

赤崎先生・天野先生 ノーベル物理学賞への軌跡

名古屋大学名誉教授・特任教授
科学技術交流財団シンクロトロン光センター
竹田美和(よしかず)

①なぜ青色が必要か？

②なぜ青色発光ダイオード(LED)ができなかったか？

③なぜ青色LEDができたか？

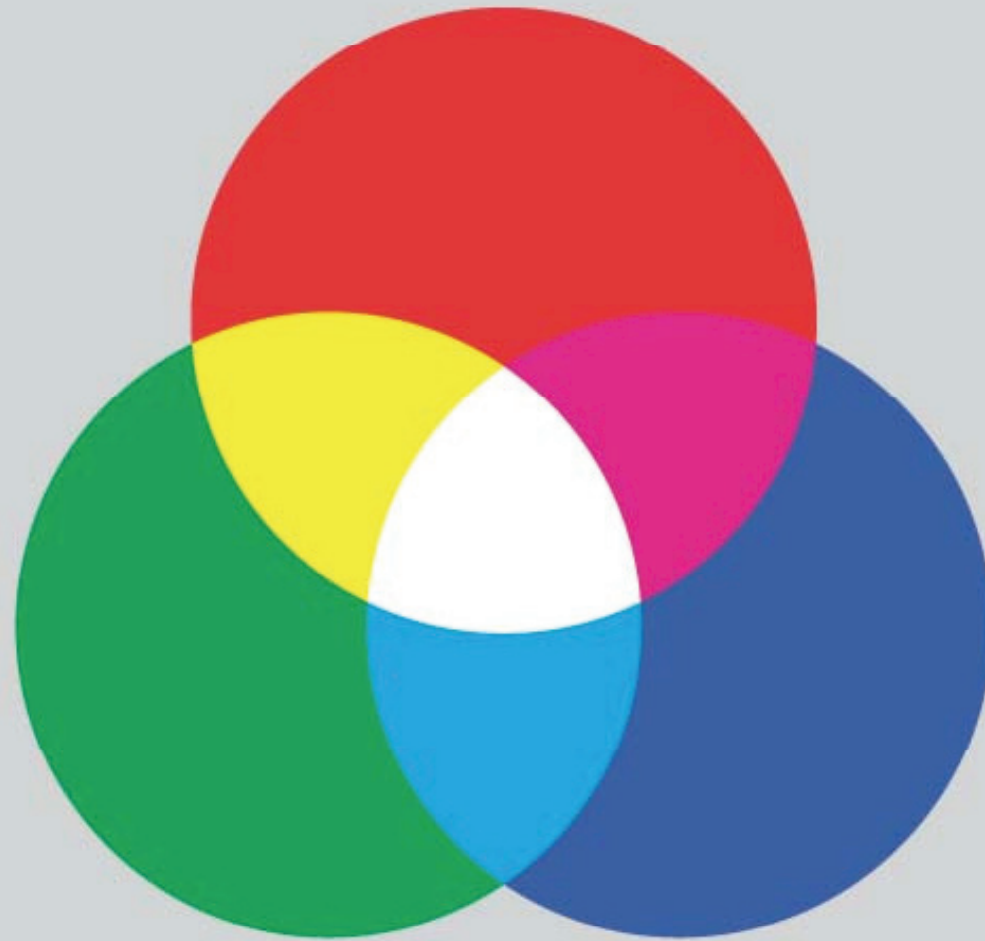
④どこに使われているか？

①なぜ青色が必要か？

②なぜ青色発光ダイオード(LED)ができなかったか？

③なぜ青色LEDができたか？

④どこに使われているか？



光の三原色

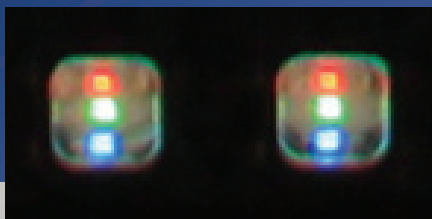
RGB(赤、緑、青)の組み合わせで人間の目に見えるあらゆる色を表すことができる)



赤崎記念研究館1階展示室

(全LEDディスプレイ: 畳4枚の大きさ)

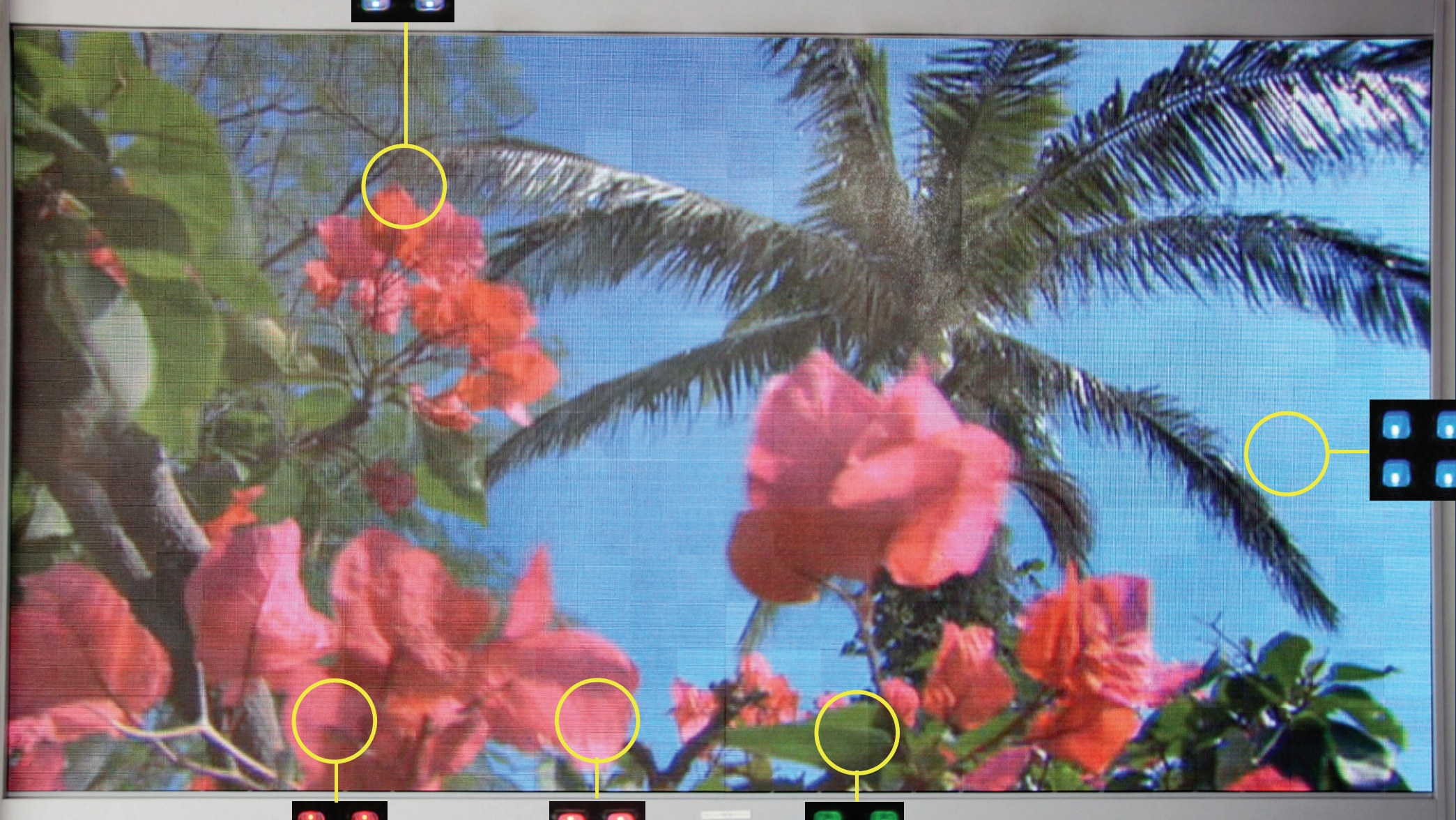
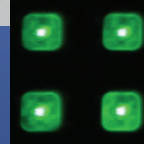
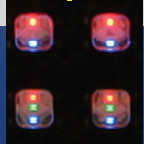
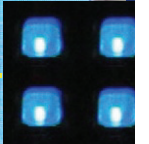
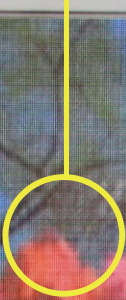
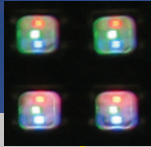
ここに見られる様々な色が3原色の組み合わせであることが次に示される



白(三色が均等に光っている)



ひとつのパッケージに3色のLEDがセットされている。
そのパッケージが50万個配置されている。



①なぜ青色が必要？

②なぜ青色発光ダイオード(LED)が
できななかったか？

③なぜ青色LEDができたか？

④どこに使われているか？

青色LEDの候補に3つの半導体があった。

- SiC (炭化珪素)
- ZnSe (セレン化亜鉛)
- GaN (窒化ガリウム)

青色LEDの候補に3つの半導体があった。

- SiC (炭化珪素)

→1970年代にp-n接合は出来ていた。しかし、光りにくい材料であったため、明るいLEDにならなかった。

- ZnSe (セレン化亜鉛)

- GaN (窒化ガリウム)

青色LEDの候補に3つの半導体があった。

- SiC (炭化珪素)

- ZnSe (セレン化亜鉛)

 - 1990年代に本命として世界中で研究された。
しかし、結晶が脆いため寿命が短かった。

- GaN (窒化ガリウム)

青色LEDの候補に3つの半導体があった。

▪ SiC (炭化珪素)
→ 別の用途へ

▪ ZnSe (セレン化亜鉛)

▪ GaN (窒化ガリウム)

→ 丈夫でよく光ることから1970年代に研究されたが、よい結晶を作るのが大変難しく、ほとんどの人があきらめていた。20世紀中にはできないと考えられていた。

GaN(窒化ガリウム)の難しさ。

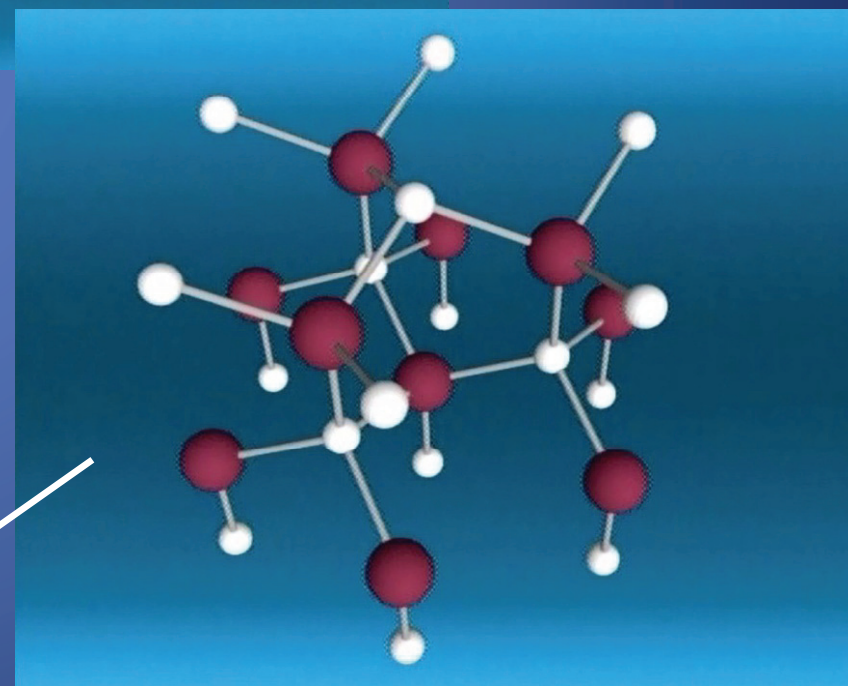
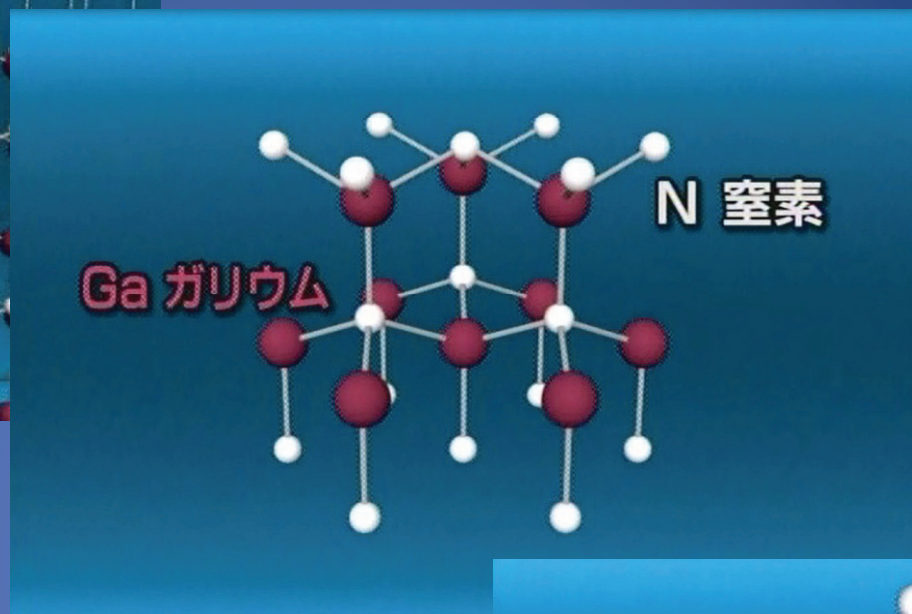
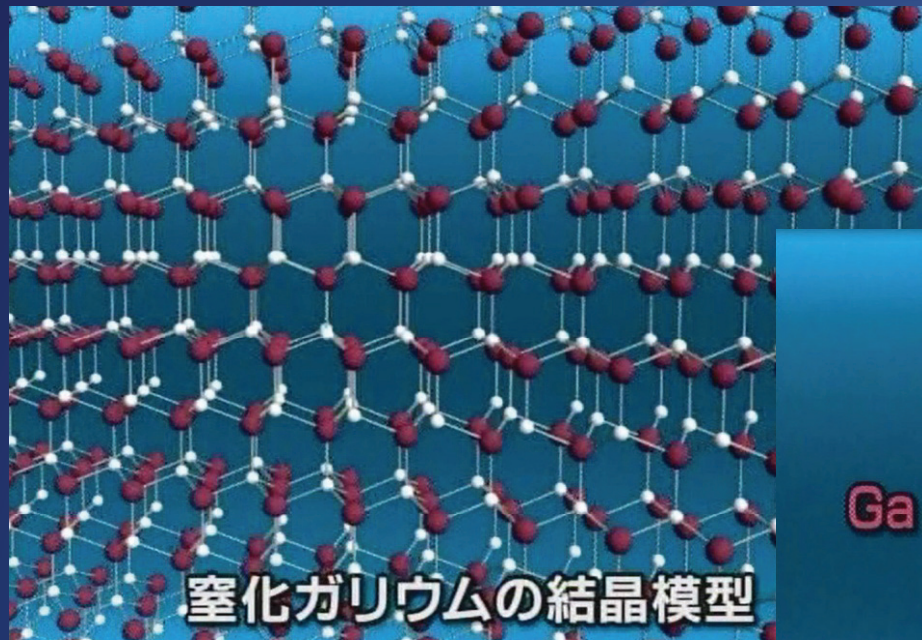
- 過酷な条件が必要(大量のアンモニア、高温)
- 下地となる適切な結晶(基板)がない。

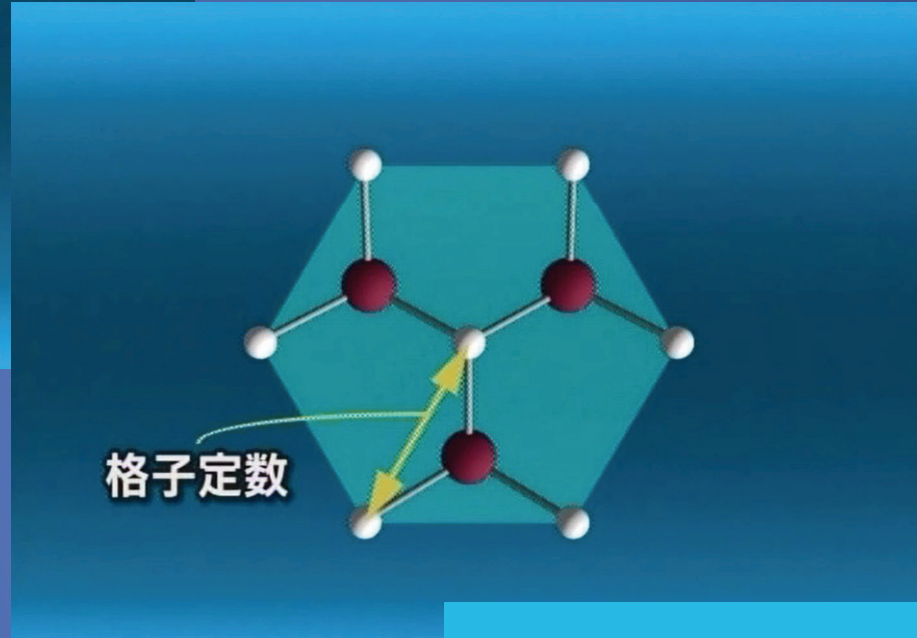
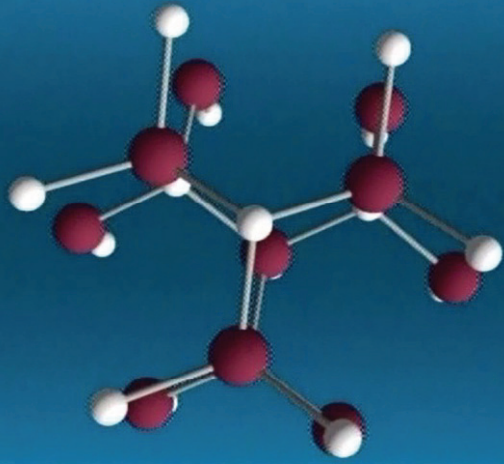
→丈夫なサファイアを用いざるを得なかった。

更に、致命的なのは、

- ダイオードに必要なp型とn型、特にp型ができなかった。

明るく、寿命の長いGaNのLEDを作るにはこれらを全て克服する必要がある。





大きい格子不整合



サファイア



窒化ガリウム

立ちふさがる大きな壁。



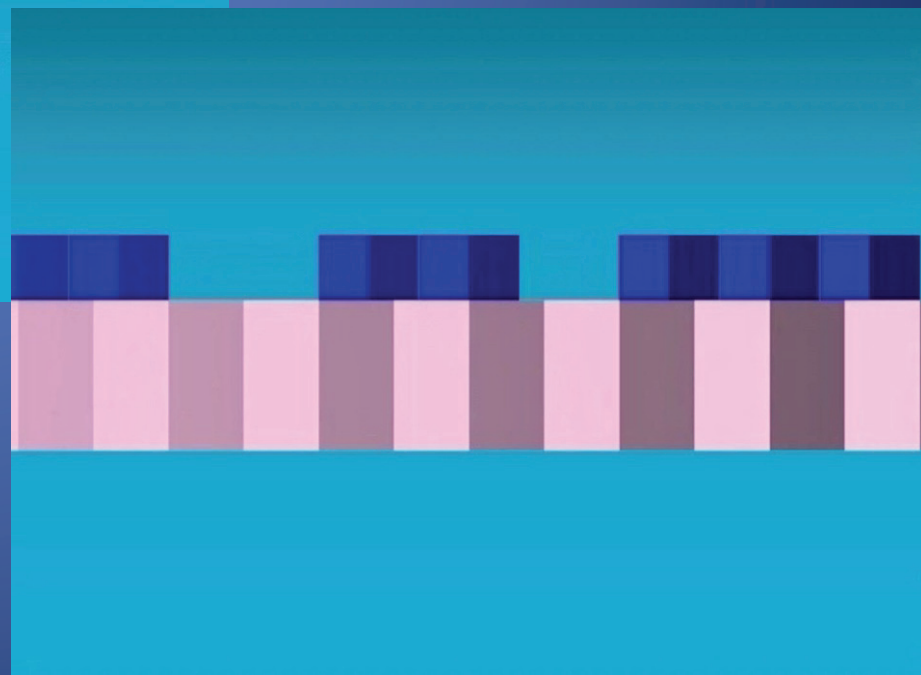
サファイア



窒化ガリウム



島状成長



サファイア基板上の窒化ガリウム結晶

電子顕微鏡写真

2 μ m

多結晶

立ちふさがる大きな壁



従来の成功例:

AlGaAs	GaInAsP	GaInP	ZnSe
GaAs	InP	GaAs	GaAs

同じ結晶形、同じ格子定数←黄金律であった

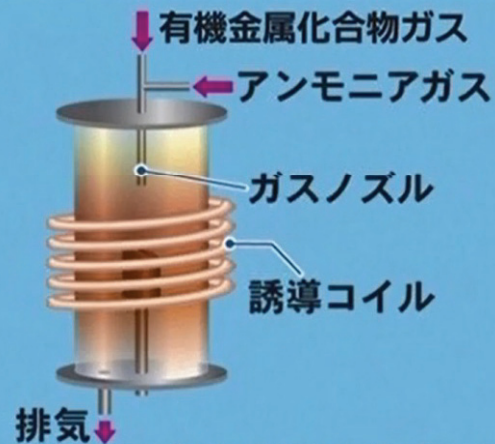
①なぜ青色が必要？

②なぜ青色発光ダイオード(LED)が
できななかったか？

③では、なぜ青色LEDができたか？

④どこに使われているか？

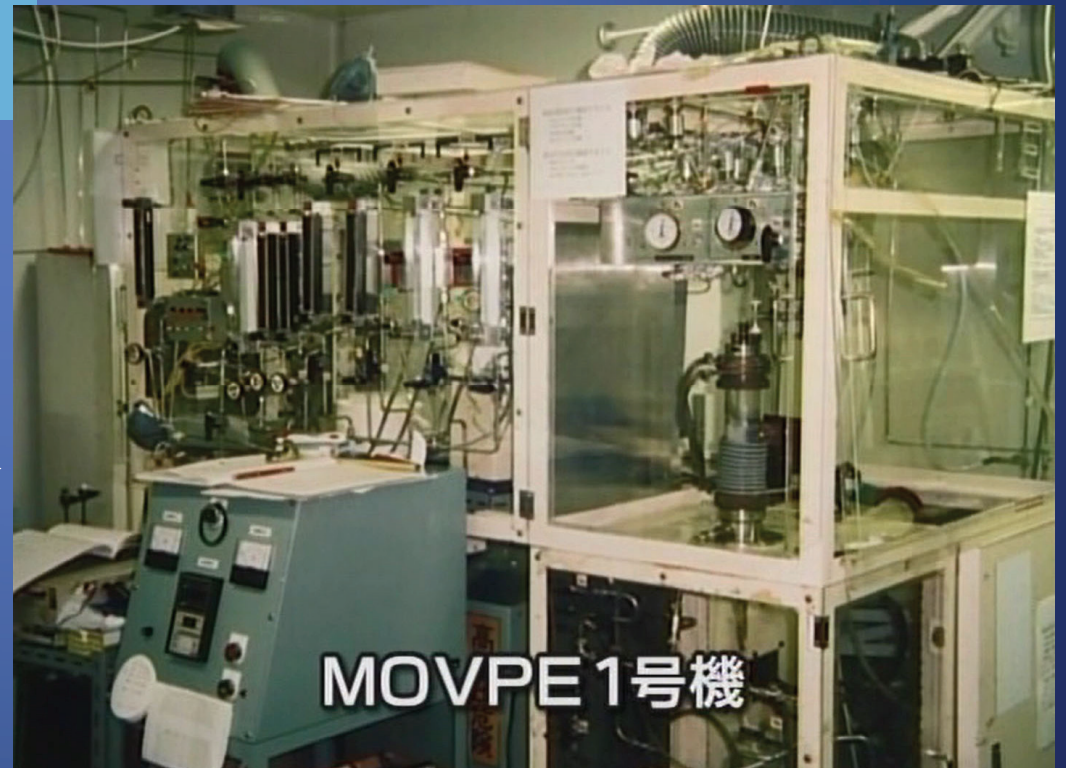
MOVPE(有機金属化合物気相エピタキシー)法



赤崎は松下時代の1979年から狙いを定めていたMOVPEに名古屋大学で取り組む

天野浩君達学生が作った成長装置。
GaN単結晶を世界で初めて成長した。

すべての始まり。



MOVPE 1号機

高い品質の単結晶：画期的なブレークスルー

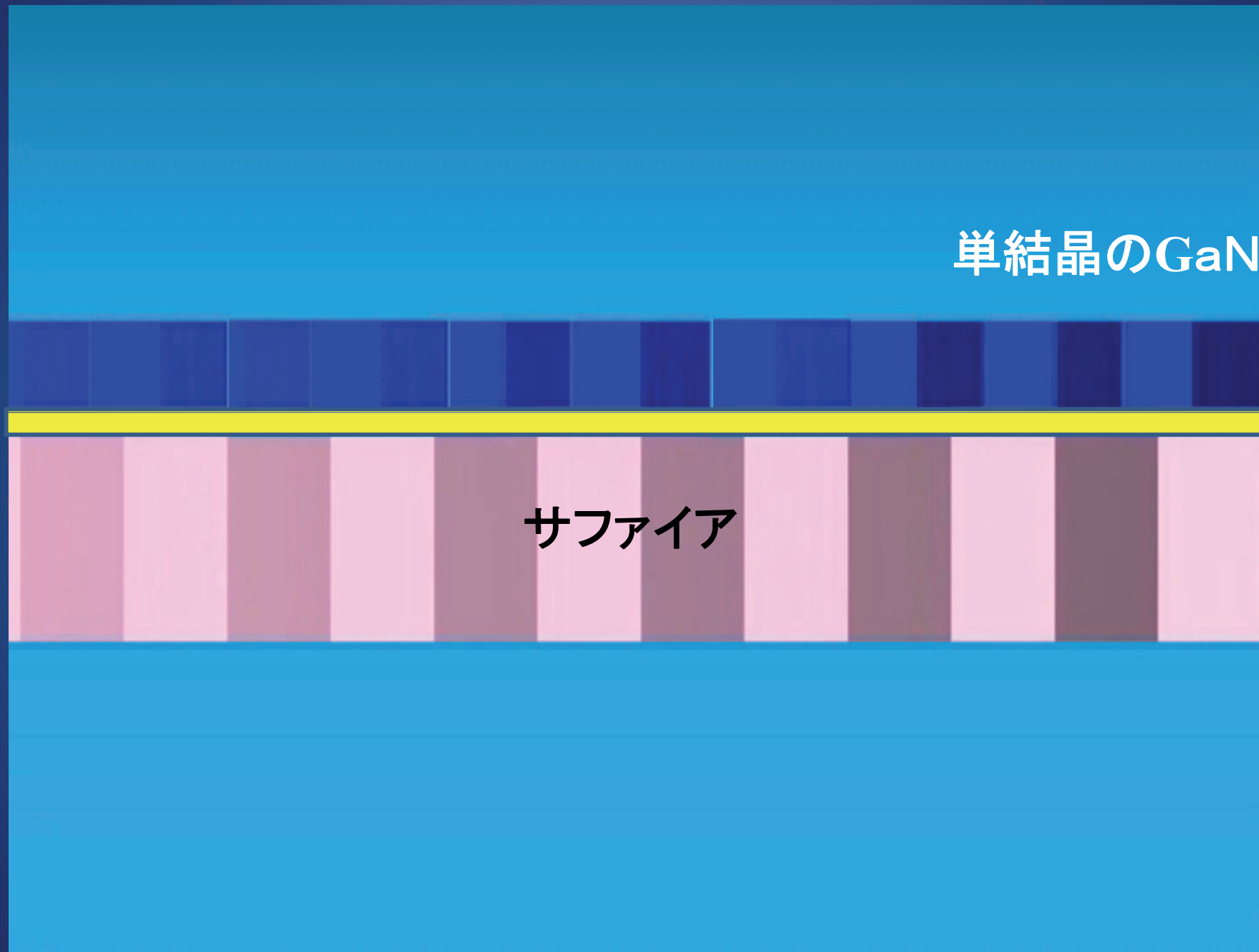
木(サファイア)に竹(GaN)をつなぐ
低温緩衝層(座布団)



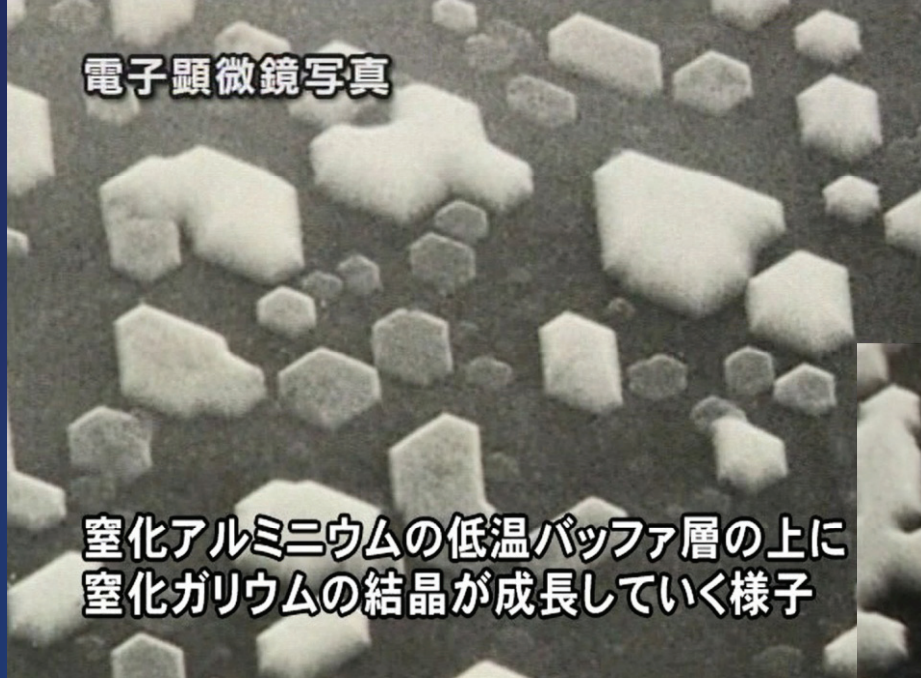
- ・表面が平坦で、
- ・薄く、
- ・微結晶を含む非晶質AIN層

単結晶のGaN

サファイア

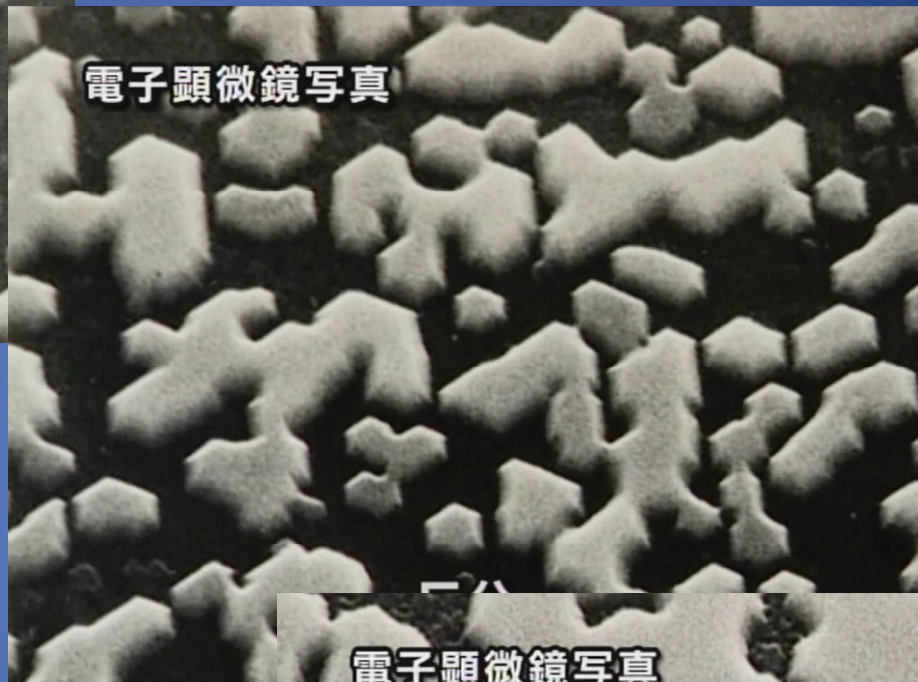


電子顕微鏡写真

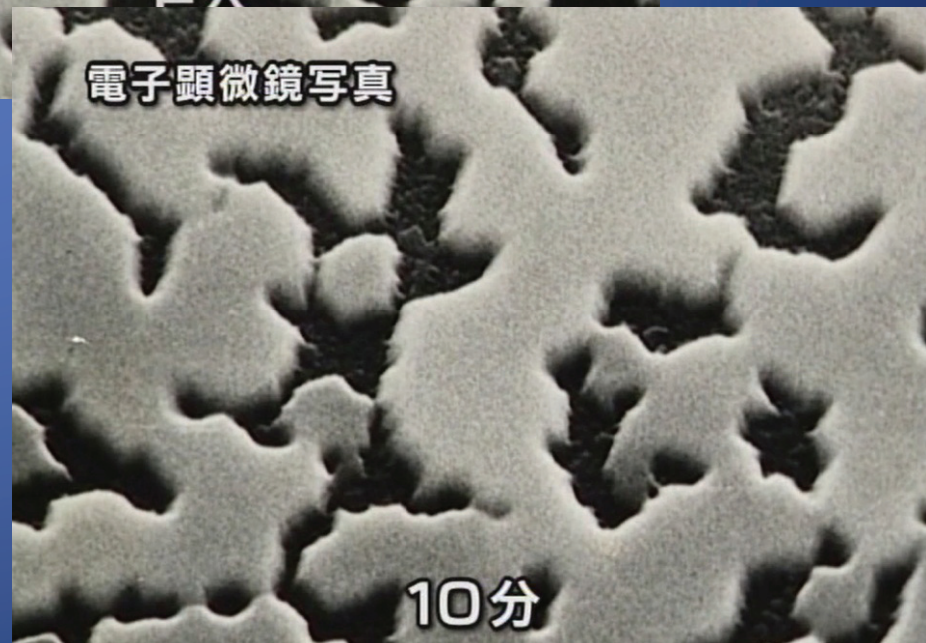


窒化アルミニウムの低温バッファ層の上に
窒化ガリウムの結晶が成長していく様子

電子顕微鏡写真



電子顕微鏡写真



10分

電子顯微鏡写真

15分

電子顯微鏡写真

20分

高品質単結晶ができたこと(1986年)が、
次の

p型GaN(1989年)、

制御されたn型(1989年)、

につながり、そして

p-n接合ダイオードができた(1989年)。

松下・東京技研

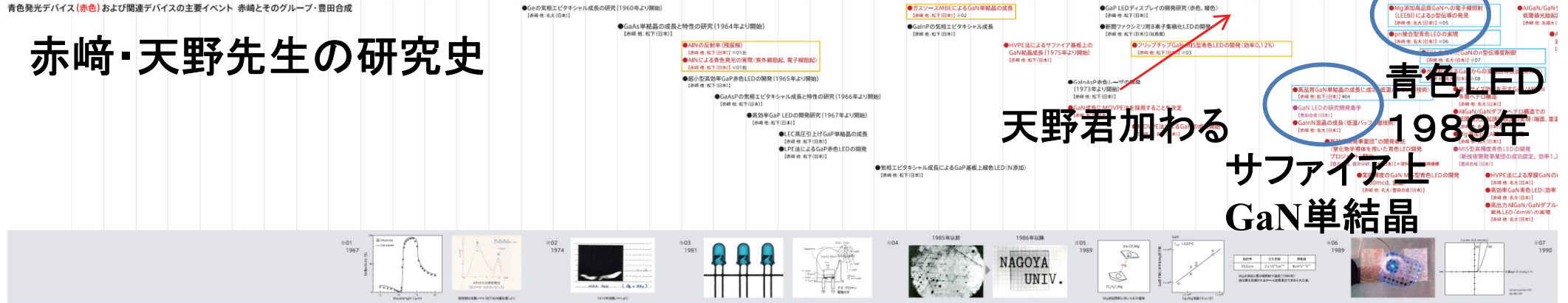
名古屋大学

青色発光ダイオードの研究開発史



青色発光デバイス (赤色) および関連デバイスの主要イベント 赤崎とそのグループ・豊田合成

赤崎・天野先生の研究史



天野君加わる
1989年
サファイア上
GaN単結晶

青色LED

青色発光デバイスの主要イベント 他のグループ、他の材料



トランジスタの発明 1948年

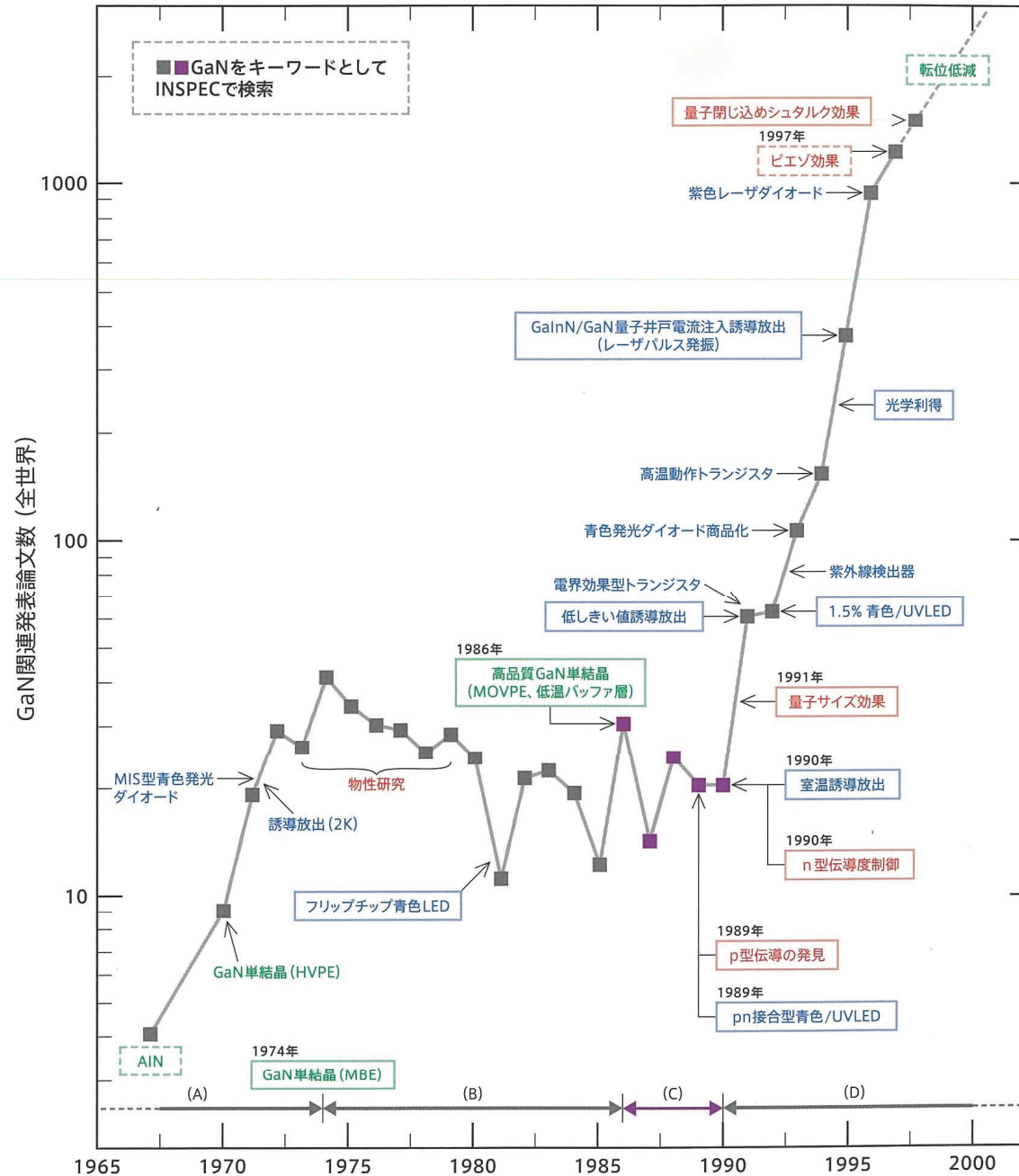
赤外のLED 1955年

1970年代に 青色発光研究のブームがあった



可視(赤)のLED 1962年(Holonyak)

□ 中の重要事項
赤崎、または
赤崎・天野の成果



①なぜ青色が必要？

②なぜ青色発光ダイオード(LED)ができなかったか？

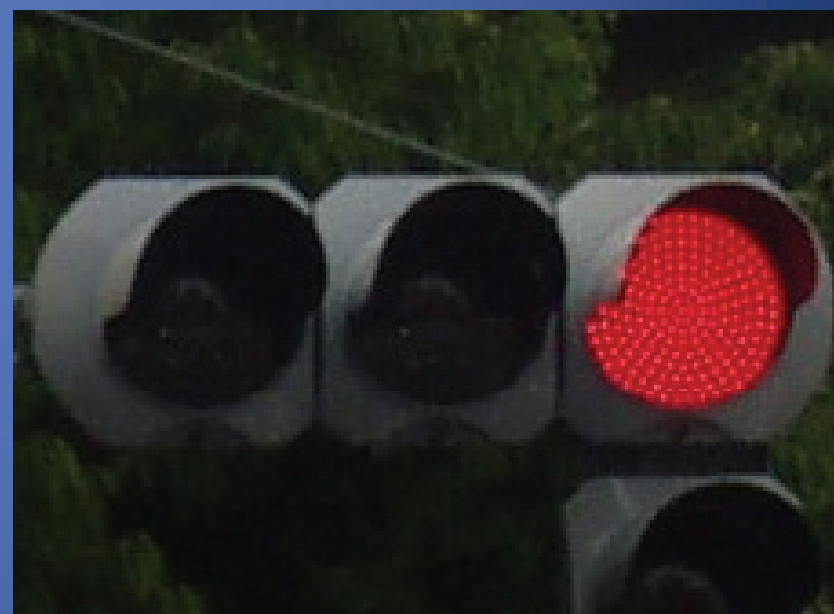
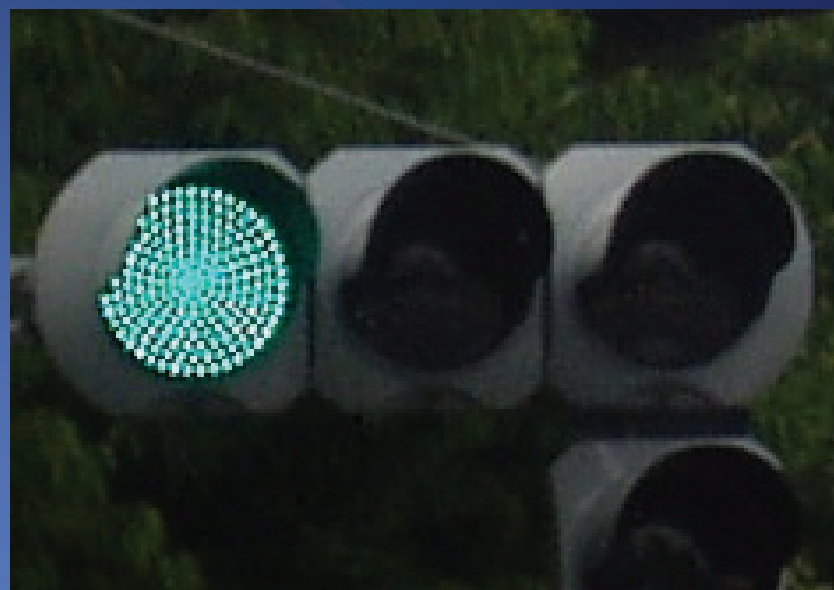
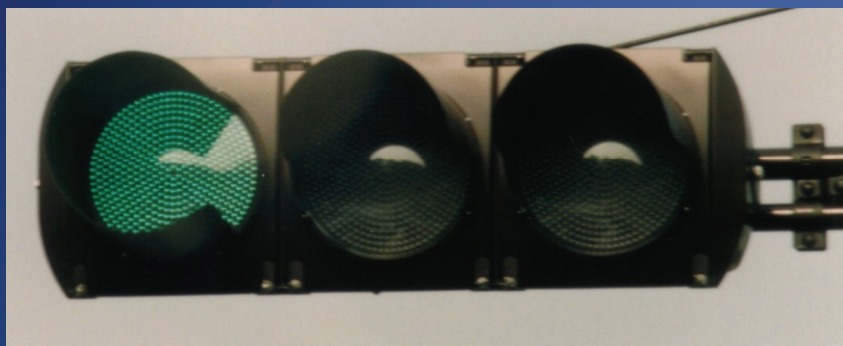
③なぜ青色LEDができたか？

④どこに使われているか？



2001年 赤崎記念研究センター開所を記念して
赤色LEDを青色LEDに。

名古屋大学豊田講堂
槇 文彦の最初の作品。ニューヨークの
ワールトレードセンターの第4棟を設計。



2001年(名大前)

LED: 600個

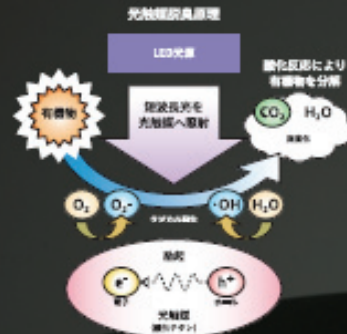
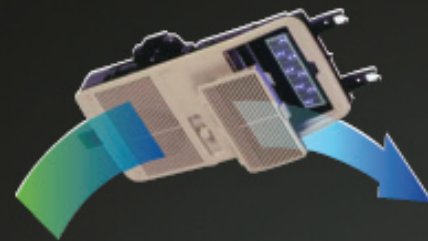
現在(山手通1丁目)

LED: 200個

X LEDの応用製品

車載用光脱臭空気清浄機のしくみ

- 「光触媒+短波長(TG Purple) LED」(世界初)の組み合わせによる分解脱臭で、従来とれにくかった臭いを除去
- 高性能・薄型の天井ビルトイン空気清浄機(世界初)



室内照明ユニット



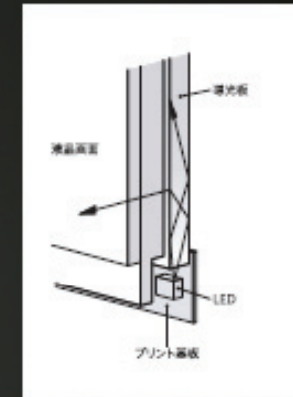
点灯時



消灯時

携帯電話のバックライトのしくみ

- 数個の白色LEDの発光が導光板により、液晶画面全体を均一に光らせる



車のフロントパネル (バックライトに使われている)

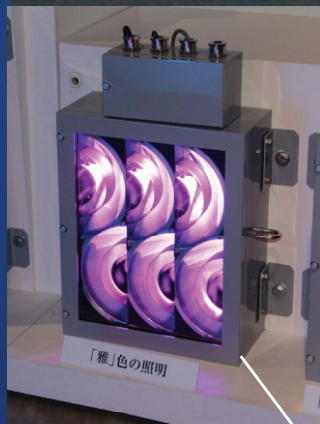


2009年11月



JR高島屋(名古屋)

LEDによるライトアップ (スカイツリー)



瞬時に変わる舞台照明
(ワルシャワ工科大学)





LED投光器(ワルシャワ工科大学)





第1世代
炎



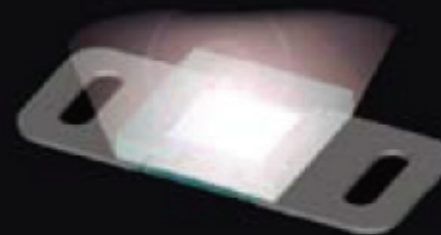
第2世代
白熱電球
発光効率：15 lm/W

132年前



第3世代
蛍光灯
発光効率：75 lm/W

77年前



第4世代
LED照明
発光効率：100 lm/W (現状)
→ 200 lm/W (将来)



現在の青色 LED
[白色光の素 (もと)]
明るくて省エネ！

照明用光源の変遷



第1世代
炎



第2世代
白熱電球
発光効率：15 lm/W

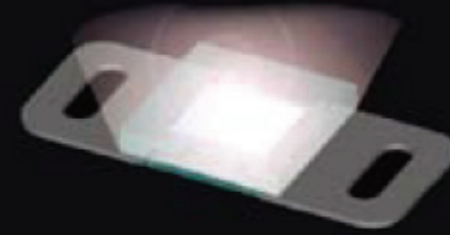
132年前

エジソン



第3世代
蛍光灯
発光効率：75 lm/W


77年前



第4世代
LED照明
発光効率：100 lm/W (現状)
→ 200 lm/W (将来)

白熱電球→LED

赤崎先生を
現代のエジソン
と呼ぶ人もいる



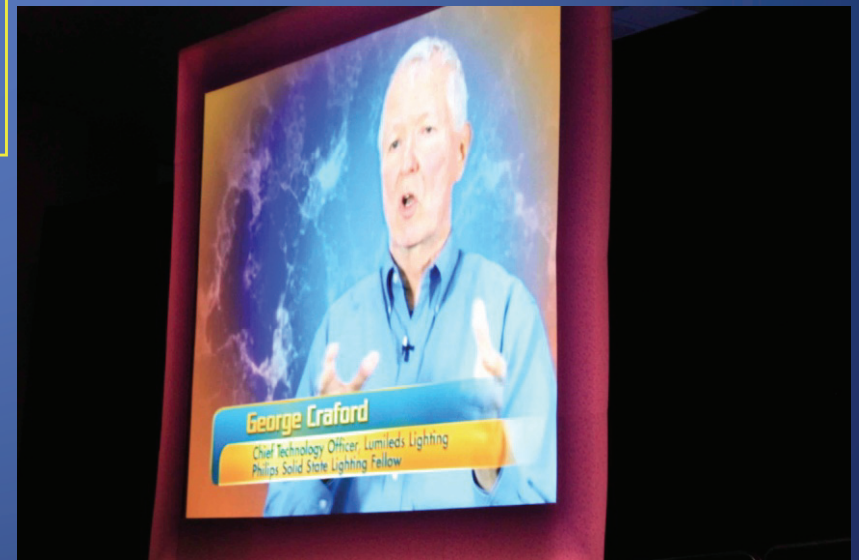
現在の青色 LED
[白色光の素 (もと)]
明るくて省エネ！

照明用光源の変遷



授賞式の表題が
“Power of Persistence”
「継続は力なり」

エジソン・メダル受賞スピーチ
(2011年8月 サンフランシスコ)



推薦者はアメリカの研究者



スウェーデン王立科学
アカデミーでの講演
2005年6月
(JSPSとの共同開催)



飯島先生



Monemar先生

スウェーデン王立工学
アカデミーでの講演
2014年5月
(JSPSとの共同開催)



スウェーデン側の講演者全員が
赤崎先生の業績をたたえた



赤崎・天野 受賞歴 (赤色はJACGまたはIOCGによる授賞、顕彰)

1989年 日本結晶成長学会論文賞 (赤崎)

1991年 中日文化賞 (赤崎)

1994年 オプトエレクトロニクス会議特別賞 (赤崎、天野、中村)

日本結晶成長学会創立20周年記念技術貢献賞 (赤崎)

1995年 International Symposium on Compound Semiconductors Award及び
Heinrich Welker Gold Medal (赤崎)

1996年 IEEE/LEOS Engineering Achievement Award (赤崎、天野、中村)

1997年 紫綬褒章 (赤崎)

1998年 Laudise Prize (結晶成長学国際機構) (赤崎)

井上春成賞 (赤崎、豊田合成)

応用物理学会会誌賞 (赤崎、天野)

C&C Prize (赤崎、中村)

IEEE Jack A. Morton Award (赤崎、中村)

Rank Prize (中村、赤崎、天野、Pankove)

1999年 IEEE Fellow (赤崎)

ECS Solid State Science & Technology Award (赤崎)

Medal of Citizen of Honor of Montpellier (赤崎、中村)

Honoris Causa Title (University of Montpellier) (赤崎)

2000年 東レ科学技術賞 (赤崎)

2001年 朝日賞(赤崎、中村)

丸文学術賞(天野)

Honoris Causa Title(Linkoping University)(赤崎)

2002年 応用物理学会業績賞(赤崎)

藤原賞(赤崎)

旭日中綬章(赤崎)

武田賞(赤崎、天野、中村)

日本結晶成長学会名誉会員(赤崎)

2003年 日本学会議会議長賞(赤崎)

固体素子材料国際会議賞(SSDM賞)(赤崎、天野)

2004年 文化功労者(赤崎)

第1回P&Iパテントコンテスト(パテント・オブ・ザ・イヤー)(真鍋、加藤、
赤崎、平松、天野)

東海テレビ文化賞(赤崎)

2006年 TMS John Bardeen賞【アメリカ】(赤崎)

日本結晶成長学会第1回業績賞(赤崎)

2007年 日本学術振興会ワイドバンドギャップ半導体光・電子デバイス

第162委員会特別功績賞(赤崎)

2008年 米国工学アカデミー外国人会友(赤崎)

2008年 日本結晶成長学会論文賞(天野)

2009年 京都賞(赤崎)

2010年 日本結晶成長学会・業績賞→業績賞・赤崎賞を創設

2011年 応用物理学会名誉会員(赤崎)

Edison Medal(赤崎)

知的財産特別貢献賞(赤崎)

南日本文化賞特別賞(赤崎)

文化勲章(赤崎)

2012年 日本結晶成長学会・技術賞

(豊田合成:柴田、牛田、斎藤、奥野、日亜化学:向井、長濱、森田、成川)

【窒化物半導体発光素子の技術開発と量産化】

2013年 SID K. F. Braun賞(赤崎)

2014年 大川出版賞(赤崎)

恩賜賞・日本学士院賞(赤崎)

2014年 ノーベル物理学賞(赤崎、天野、中村)

2014 Physics Prize



Ill: N. Elmehed. © Nobel Media 2014

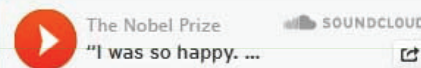
2014 Nobel Prize in Physics

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".

[→ Press release](#)



Cookie policy



The Nobel Prize

SOUNDCLOUD

"I was so happy. ..."

3:53

▶ 7,085

Physics Laureate Shuji Nakamura: "I was so happy. And I was so surprised!"

Shuji Nakamura was asleep in California when he got the call that he had been awarded the 2014 Nobel Prize in Physics together with Isamu Akasaki and Hiroshi Amano. But now there's "No time for sleep. No time for rest.". Hear how he reacted when he got the call from Stockholm.

[→ Transcript of the interview](#)



The Nobel Prize

"I was overwhe..."

3:18

Isamu Akasaki: "I was overwhelmed."

Hear Isamu Akasaki talk about his reaction and the many congratulatory messages he received: "This shows the authority and greatness of the Nobel Prize".

[→ Transcript of the interview](#)