

次世代超スマート社会を支える 窒化物半導体デバイス

平成28年10月13日
名古屋大学
天野 浩



世界の文化と伝統を守るLED照明



LED lamp !



Mongolia Ger



Mr. Luvsannyam Gantumur,
Minister for Education and
Science of Mongolia



The Official Web Site of the Nobel Prize

The LED lamp holds great promise for increasing the quality of life for over **1.5 billion** people around the world who lack access to electricity grids: due to low power requirements it can be powered by cheap local solar power.



産官学連携による日本の青色LED開発の歴史



～2014年ノーベル物理学賞受賞研究～



赤崎 勇
(名古屋大教授1981年着任)
1964年工学博士(名古屋大学)

**GaN※ワイドギャップ
青色発光**

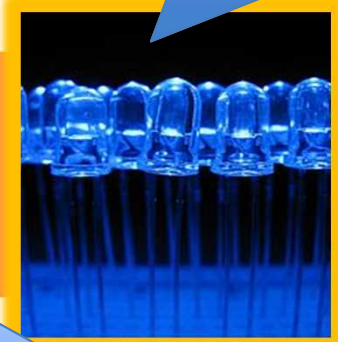
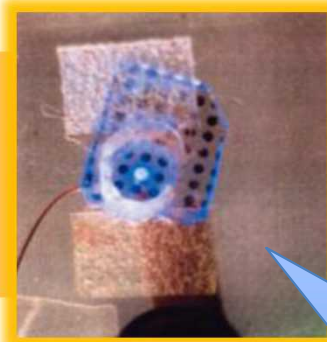
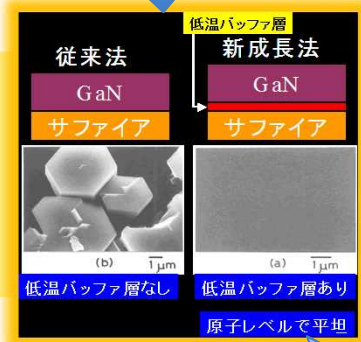
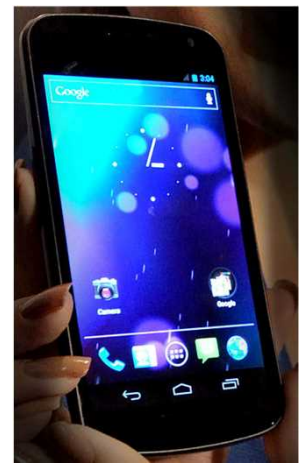
※GaN:窒化ガリウム



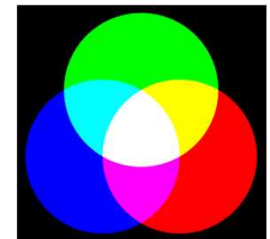
中村 修二
(現カリフォルニア大、元日亜化学)

1989～1993:InGaNによる高輝度化、
世界で初めて実用化に成功

スマートフォン
ディスプレイ



© Gussisaurio



**1999:白色
LED製品化**

黄色
蛍光体

バッファ層、p型

天野 浩

1988年名古屋大学工学部助手
1989年工学博士(名古屋大学)
名城大学理工学部講師・教授
名古屋大学工学研究科教授(2010～)



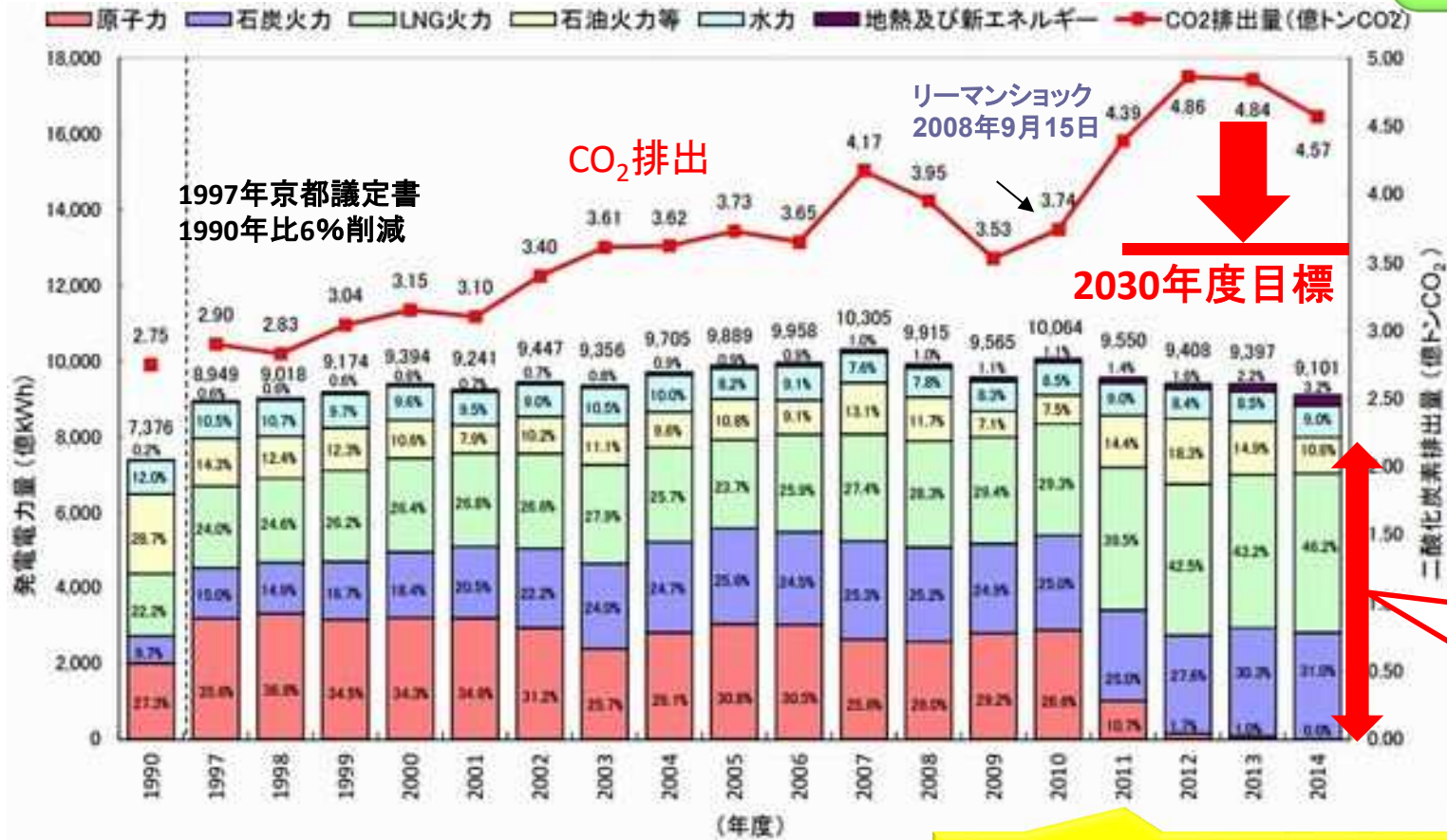
1987年共同研究開始
科学技術振興事業団 (JST)
受託研究
1995年:実用化

**豊田合成-JST-名大
(産官学連携)**

LEDはどれ位環境問題解決に貢献できるか?



2030年度までに
2013年比26%減



2011年3月11日 東日本大震災

火力
87.8%

<出典> 環境省のエネルギー需要対策(省エネ対策)(平成26年12月5日)

以下の資料を基に環境省が作成

【電源種別発電電力量】:「電源開発の概要」(資源エネルギー庁)、「2013年度の電源別発電電力量構成比」(電気事業連合会)

「電気事業における環境行動計画」(電気事業連合会)

【二酸化炭素排出量】:「電気事業における地球温暖化対策の取組」、「電気事業における環境行動計画」(電気事業連合会)※他社受電分含む。



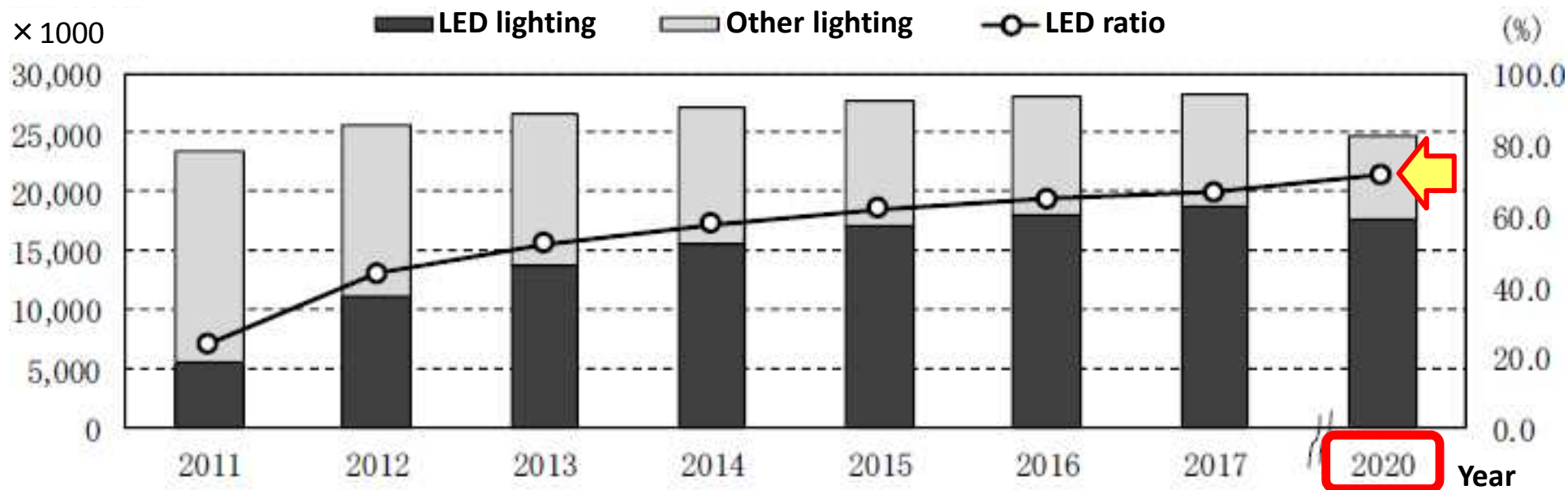
© 2014 United Nations Framework Convention on Climate Change

Historic Paris Agreement on Climate Change

196 Nations Set Path to Keep Temperature Rise Well Below 2 Degrees Celsius

The landmark Paris agreement on climate change will enter into force on Nov. 4.

日本におけるLED照明の省エネ効果



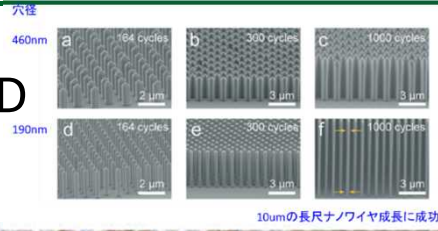
Data from Fuji Chimera Research Institute, Inc.,
2014 LED Related Market Survey

2020年に7% (=1兆円)の節電

新世代ディスプレイによる省エネ効果



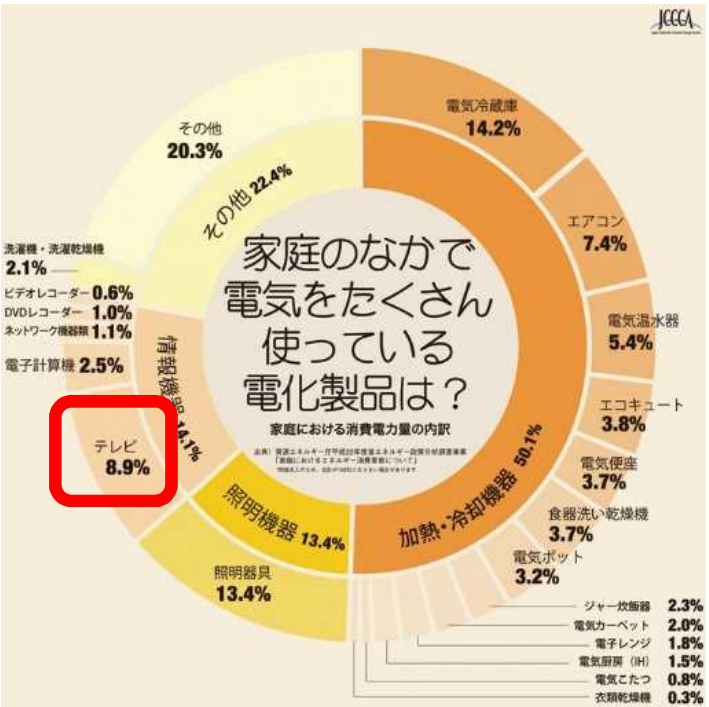
ナノロッドLED



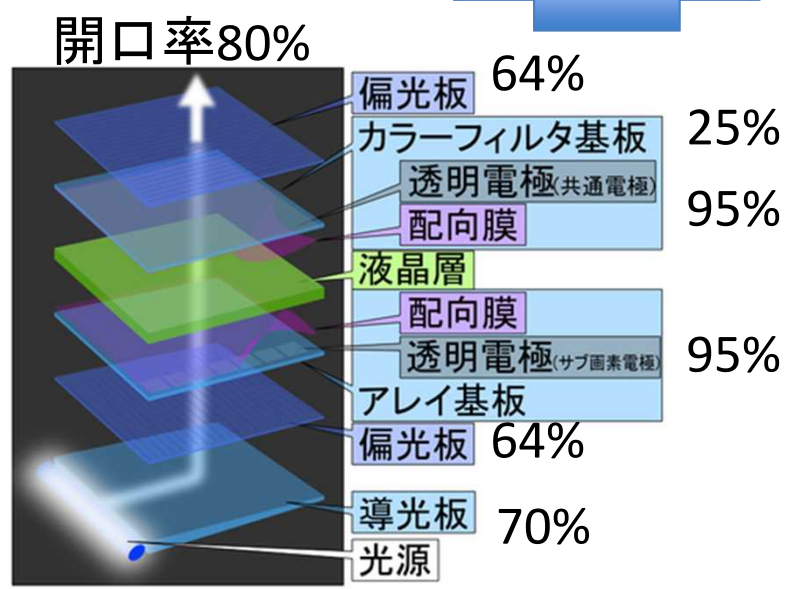
10μmの長尺ナノワイヤ成長に成功



次世代4Kスマホ



SONY CRYSTAL LED DISPLAY (CLEDIS) 自発光オールLEDディスプレイ 効率>4倍



資源エネルギー庁平成22年度
省エネルギー政策分析調査事業「家庭におけるエネルギー消費実態について」

TV 8.9% ⇒ <3%

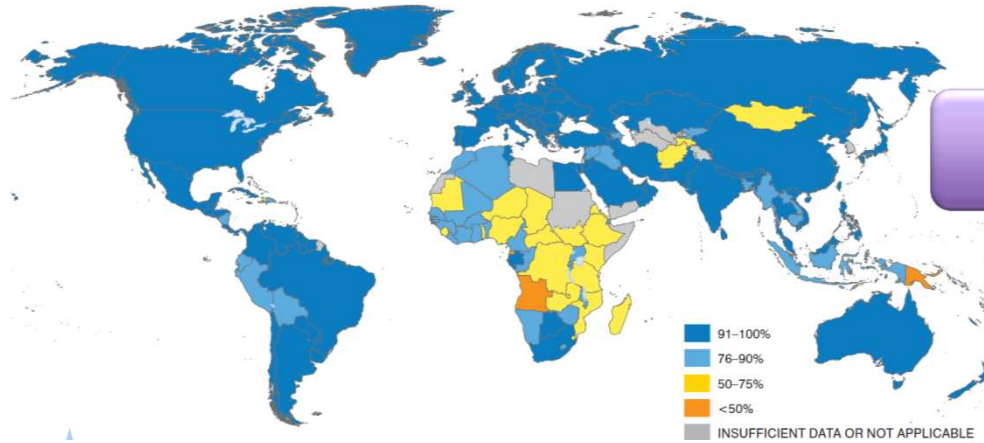
現状の液晶ディスプレイ 総合光透過率: 5%!

水問題解決への貢献



6.63億人

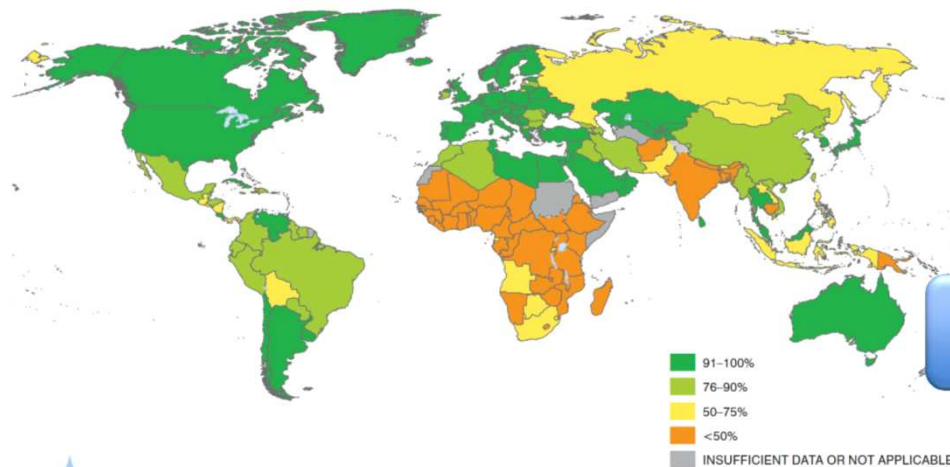
安全な飲み水にアクセスできない



Unicef
World Health Organization,
Progress on Drinking Water and Sanitation
2015 Update

24億人

衛生的なトイレを使えない



15億人よりさらに多い！

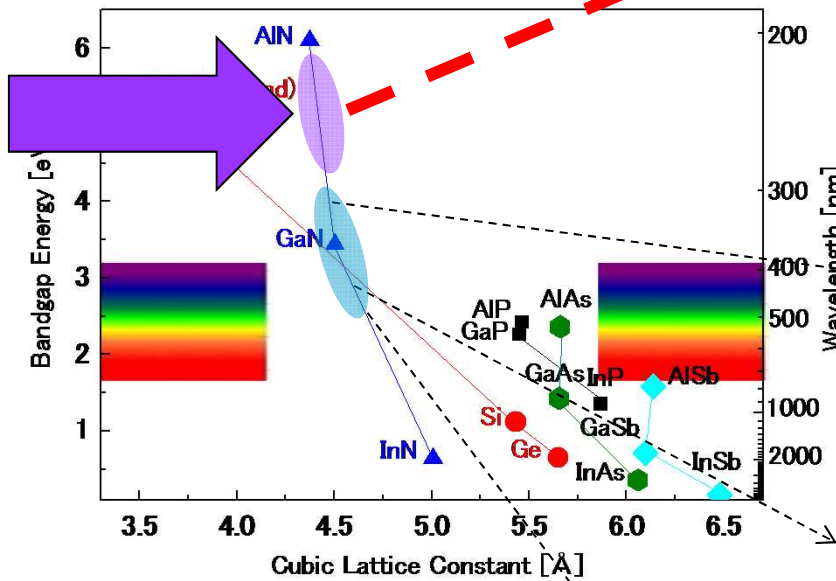
Fig.16 Proportion of the population using improved sanitation facilities in 2015

高Al組成AlGaInへの挑戦



高品質AlGaIn結晶が鍵！

$$a_{cubic} = \sqrt[3]{\sqrt{3} \times a_w^2 \times c_w}$$



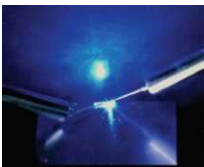
NIKKISO

<http://blogs.unicef.org/2014/03/20/world-water-day-2014-the-forgotten-768-million/>

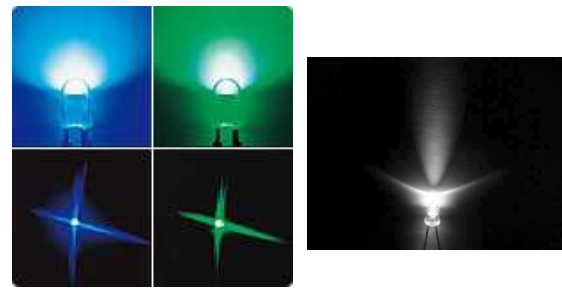
#WATER IS SCARCE
FOR AS MANY PEOPLE AS ROUGHLY THE POPULATION OF EUROPE
THAT'S 768 MILLION PEOPLE WHO DON'T HAVE ACCESS TO SAFE WATER
unicef



スマートフォン基地局用高周波トランジスタ
<http://www.sei.co.jp/newsletter/2010/09/6a.html>



ブルーレイ レーザー



青色, 緑色, 白色LED

深紫外線LEDの社会実装



株式会社 富士キメラ総研
Fuji Chimera Research Institute, Inc.

(単位:100万個、100万円)

摘要	年次	実績		見込	予測			年平均成長率(%) ('20/'15)	
		2014	2015	2016	2017	2018	2019		2020
6.1.4	出荷数量	6	7	9	15	31	53	92	65.7
紫外光	前年比(%)	-	115.6	121.6	164.4	211.5	170.3	173.2	
	出荷金額	5,800	6,000	11,600	31,300	57,200	67,300	83,000	69.1
	前年比(%)	-	103.4	193.3	269.8	182.7	117.7	123.3	

2016 LED関連市場総調査p.6

Average annual growth rate



図 1. 水殺菌モジュール外観写真



Water purification



Sterilizer

<http://news.livedoor.com/article/detail/10208189/>



© 2016 FESPA

Resin cure



Dermatology



© 2001 MIMAKI ENGINEERING CO., LTD

UV curing



Paper money discrimination

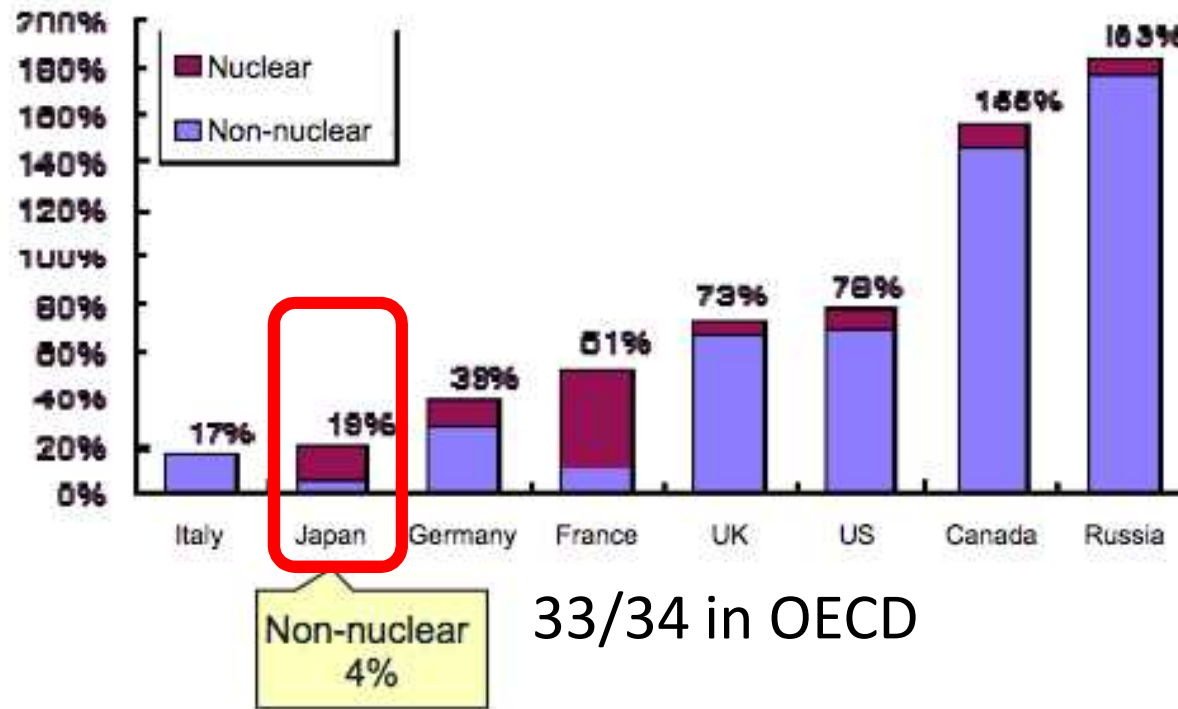


©2008 Beams Inc.
Photolithography

次に何ができそうか?

エネルギー低自給率解決＝新省エネルギー技術構築

Energy self-sufficiency rate of major countries (2010)



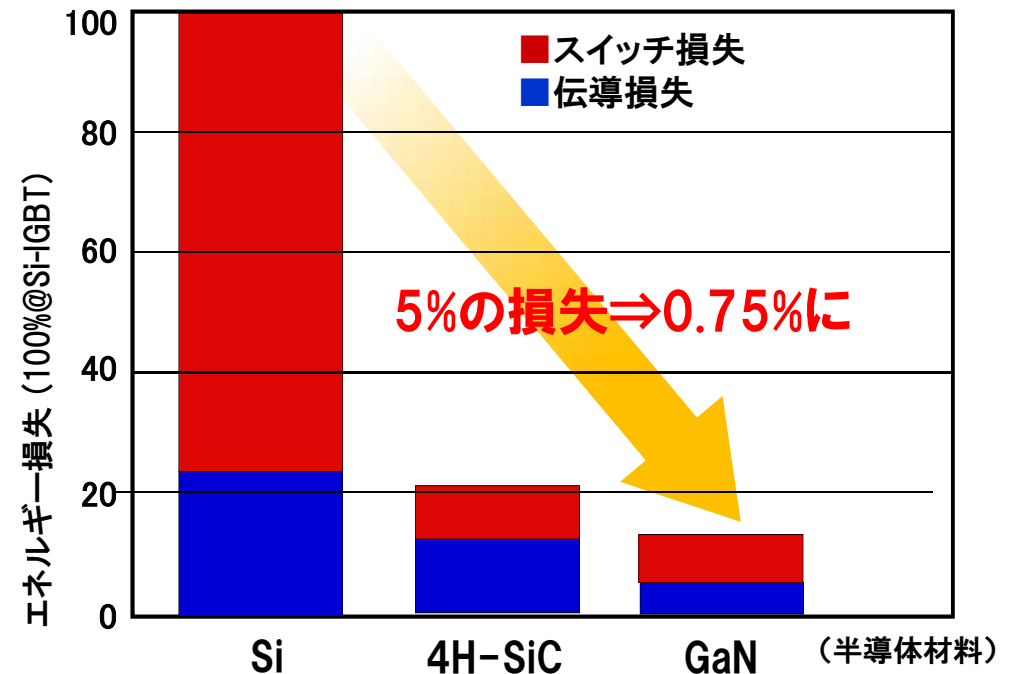
Copyright © 2016 Energy Post Productions. All Rights Reserved

日本の脆弱性

高効率パワー半導体 (電力の制御・供給に不可欠なデバイス)



GaNは最高効率電力変換デバイスを実現

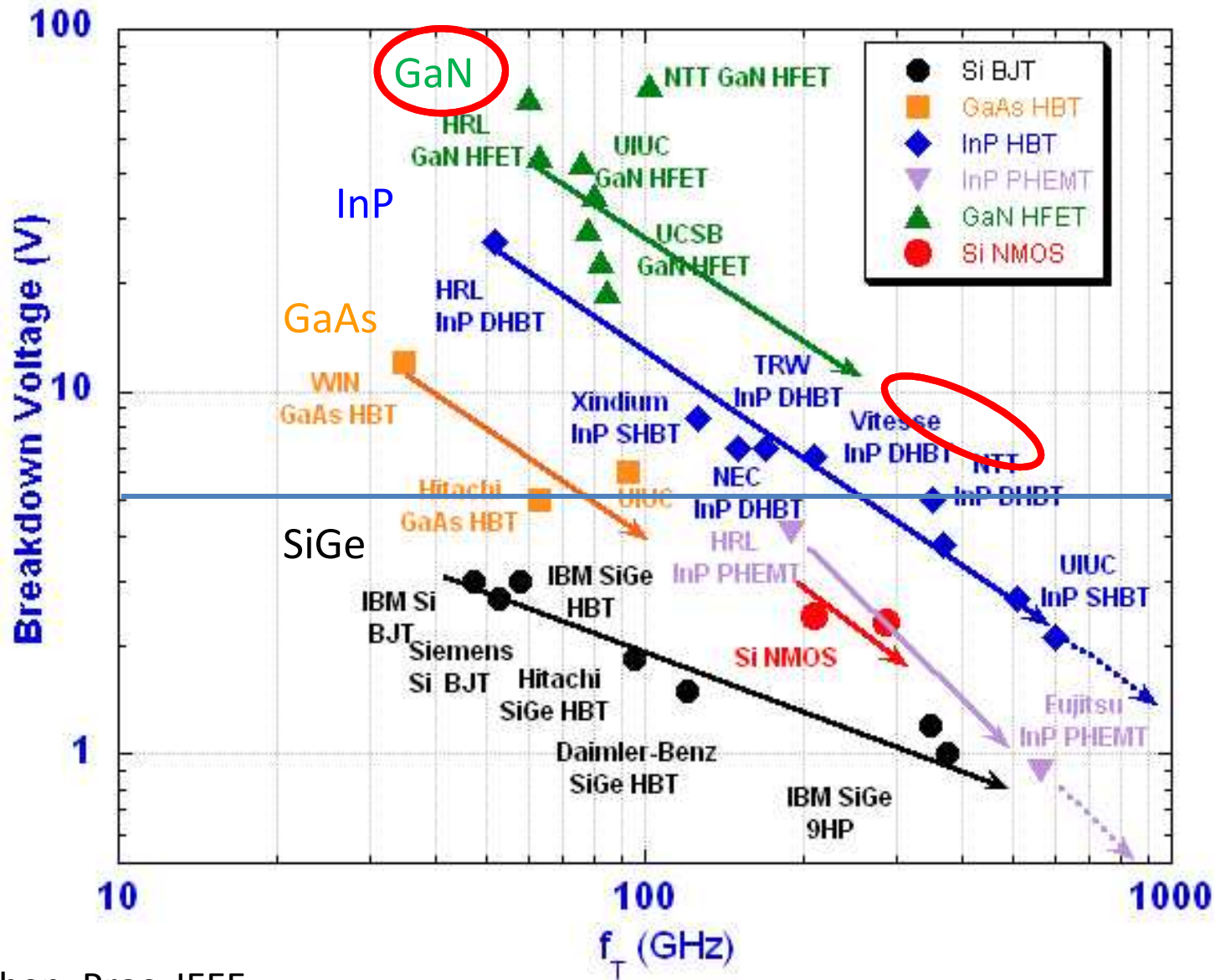


更に省エネルギーなエレクトロニクスを日本から

全発電量を更に約9.8%削減

LEDの7%と合わせ、2011年前の原子力発電分の半分を省電力化

次世代無線通信の切り札



「医療・介護分野」における技術の高度化・効率化に貢献する次世代超高速通信(5G)

高精細画像の高速転送により
遠隔医療に貢献

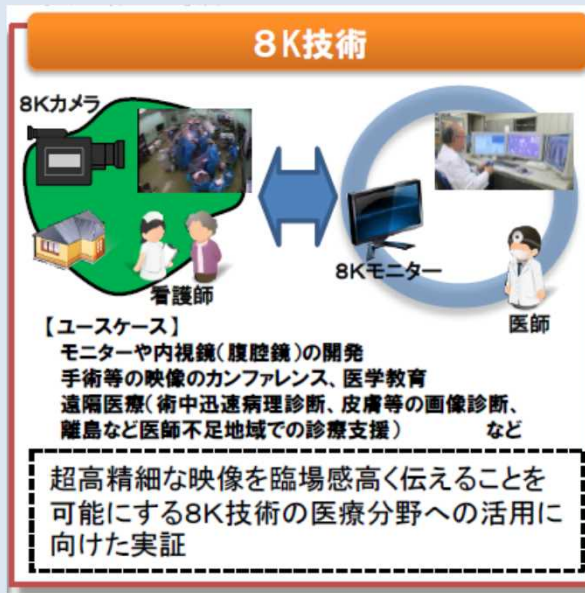


図 8K技術の活用可能性 ※

医療情報を活用するネットワークにより、モバイル端末を
含んだ情報連携基盤を構築



図 医療・介護情報連携ネットワーク ※

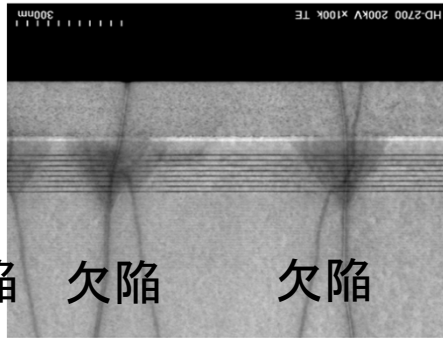
地方活性化

※引用資料

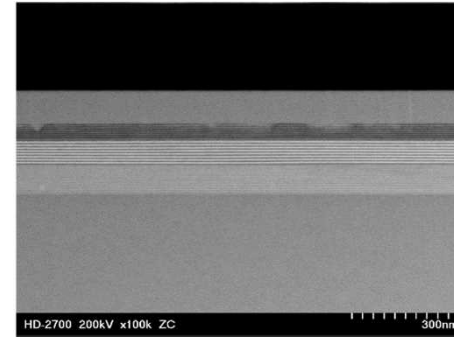
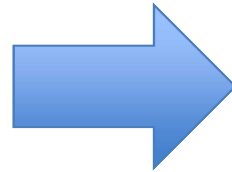
総務省 「クラウド時代の医療ICTの在り方に関する懇談会」 報告書概要(H27)
総務省 平成28年度版 情報通信白書

新たな窒化物結晶技術が どのようにデバイス特性向上に貢献するか？

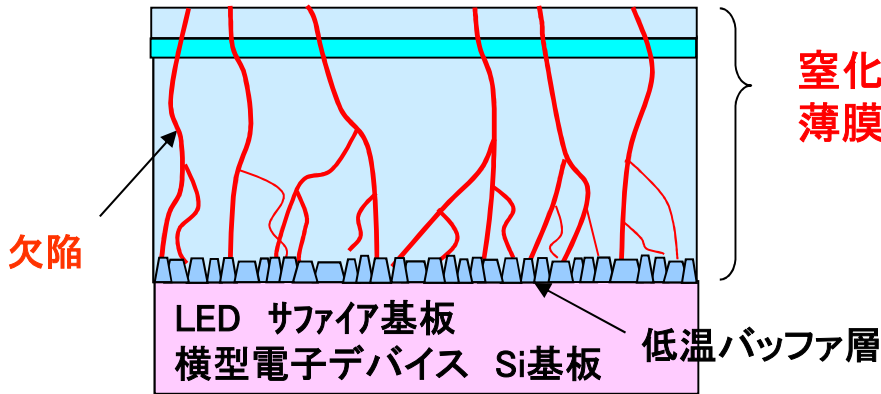
環境省プロジェクトで取り組んでいる技術開発



欠陥 欠陥 欠陥

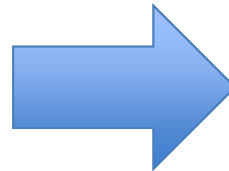


HD-2700 200kV x100k ZC 300nm



貫通転位密度 $\sim 10^8 \text{ cm}^{-2}$

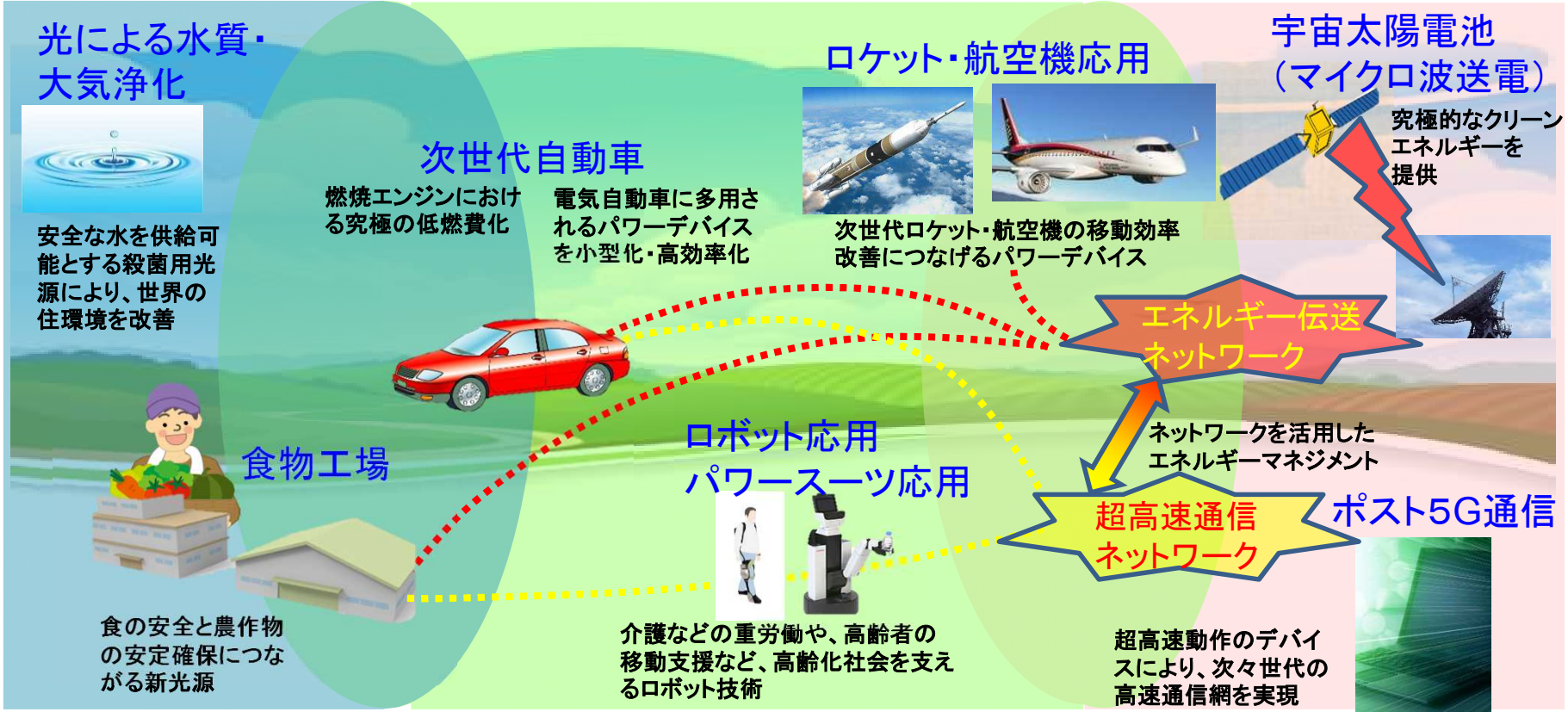
現行技術



高品位&原子層エピタキシーによる理論極限デバイス創成

新技術

GaNが拓く未来像



省エネ・環境に優しい社会
次世代の光源により、環境と人々の生活のいずれにも優しい省エネ社会の実現に貢献

安心・安全な社会
次世代パワーデバイスにより、安心・安全な暮らしを支えるスマートモビリティ社会を実現

スマート社会
超高速伝送、遠距離エネルギー伝送技術実現により、新たな社会基盤・インフラを構築

GaNデバイスが実現する未来社会

GaNデバイスロードマップ

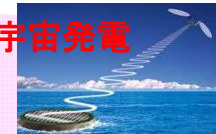


スマート社会
(Society 5.0)

省エネの実現
▲16%削減

機能複合

宇宙発電



ポスト5G



先端医療

80%削減の切り札！

機能複合による
インテリジェントシステム
回路一体、機電一体

開発ステージ(システム/デバイス/基板)

照明の革命
(低消費・長寿命)

システム



デバイス

ウェハ

欠陥密度 10^7 cm^{-2} 抵抗率 10^7 cm^{-2}

現在

2020年

2025年

2030年

光応用



LED照明
サーチライト
信号灯
スマートフォン

食物工場

殺菌・浄化

レーザー照明

パソコン
携帯端末

高周波加熱 (全空冷・自動走行)



急速充電

超高速可視光通信

高効率高出力 '22

量子効率60%
出力1W

マルチカラー '25

量子効率80%
出力10W

GaN-MIS '25

1200V, 1mΩ cm²
100KW, 1MHz

GaN-MOS '23

1200V, 1mΩ cm²
100KW, 200KHz

GaN/AlN '27

10GHz, 1KW

GaN/GaN '24

70GHz, 100W

GaN-HEMT '21

600V, 1mΩ cm²
100KW, 200KHz

GaN/SiC HEMT '21

28GHz, 100W

横GaN-HEMT '19

600V, 2mΩ cm²
50KW, 200KHz

深紫外LED '19

波長280nm
量子効率60%

青色LED

波長350nm
量子効率50%

光デバイス

パワーデバイス

高周波デバイス

On サファイア
On Si 基板

GaN単結晶
2インチ
欠陥密度 10^4 cm^{-2}

On SiC
6インチウエハ
抵抗率 10^8 cm^{-2}

On GaN
4インチウエハ
抵抗率 10^9 cm^{-2}

GaN単結晶
6インチ
欠陥密度 10^2 cm^{-2}

On AlN
4インチウエハ
抵抗率 10^{10} cm^{-2}