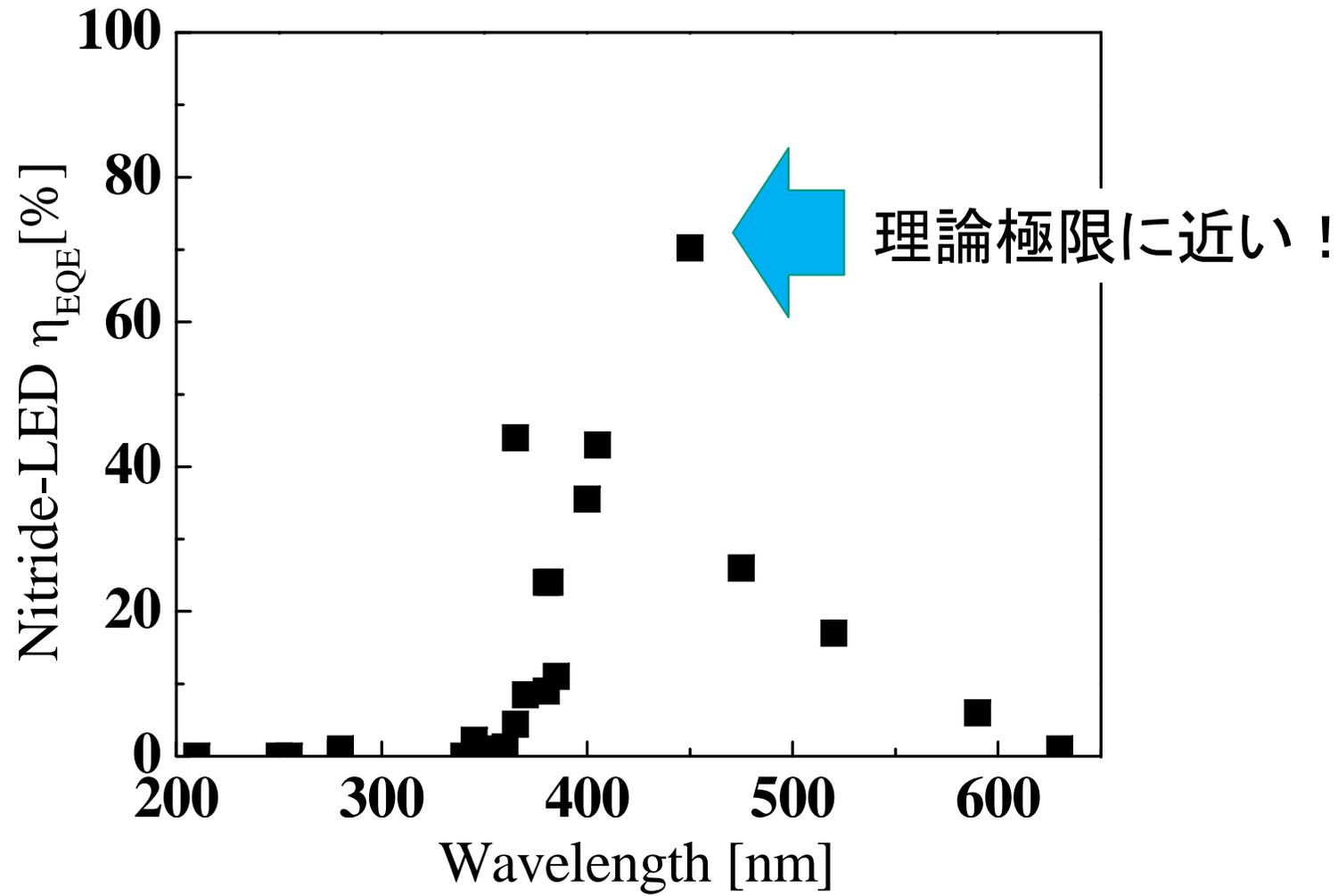
*Tokai, Ibaraki, 319-11 JAPAN*

*\*NTT APPLIED ELECTRONICS LABORATORIES*

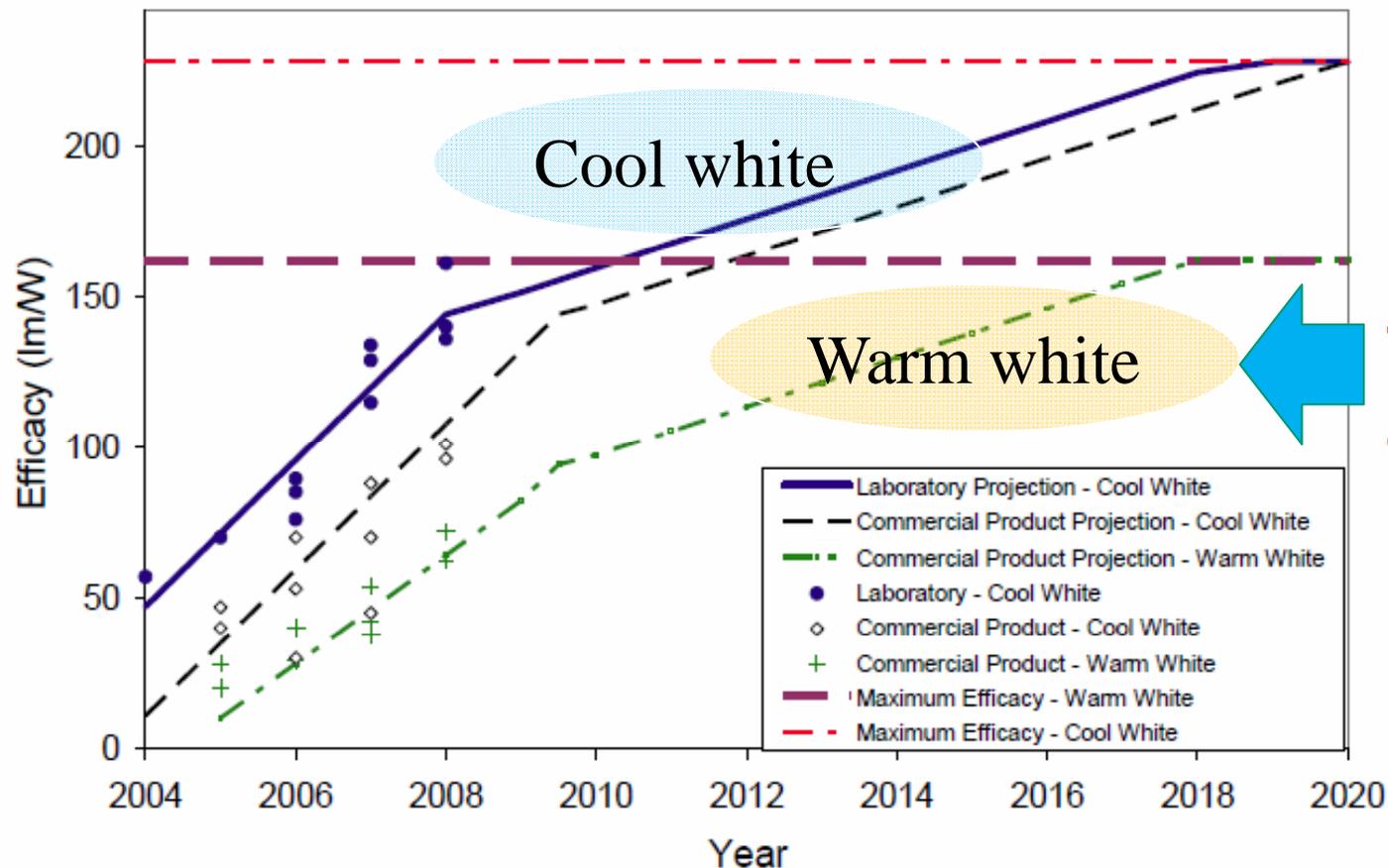
*Musashino, Tokyo, 180 JAPAN*

# LEDの問題点と未来の光源を実現するための方策

# LEDが直面している課題



# 一般照明への応用は、本当に可能か？



一般照明にはこちらが必要！

Figure 4.8: White-Light LED Package Efficacy Targets, Laboratory and Commercial Note:

1. Cool-white efficacy projections assume CRI=70 → 80, CCT = 4100-6500°K,
2. Warm-white efficacy projections assume CRI>85, CCT =2800-3500°K
3. All projections are for high-power packages with a 350 ma drive current at 25°C, 1mm<sup>2</sup> die size, package-level specification only (driver/luminaire not included), and reasonable package life.
4. The maximum efficacy values displayed in Table 4.3.1 for warm-white (3000K and 90 CRI) and cool-white (6500K and 75 CRI) packages are shown above as asymptotes. The target efficiency in Figure 4.5 assumes a CRI of 90 and a CCT of 4100K and would lie in between these two extremes.

Source: LED Technical Committee and the Department of Energy, Fall 2008; Press Releases

Prepared for:

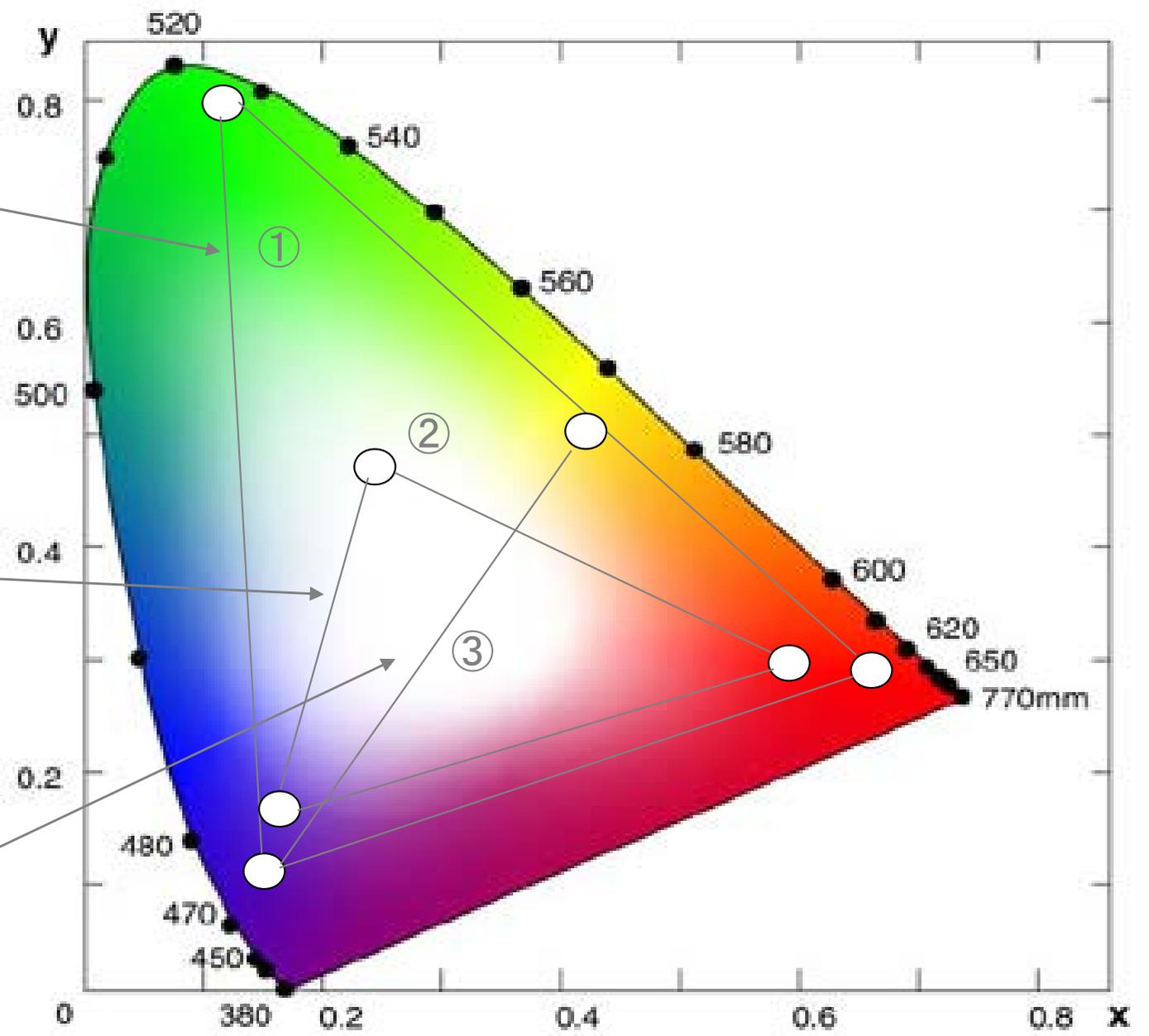
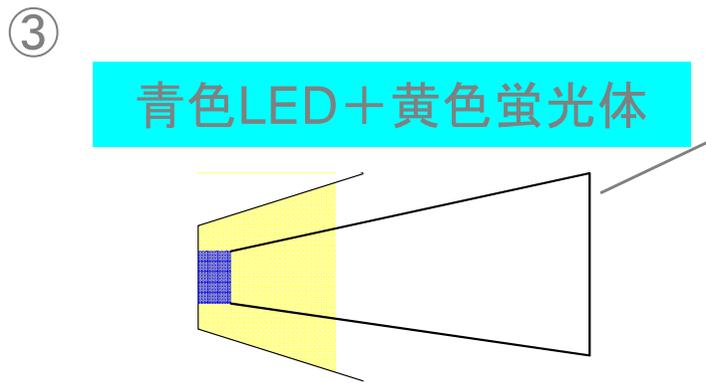
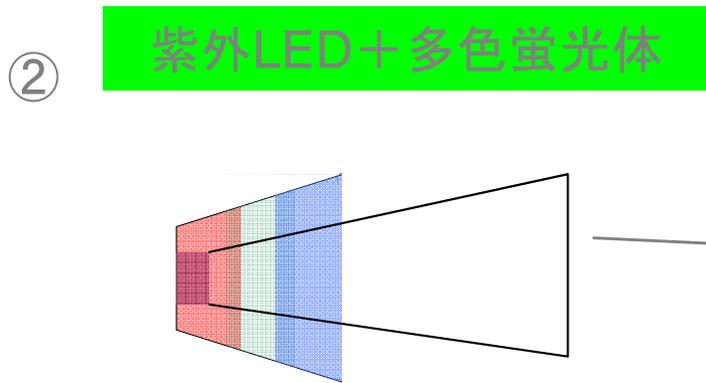
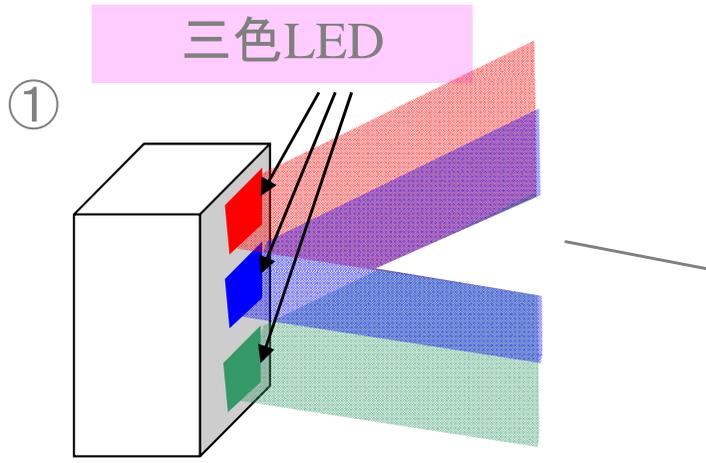
Lighting Research and Development  
Building Technologies Program  
Office of Energy Efficiency and Renewable  
Energy  
U.S. Department of Energy

Prepared by:

Navigant Consulting, Inc.,  
Radcliffe Advisors, Inc.,  
and  
SSLS, Inc.

March  
2009

# 如何にして暖白色を実現するか？



CIE chromaticity diagram

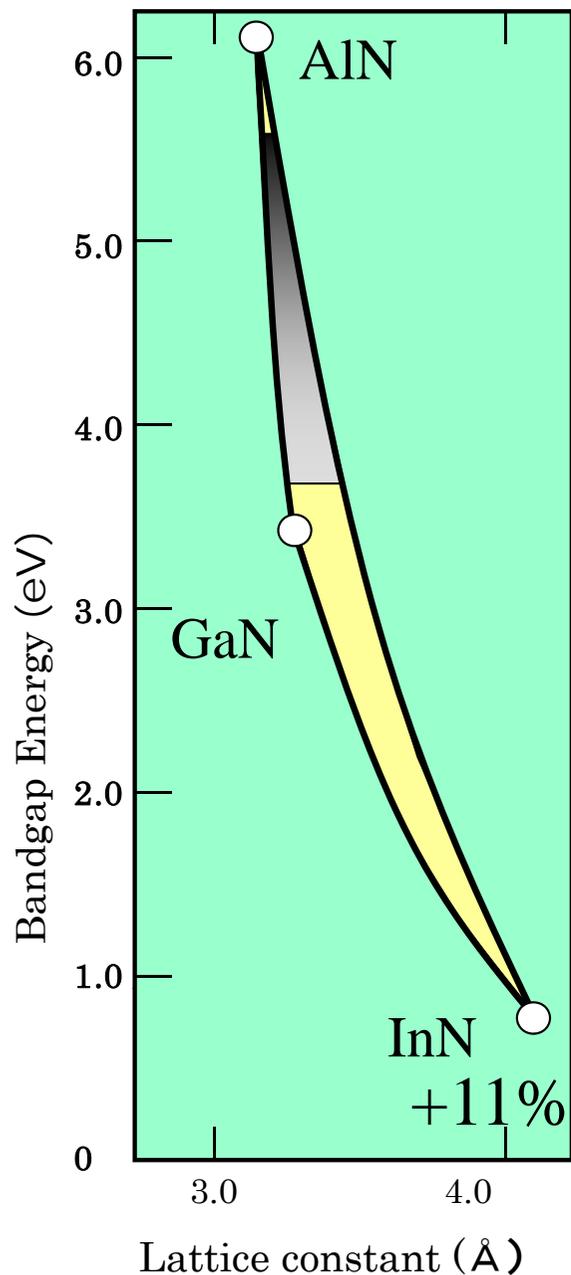
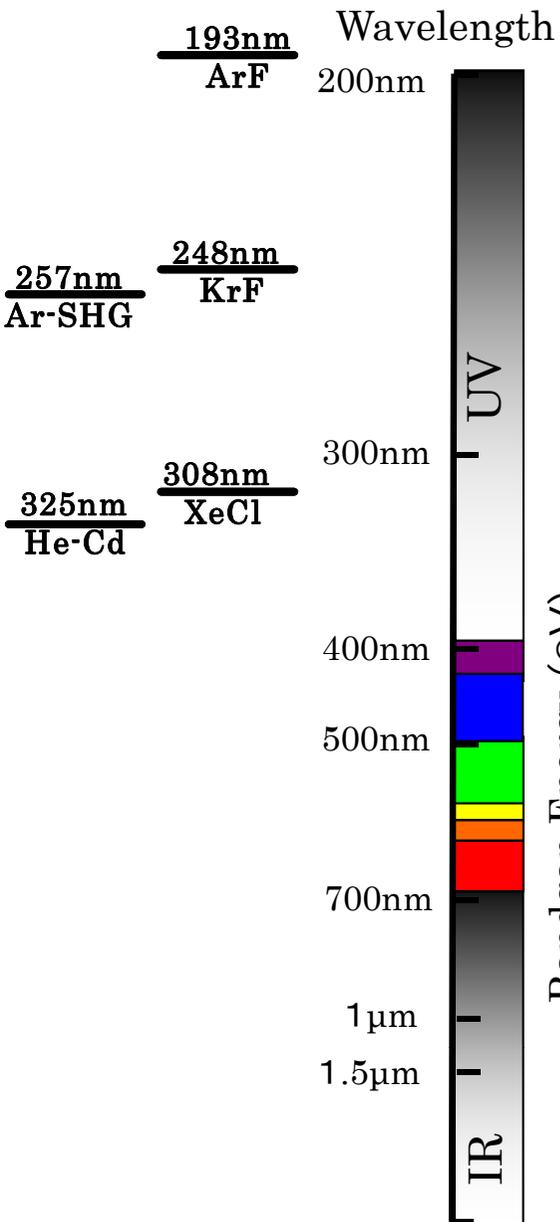
# 各種白色LEDの平均演色評価数及び効率の理論極限

Methods	CCT(K)	Ra( $R_1$ - $R_8$ )	Maximum Luminous Efficacy of Radiation (lm/W)	Total efficiency necessary to realize 200(lm/W)
B LED +YAG phosphor	6810	81	294	
UV LED + warm white phosphor(400-700)	3013	99	253	79%
RYGB(637,586,527,461)	3300	97	361	55%

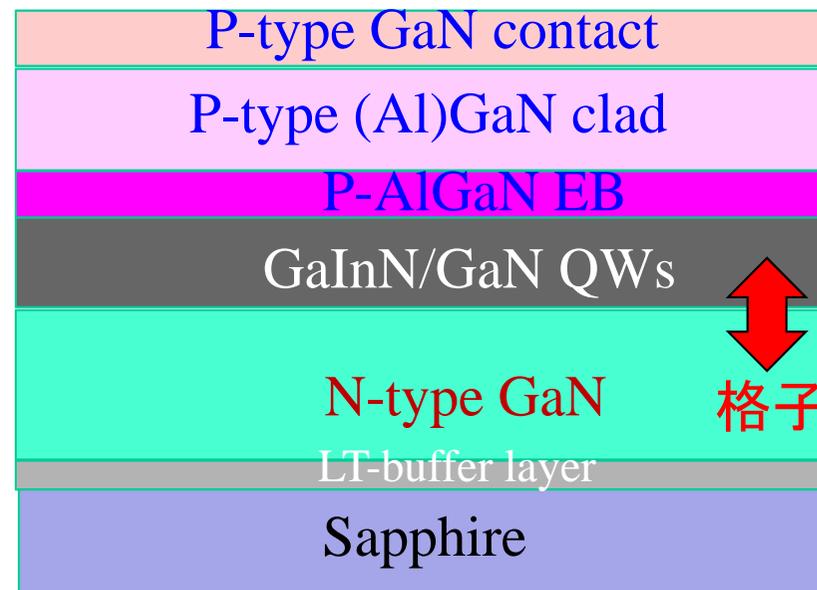
Yoshi Ohno (NIST), Proc. SPIE, 5530 (2004)88.

なぜ緑色LEDや黄色LEDは高効率化できないのか？

# 格子不整合



+11% of  $a_{\text{GaN}}$



格子不整合

Standard LED structure

- 461nm B :  $x_{\text{InN}}=0.18, \Delta a=2\%$
- 527nm G :  $x_{\text{InN}}=0.27, \Delta a=3\%$
- 586nm Y :  $x_{\text{InN}}=0.34, \Delta a=3.7\%$
- 637 nm R :  $x_{\text{InN}}=0.39, \Delta a=4.3\%$

# LEDの将来



日本

世界の照明用電力量 1724TWh (2000)  
白色LEDができれば400TWhまで削減可能！ 3/4節電！

Light up the World  
With White LEDs and Solar Cells

<http://www.lutw.org/home.htm>



+

