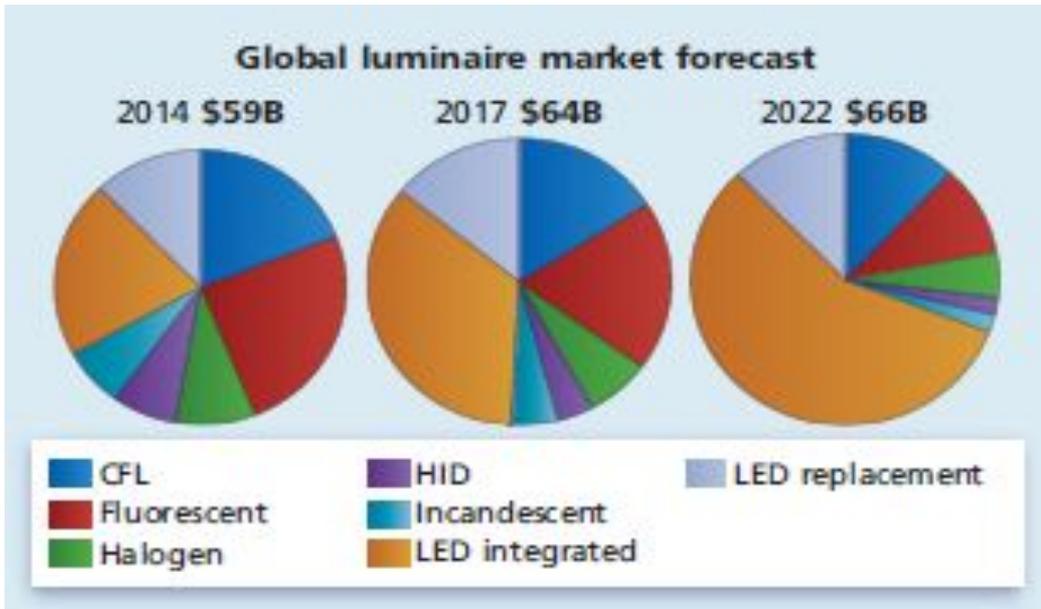
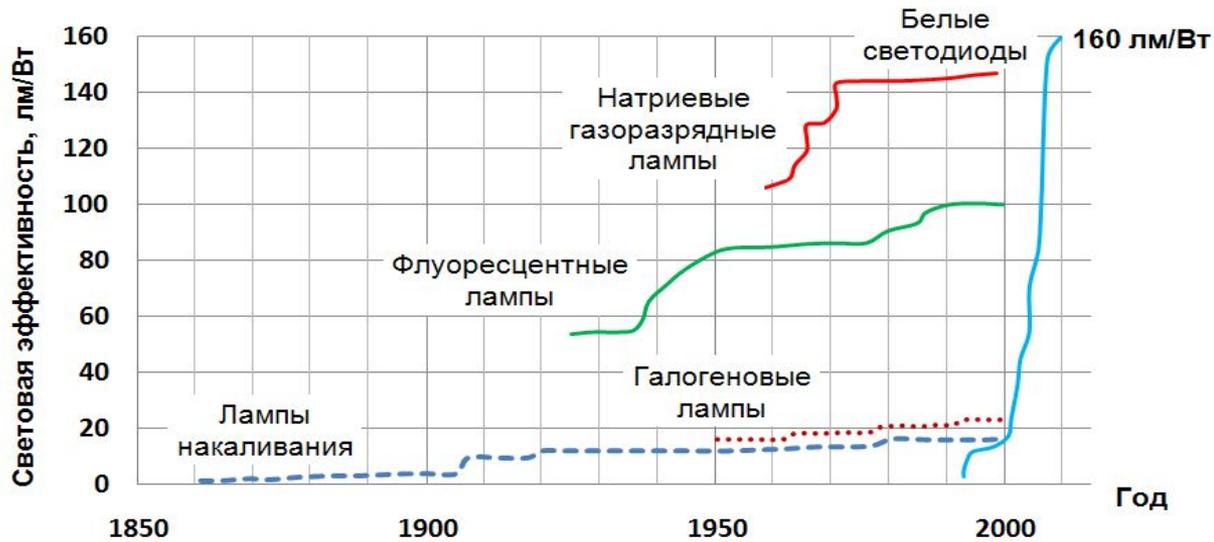


Часть 2

«Приборы и применения фотоники»: светодиоды и лазеры

Освещение



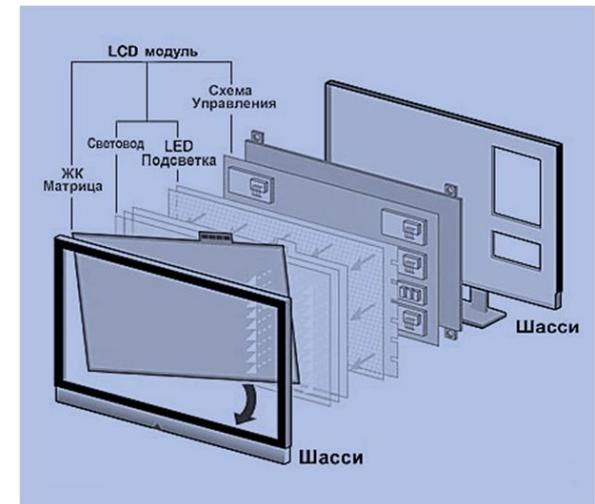
Типы систем светодиодной подсветки: подсветка прямого типа и боковая подсветка. В связи с низкой световой эффективностью боковой системы подсветки, она обычно использовалась в случаях, когда толщина светотехнического устройства была гораздо более важна, чем его яркость. Система подсветки прямого типа, напротив, имеет более высокую световую эффективность и позволяет контролировать освещенность отдельных частей подсвечиваемой области. Прогресс в современных технологиях изготовления оптических элементов, и, как следствие, возможность миниатюризации вторичной оптики уже давно позволяют использовать системы подсветки прямого типа даже в случаях, когда толщина светотехнического устройства играет критическую роль.

Расчет вторичной оптики светодиодов для прямых систем подсветки является одной из наиболее сложных задач, возникающих в светотехнике. Это связано с большим количеством требований, одновременно предъявляемым к таким оптическим элементам:

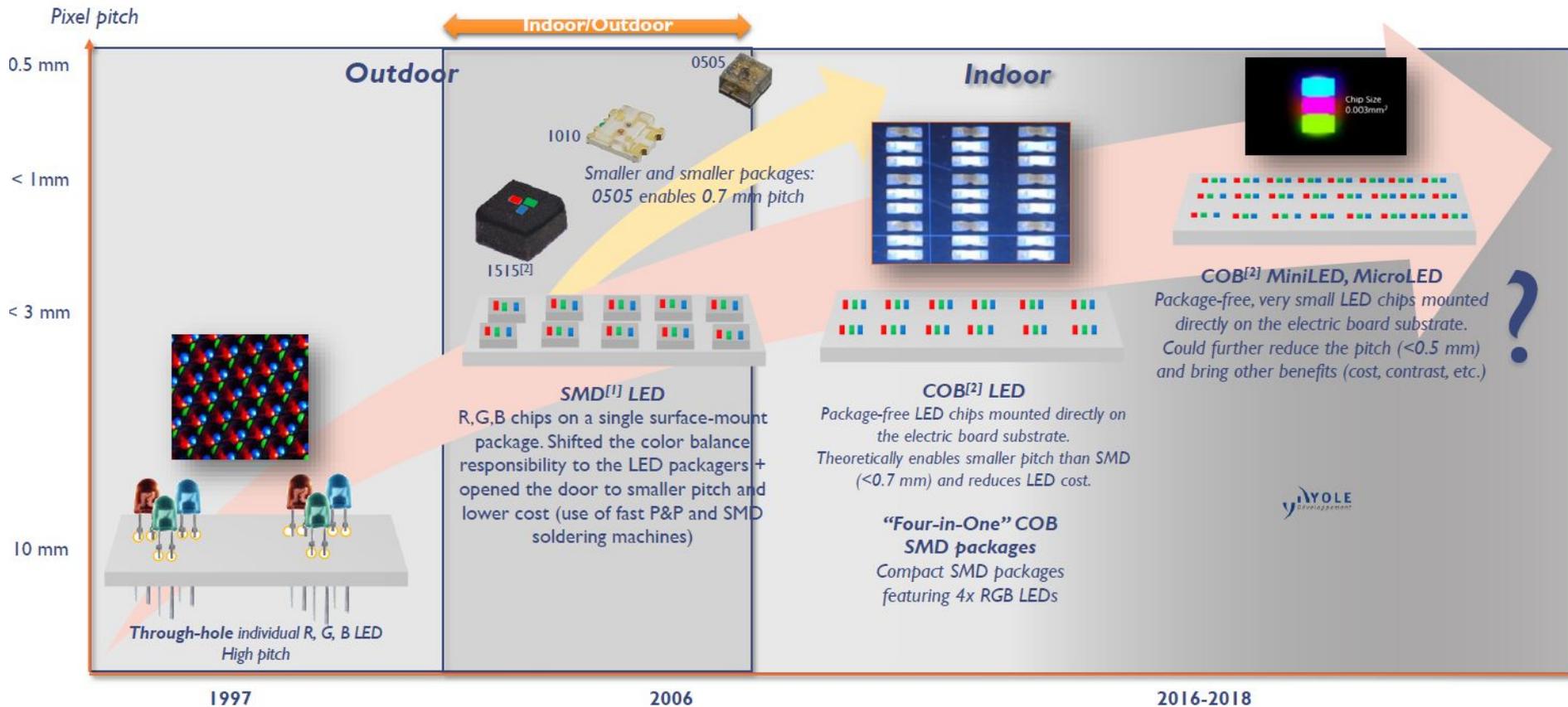
- обеспечение высокой световой эффективности;
- минимальное расстояние от светодиода до освещаемой области при максимальном угловом размере области;
- высокая равномерность формируемого распределения освещенности.

Преимущества светодиодов перед КЛЛ:

- Улучшенная контрастность;
- Улучшенная цветопередача;
- Пониженное энергопотребление (до 40% экономии);
- Чрезвычайно малая толщина;
- Долгий срок службы;
- Меньшее выделение тепла;
- Более высокая надежность.



	Edge backlight	Direct backlight	Low-cost direct backlight
Illustration			
Description	1 - 4 LED light bars positioned on the edges. Light is coupled into a light guide-plate.	Dense array of LEDs facing the viewer and coupled into a diffuser sheet	Low-density array of LEDs positioned further away to allow for light spread
Display thickness	Allows very thin TV designs (< 2cm; as low as 5mm with glass light guide-plates)	Thicker design (2 - 5cm)	Much thicker (5 - 10cm)
Energy efficiency	Good	Medium	Good
Contrast/ image quality	Moderate (Lateral dimming possible)	Excellent (Full-array local dimming possible)	Moderate (Full-array local dimming possible, but less precise and usually not implemented for cost reasons)
Cost	Medium	High	Low / Medium



Развитие светодиодных технологий для подсветки

Подсветка

Pitch: 50 mm

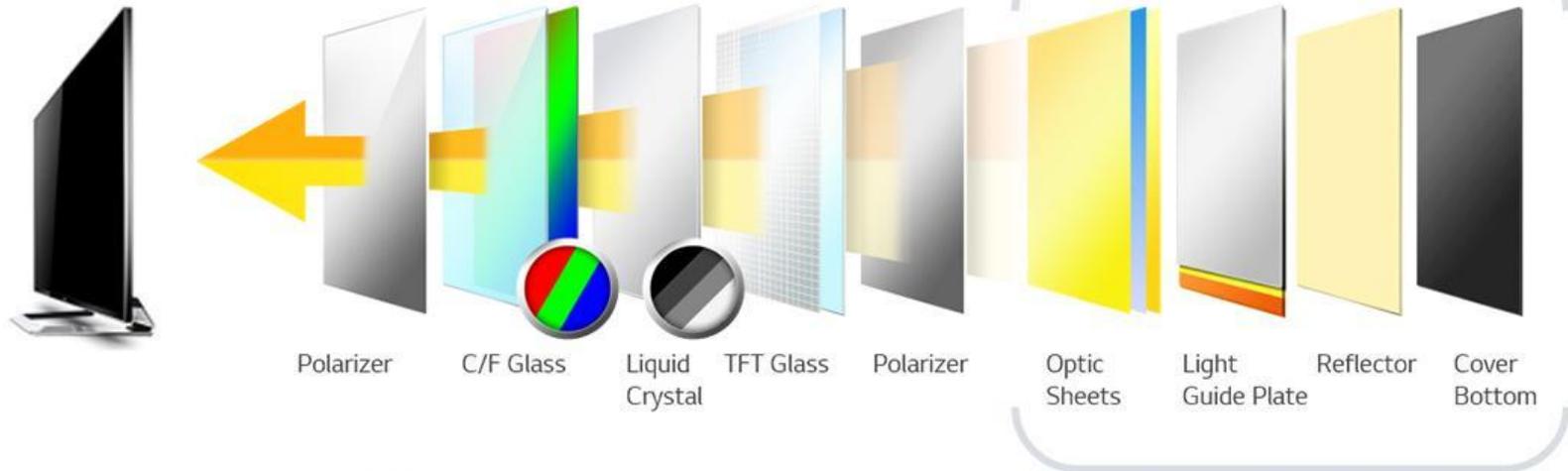
5 mm

0.5 mm

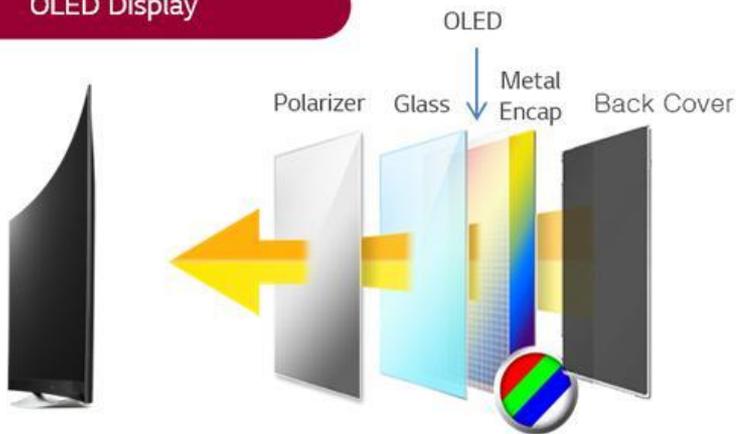
	 Outdoor	Overlap  Outdoor/Indoor	Indoor 		
 Transportation & public information	 Freeways	Airports, railway			
 Commercial and retail	  Roadside billboards, media facades	 Retail: shopping malls	 Retail: in-store		
 Sports & Entertainment	 Stadium (video, scoreboards, advertising)	 concerts, musicals	 Sports arenas	 Cinema	 Broadcasting
 Institutions		 Houses of worship	 Command & control rooms [1]	 Corporate lobbies, hospitality, healthcare	 Residential: high-end home theatre systems

OLED «подсветка»

Conventional LCD Display



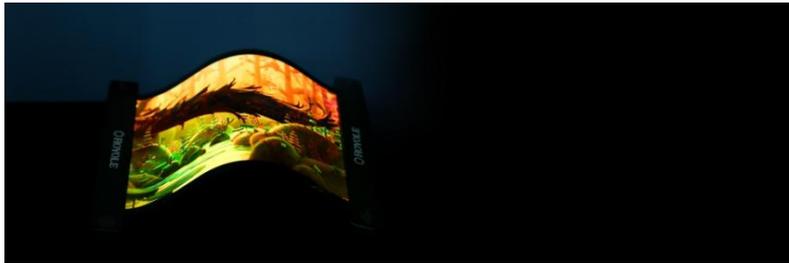
OLED Display



Foldable AMOLEDS

The foldable AMOLED panels are expected to account for 6 percent of total AMOLED panel shipments (825 million), or 11 percent of total AMOLED panel shipments (476 million) by 2025.

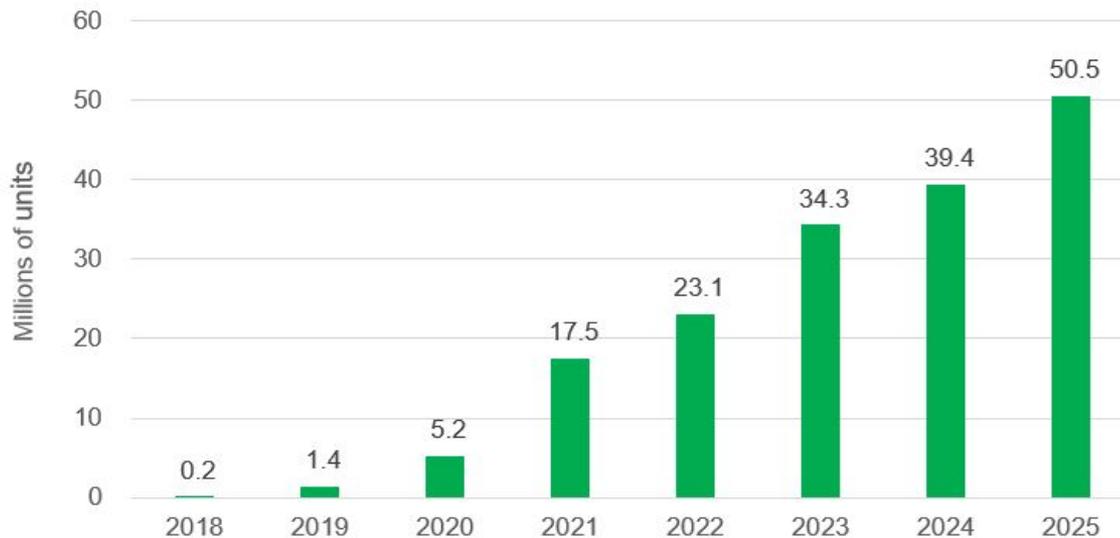
Драйв: насыщение рынка «обычных» смартфонов и поиск новых решений для развития рынка.



Overview of Flexible Display Technology

Flexible displays offer many advantages over conventional display technology including: ultra-thin, light weight, bendable, portable, shatter-proof, unbreakable and low energy. Royole's flexible displays will profoundly affect next generation electronics, by enabling brand new form factors and applications.

Shipment forecast of foldable AMOLED panels

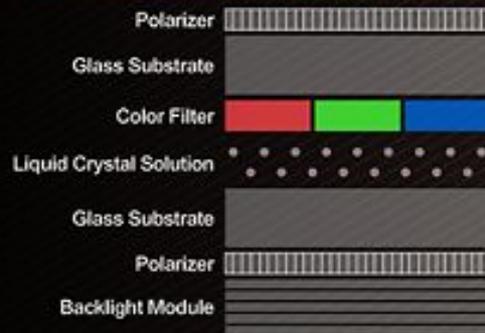


Source: IHS Markit

© 2018 IHS Markit

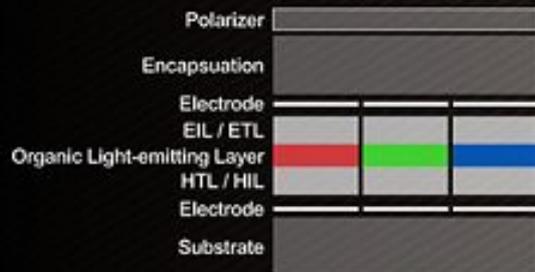


TFT-LCD, OLED, and Micro LED differ



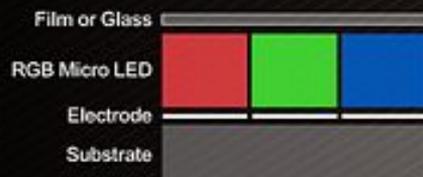
TFT LCD

Setup of electric circuit at the liquid crystal layer of TFT LCD would trigger transfer of molecules, which, coupled with color filters and backlight source, endows each pixel three original colors red, blue, and green, whose mixture creates light in various colors.



OLED

Triggered by electric current, OLED can emit light in various colors by mixing red, blue, and green light from its organic thin film, which is more vivid than common LCD screens.

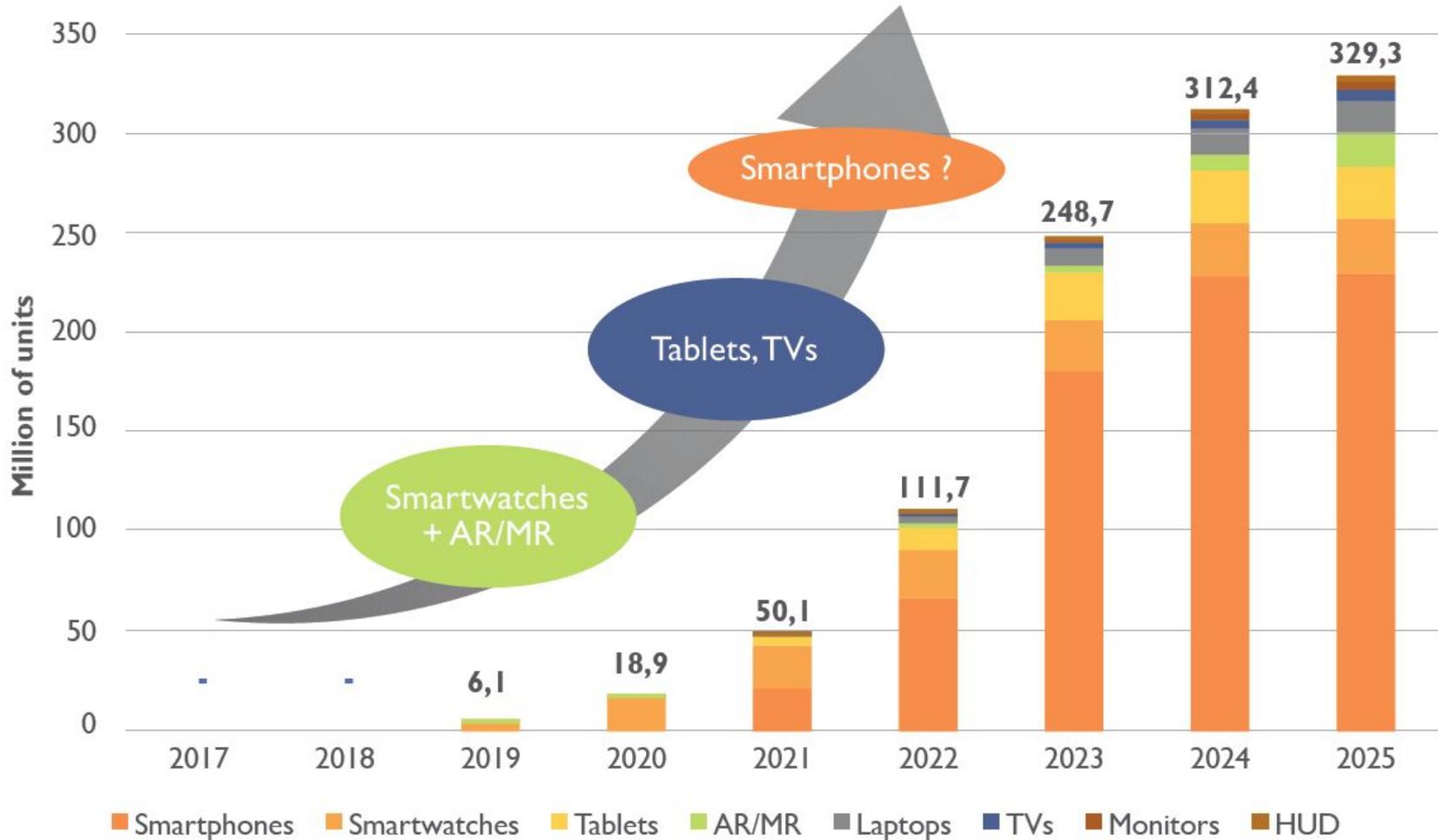


Micro LED

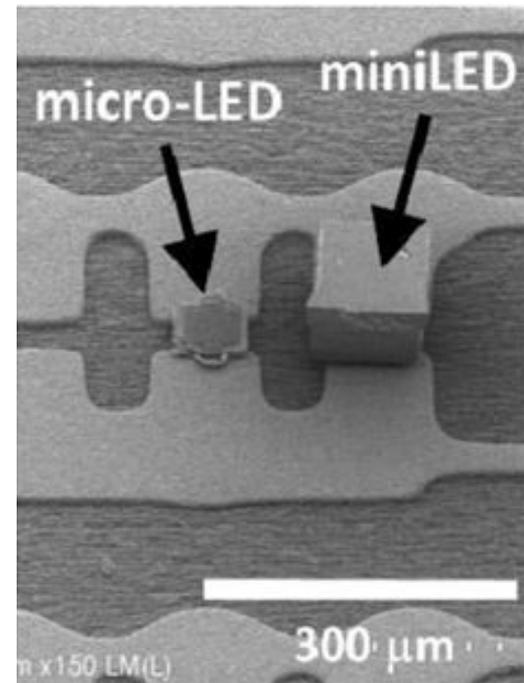
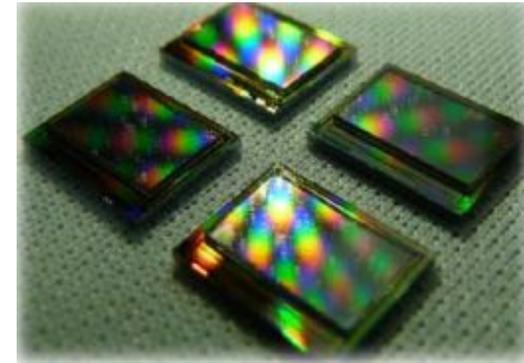
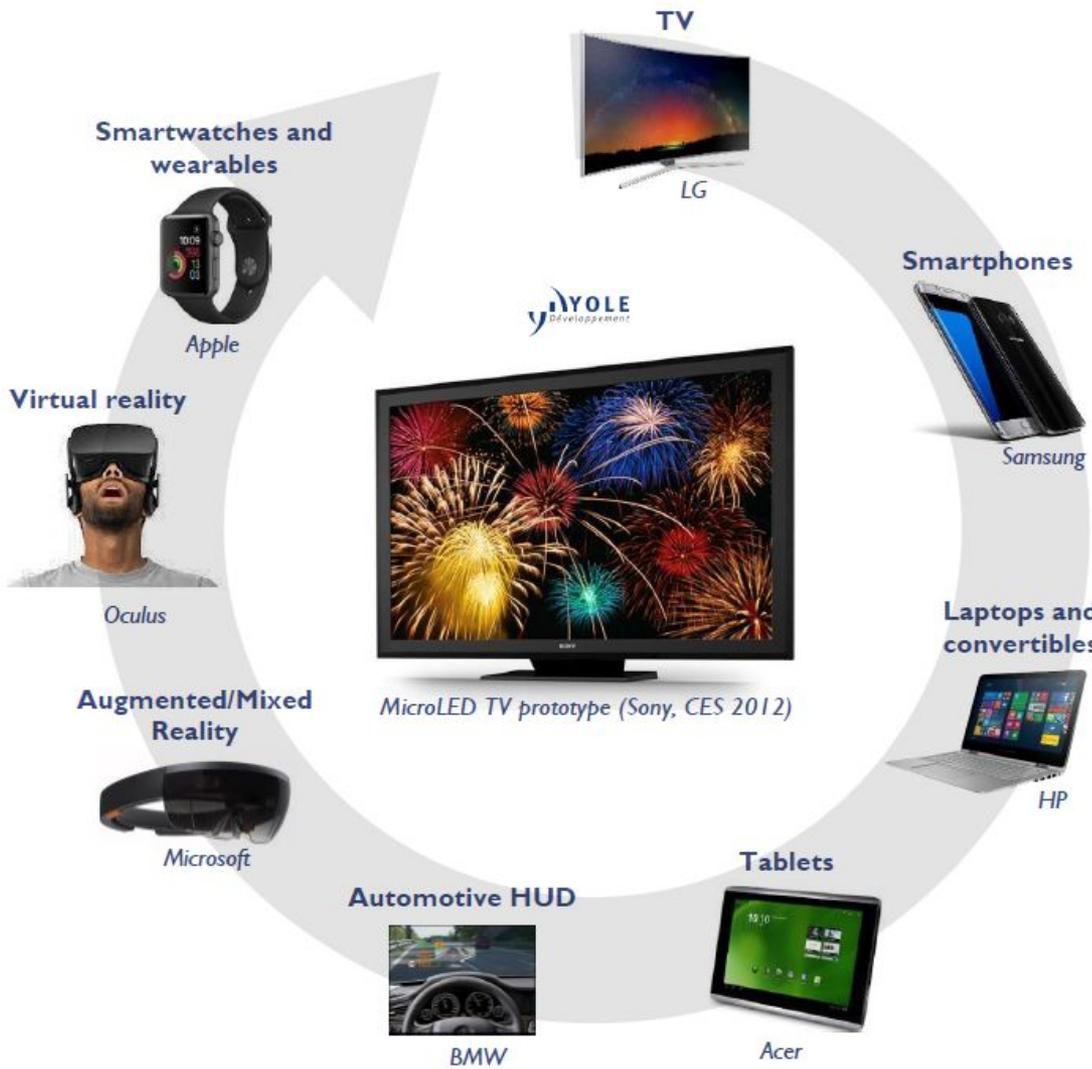
Micro LED features miniature LED arrays, with each Micro LED functioning as a pixel and can be driven to emit light. With modules becoming smaller, brighter, image quality, and response speed improve.

Микросветодиоды: системы отображения информации

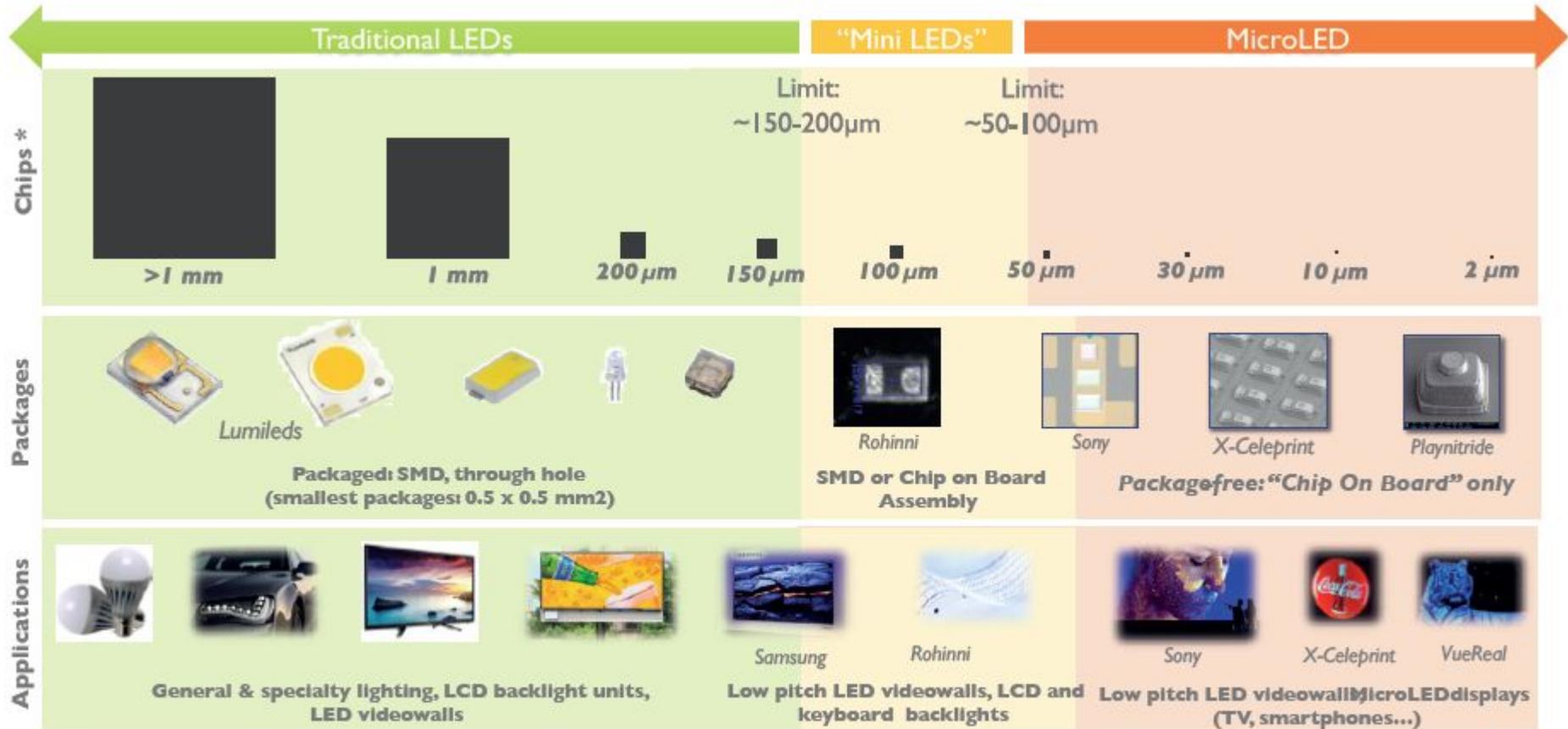
MicroLED display volume forecast – aggressive scenario



Микросветодиоды: системы отображения информации



LED landscape as of 2018



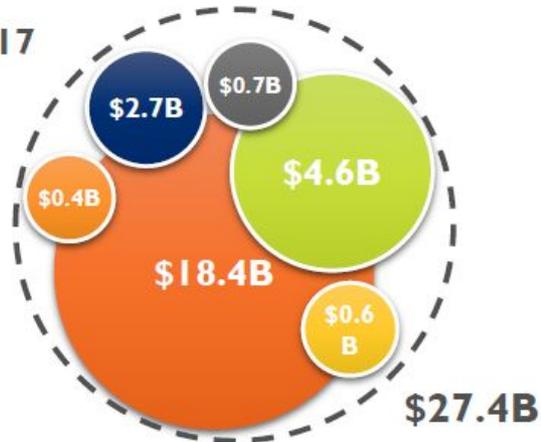
* To scale

(Yole Développement, October 2018)

Транспорт: автомобили

- Headlamp
- Rear lighting
- Interior lighting
- Small lamps
- CHMSL
- Fog lamps

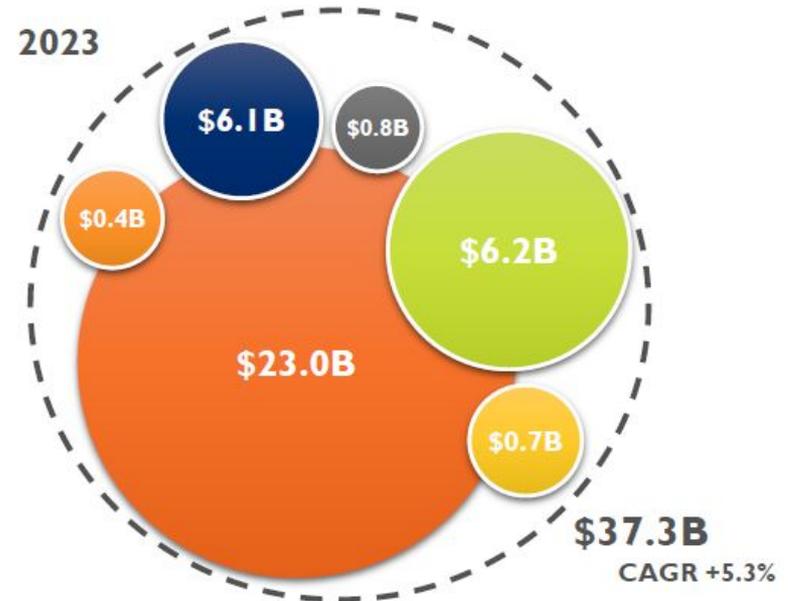
2017



SSL 57%

Incumbent 43%

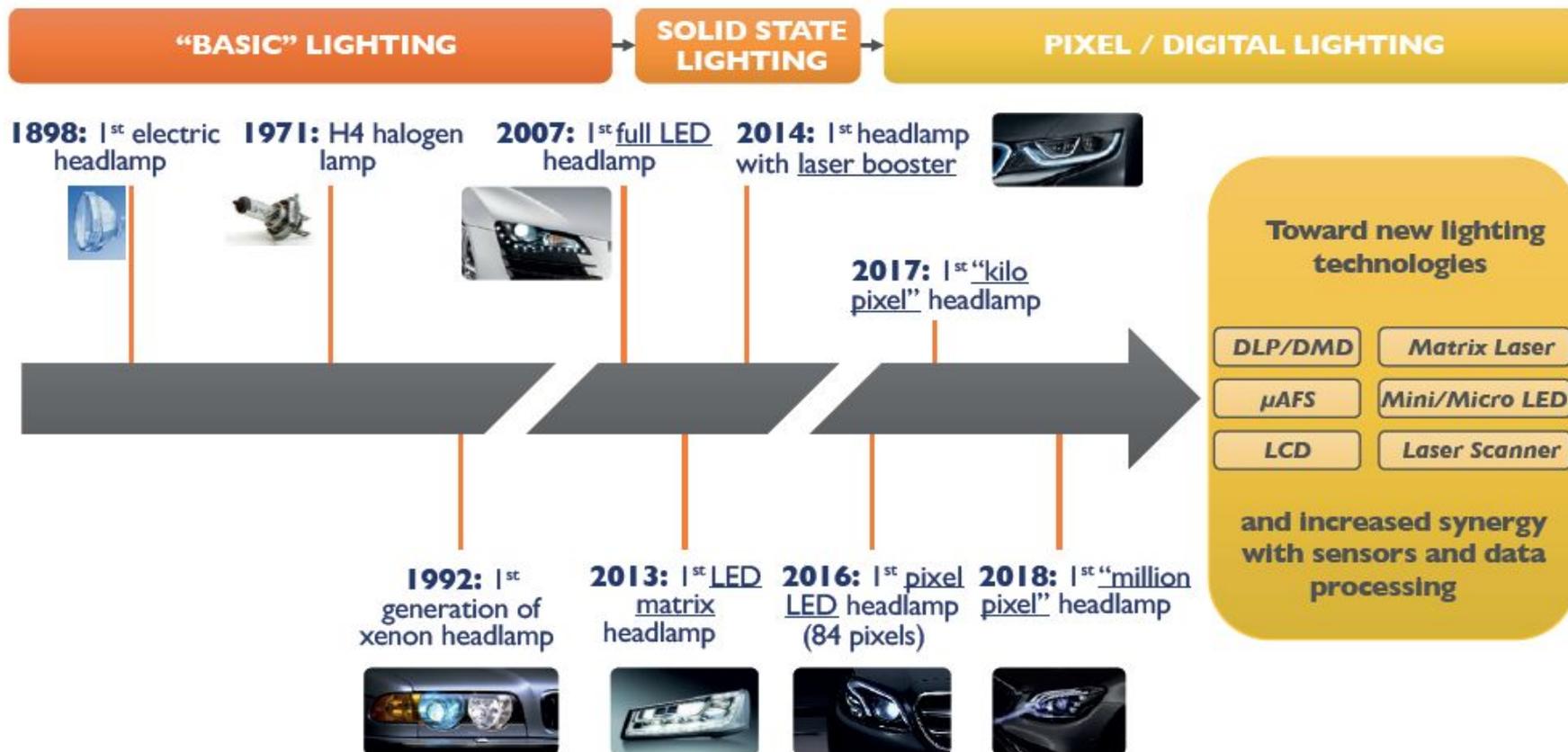
2023



SSL 85%

Incumbent 15%

Automotive lighting evolution: from “basic” to solid state and digital lighting



(Yole Développement, November 2018)

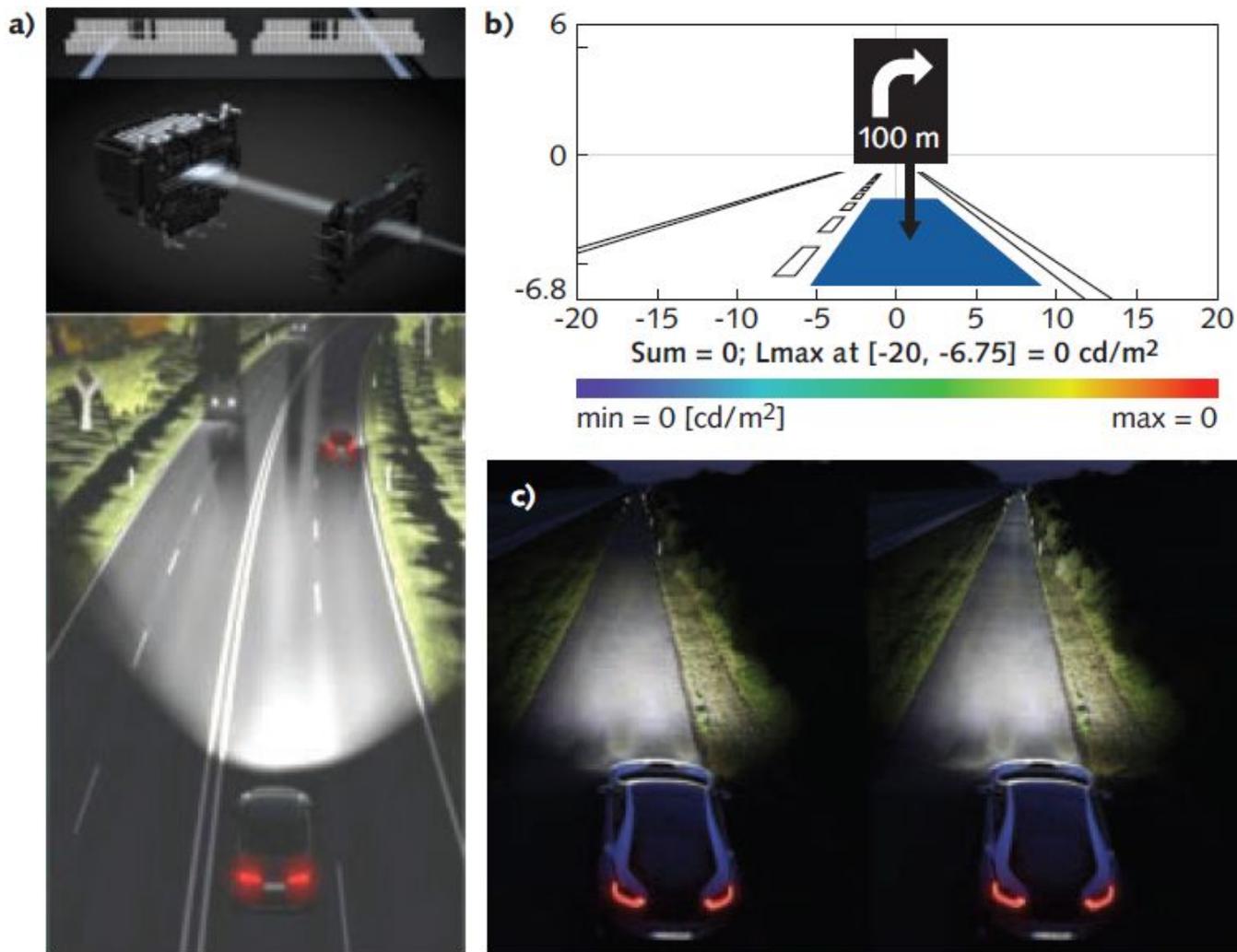
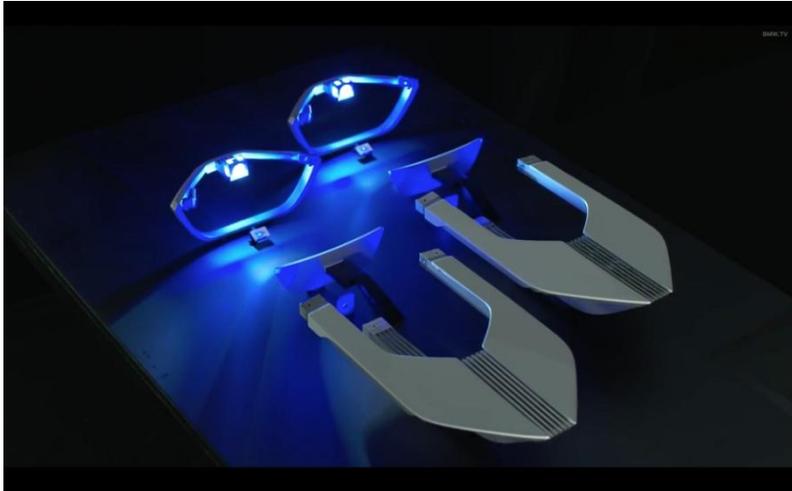


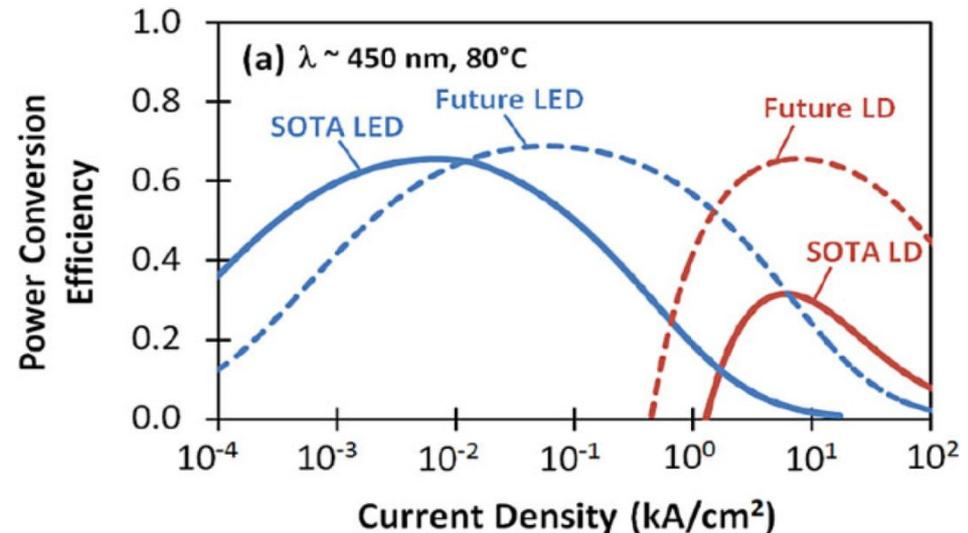
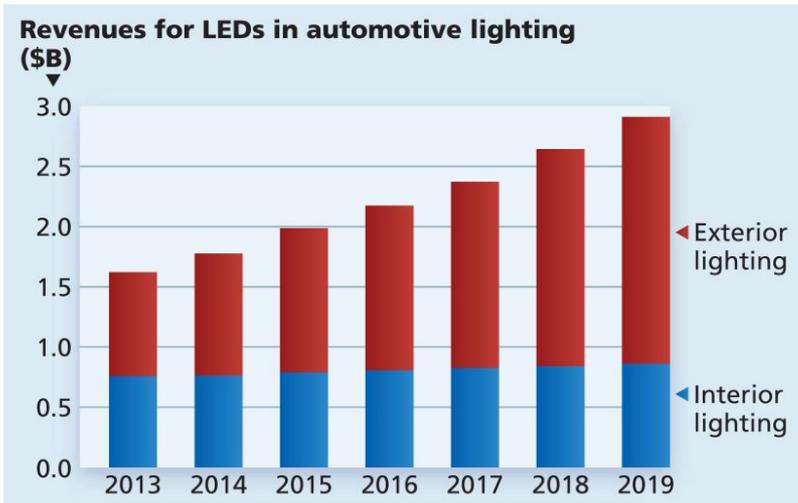
FIGURE 2. Pixelated LEDs can (a) reduce high-beam glare (*image credit: Daimler Benz*), provide Foreground Projection (FGP) overlay information (b) such as warning signs (*image credit: Lumileds*), and extend the range (c) of high-beam illumination (*image credit: BMW*).



LDs vs LEDs

Table 1 Radiance of a blue LED and LD.

parameter	blue LED	blue LD
power (W)	1	1
emitting area (cm ²)	0.01	1.5×10^{-7}
half angle (°)	45	15
radiance (W/str/cm ²)	54	3×10^7



Source: LEDs Magazine 05/2015

[J.J. Wierer Jr, et al., *Phys. Stat. Sol. (a)* **212** (2015) 980]

Транспорт: авто- и железные дороги



Система светодиодного освещения платформы



СУС-21



Система светодиодного освещения путевого комплекса



ТИС-P-2-A-M

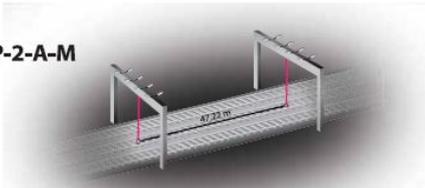


15 светильников
РКУ-250 (312 Вт)
Полная потребляемая
электрическая
мощность 4,68 кВт

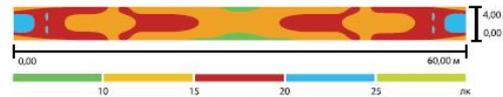


10 светильников
ТИС-P-3-A-M (107 Вт)
Полная потребляемая
электрическая
мощность 1,07 кВт

ТИС-P-2-A-M



Высота подвеса 12 м
Светильники расположены между ж/д линиями
Расстояние между светильниками 5-6 м



Мачтовое освещение



ТИС-4М



Система светодиодного освещения поста ЭЦ
Система светодиодного освещения цеха



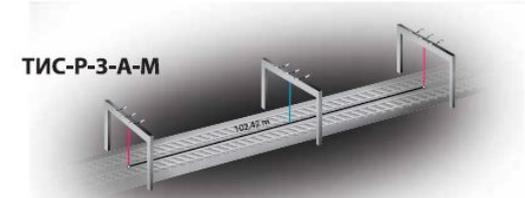
ТИС-17



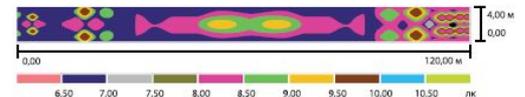
ТИС-27



ТИС-P-3-A-M



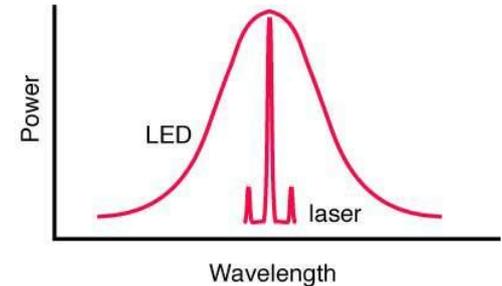
Высота подвеса 12 м
Светильники расположены между ж/д линиями
Расстояние между светильниками 4-5 м



Светодиоды и лазеры в системах передачи информации

Волоконно-оптические линии связи или Li-Fi?

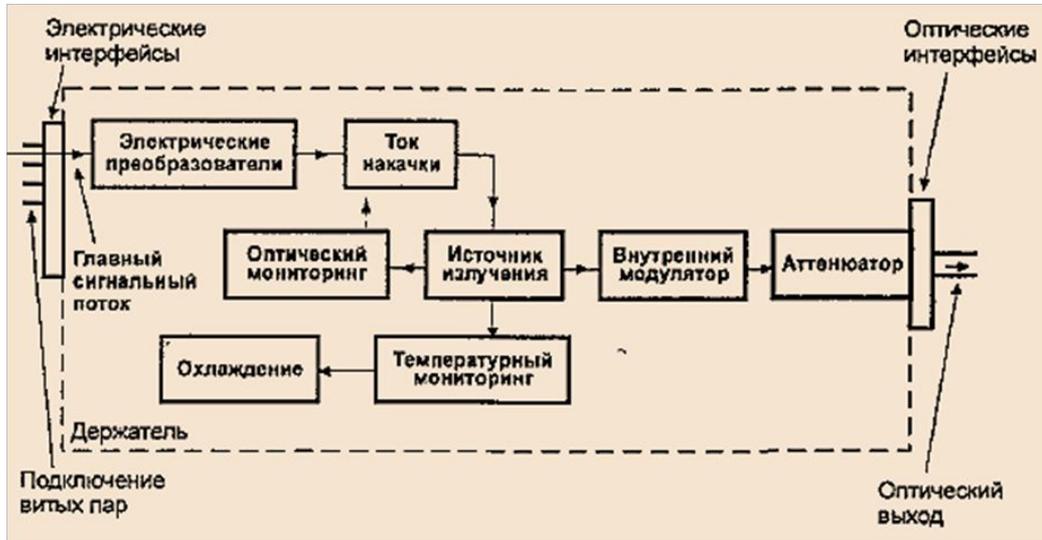
TECHNOLOGY	SPEED	DATA DENSITY
WIRED		
FIRE WIRE	800 Mbps	*****
USB3.0	5 Gbps	*****
THUNDERBOLT	2X 10 Gbps	*****
WIRELESS (CURRENT)		
Wi-Fi-IEEE (802.11N)	150 Mbps	*
BLUETOOTH	3 Mbps	*
IrDA	4 Mbps	***
WIRELESS (FUTURE)		
Wi-Gig	2 Gbps	**
Giga-IR	1 Gbps	***
Li-Fi	> 10 Gbps	*****



Выбор типа источника для ВОЛС определяется требуемой скоростью и совместимостью с используемым типом волокна. В настоящее время скорости передачи менее 1 Гб/с считаются слишком низкими, и светодиоды активно вытесняются лазерами типа VCSEL, стоимость которых не многим выше, а дисперсия в волокне гораздо меньше благодаря узкой спектральной линии.

Тип прибора	Длина волны, нм	Мощность, вводимая в волокно, дБм	Полоса пропускания, МГц	Тип оптоволокна
Светодиод	850, 1300	от -30 до -10	<250	ММ
Лазер Ф-П	850, 1310 (1280-1330), 1550 (1480-1650)	от 0 до +10	>10000	ММ, ОМ
Лазер РОС	1550 (1480-1650)	от 0 до +25	>10000	ОМ
Лазер VCSEL	850	от -10 до 0	>10000	ММ

Волоконно-оптические линии связи

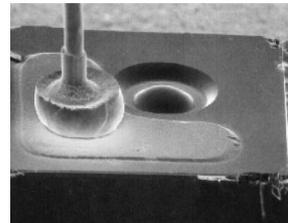
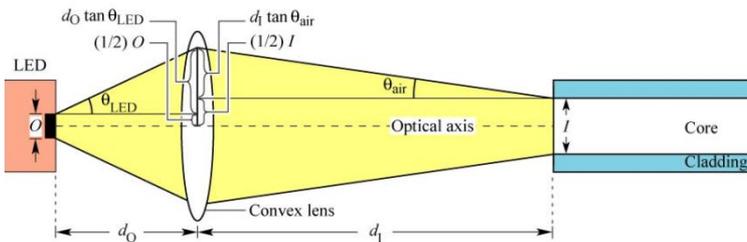


По применению:

- Внутриобъектовые (1-1000 м)
- Городские, межгородские (зоновые) (50-100 км, до 300 км)
- Магистральные (свыше 300 км)

По диапазонам:

	Наименование	Длина волны, нм
O	Основной	1260–1360
E	Расширенный	1360–1460
S	Коротковолновый	1460–1530
C	Стандартный	1530–1565
L	Длинноволновый	1565–1625
U	Сверхдлинноволновый	1625–1675



Светодиоды применяют в коротких ВОЛС с невысокими скоростями передачи информации: это повышает надежность и долговечность передающего модуля, снижает его стоимость, резко упрощает структурную схему. В этом случае термоэлектрические охладители не нужны, можно также исключить цепь фоточувствительной обратной связи.

Волоконно-оптические линии связи:

светодиоды

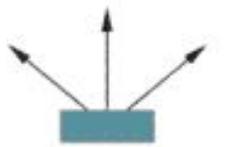
и лазеры



Edge-emitting LED



Emission Pattern



Surface-emitting LED

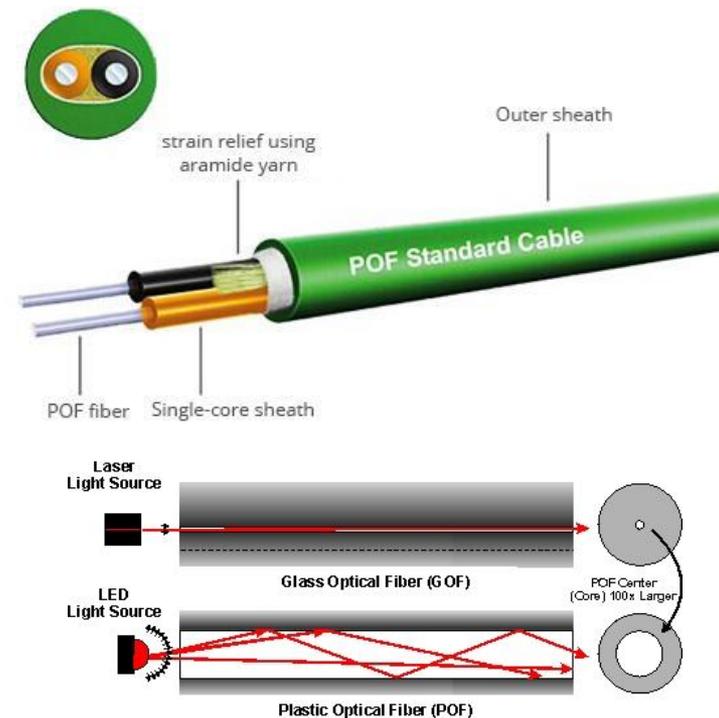


Emission Pattern

Formula	Energy Gap	Wavelength
GaP	2.24 eV	550 nm
AlAs	2.09 eV	590 nm
GaAs	1.42 eV	870 nm
InP	1.33 eV	930 nm
AlGaAs	1.42-1.61 eV	770-870 nm
InGaAsP	0.74-1.13 eV	1100-1670 nm

Характеристика	Светодиод	Лазер
Выходная мощность	Линейная с током	Пропорциональна току над порогом
Ток	От 50 до 100 мА в пике	Пороговый ток от 5 до 40 мА
Подводимая мощность	Средняя	Высокая
Скорость	Низкая	Высокая
Полоса пропускания	Средняя	Высокая
Используемые длины волн	От 0.66 до 1.65 мкм	От 0.78 до 1.65 мкм
Спектральная полоса	Широкая (40-190 нм FWHM)	Узкая (от 0.00001 до 10 нм FWHM)
Тип оптоволокна	Многомодовое	Одномодовое, многомодовое
Ease of Use	Easier	Harder
Срок службы	Дольше	Меньше
Цена	Низкая (\$5-\$300)	Высокая (\$100-\$10,000)

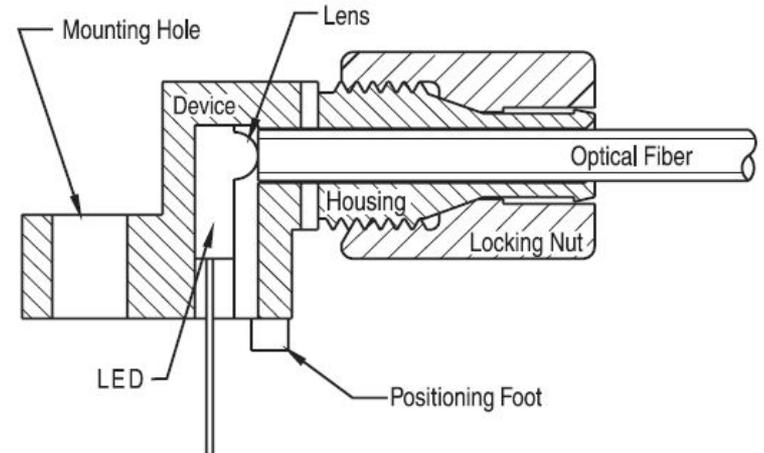
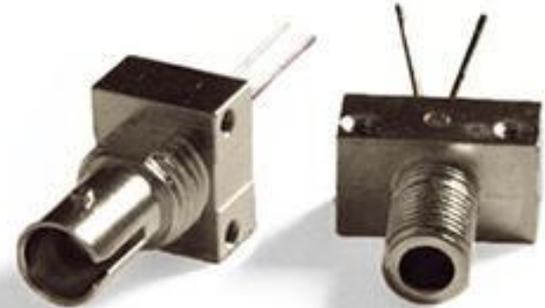
- В ядре волокна обычно используются PMMA и полистирен с показателем преломления n в 1.49 и 1.59 соответственно.
- Оболочка делается из силиконовых эластомеров ($n \sim 1.46$).
- Большая числовая апертура (0.48 и 0.63 vs. 0.2-1 для GOF).
- Высокая гибкость и малая стоимость (но низкая устойчивость к температурам, 70°C vs. 500°C для GOF).
- Волокно со ступенчатым ПП имеет диаметр 1 мм.
- Потери около 1 dB/m @ 650 nm (vs 0.1 dB/km для GOF @ 1.3 μm).
- Полоса пропускания ~ 5 MHz-km @ 650 nm.
- Длины волн 400-700 nm (vs. 200-2000 для GOF).



POF называют «потребительским» волокном благодаря дешевизне систем и их компонентов и простоте монтажа. Из-за сильного ослабления сигнала и больших искажений их используют для низкоскоростных короткодействующих (до 100 метров) приложений – цифровые бытовые устройства, домашние сети, промышленные сети и автомобильные сети. Для более высокоскоростных приложений, таких, как передача данных внутри дата-центров и внутри зданий, используются перфлуорированные полимерные волокна.

Области применения (длины волн 430-930 нм)

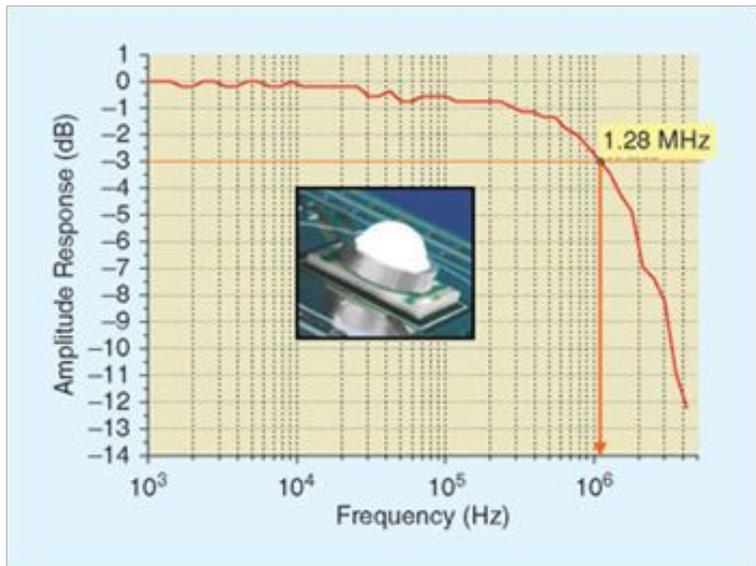
- Образовательные проекты
- Связь ПК с периферией
- Передача видео
- Роботы
- Домашние бытовые устройства
- Медицинские приборы и системы
- Автомобильная электроника
- Аудиосистемы
- Электронные игры
- Электромобили
- Защищенные каналы передачи данных
- Внутрисистемная передача данных: от платы к плате, от стойки к стойке



Part Number	$\lambda(\text{nm})$	$\Delta\lambda(\text{nm})$	$P_{\text{imin}}^{(1)}$ (μw)	$t_{\text{R}}^{(2)}$	$t_{\text{F}}^{(2)}$	Distance (m)
IF E91A	930	50	50	1.0 μs	1.0 μs	< 10
Lowest cost device in portfolio for short distance applications						
IF E91D	870	50	280	3 ns	3 ns	< 10
Lowest cost, high electrical bandwidth device						
IF E92A	430	80	25	0.6 μs	0.5 μs	< 50
430 nm blue light for sensor applications in a convenient F/O package						
IF E92B	470	30	75	35 ns	150 ns	< 50
470 nm blue light for sensor applications in a convenient F/O package						
IF E93	522	40	600	145 ns	80 ns	< 150
Longest distance device selected for attenuation minimum in PMMA fiber core						
IF E96E	645	20	170	25 ns	25 ns	< 75
Lowest cost visible red LED device in portfolio						
IF E97	650	20	200	100 ns	160 ns	< 100
High power red LED for low data rates						
IF E98	650	20	275	8 ns	8 ns	< 65(4)
High power, fast electrical switching times for 50 Mbps applications						
IF E99B	650	10	335	3 ns	3 ns	< 100(5)
Very high power device for 156 Mbps						



Для создания белого света в Li-Fi используется излучение светодиодов трех основных цветов, каждое из которых модулируется со своей собственной частотой. Значительное послесвечение люминофора в люминофорных светодиодах ограничивает скорость передачи данных с их помощью мегагерцовым диапазоном. Технология имеет общий термин **VLC** (англ. *visible light communication*, что дословно означает «связь посредством видимого света»), используется стандарт IEEE 802.15.7, обеспечивающий достаточную скорость для передачи аудио, видео и других мультимедиа данных. Скорость может быть снижена из-за помех от окружающего освещения.

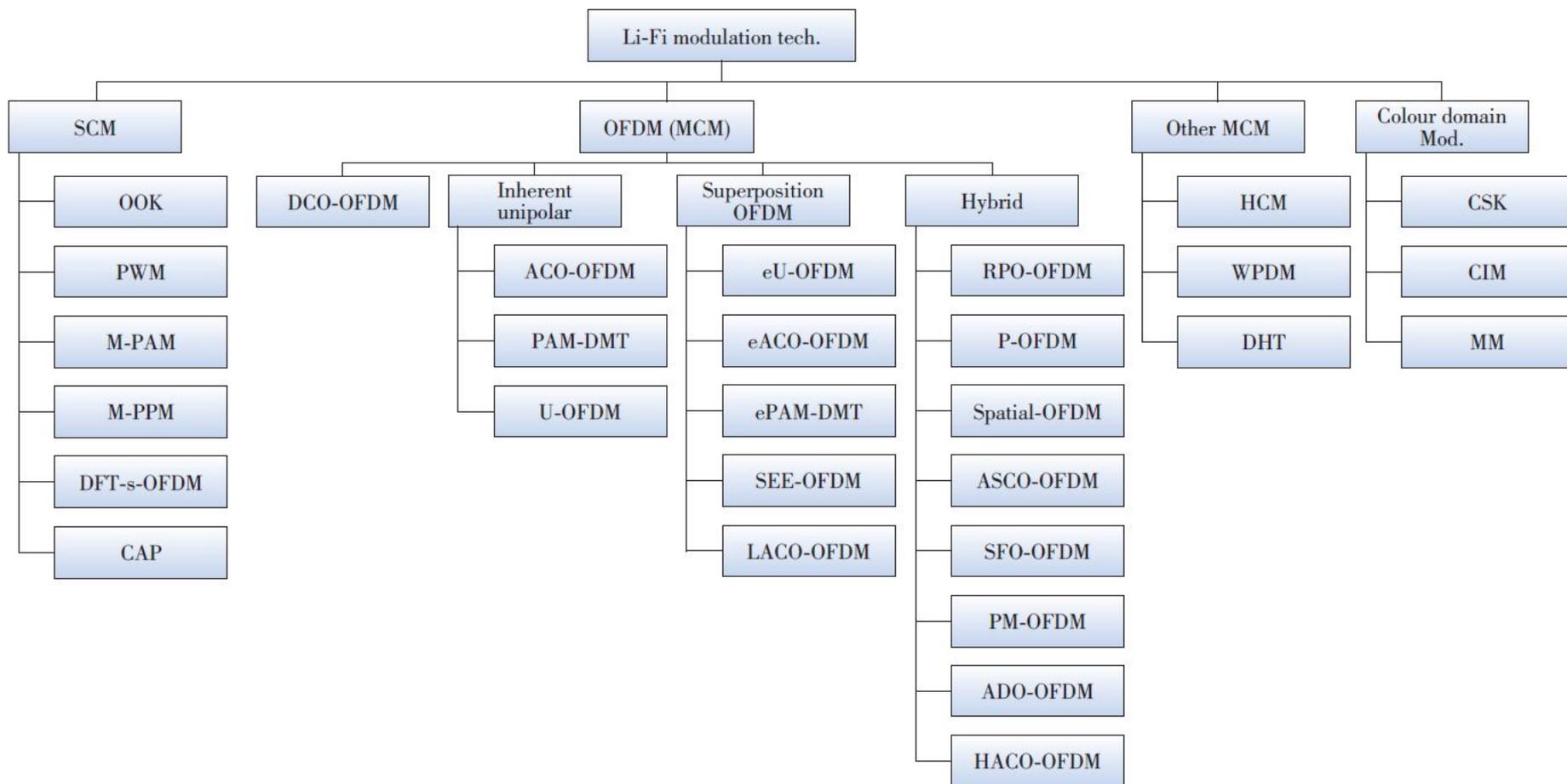


Стандарт определил три физических уровня скорости:

1. PHY I был создан для наружного применения и работает с 11,67 кбит/с до 267,6 Кбит/с,
2. PHY II позволяет достичь скорости передачи данных от 1,25 Мбит/с до 96 Мбит/с,
3. PHY III скорость от 12 Мбит/с до 96 Мбит/с.

Данные скорости были актуальны до августа 2013 года, по состоянию на август технологией была достигнута скорость 1,6 Гбит/с, в ноябре 2013 г. – 10,5 Гбит/с (3,5 Гбит/с для каждого цвета). В 2015 г. был установлен некий рекорд скорости в лабораторных условиях 224 Гбит/с. В реальных приложениях скорость сохраняется на уровне 10 Гбит/с.

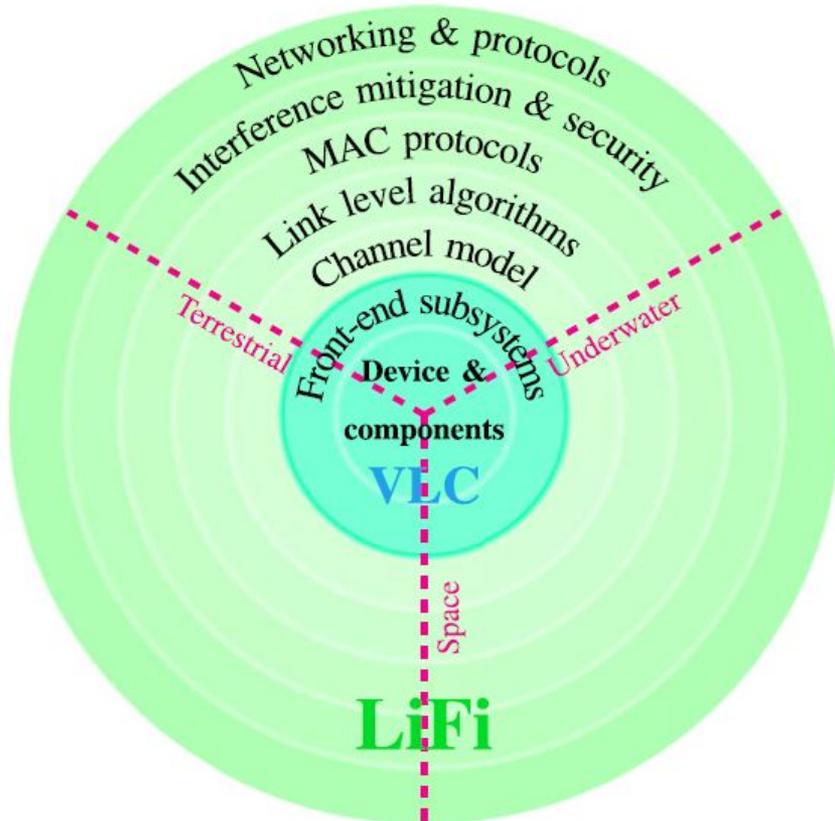
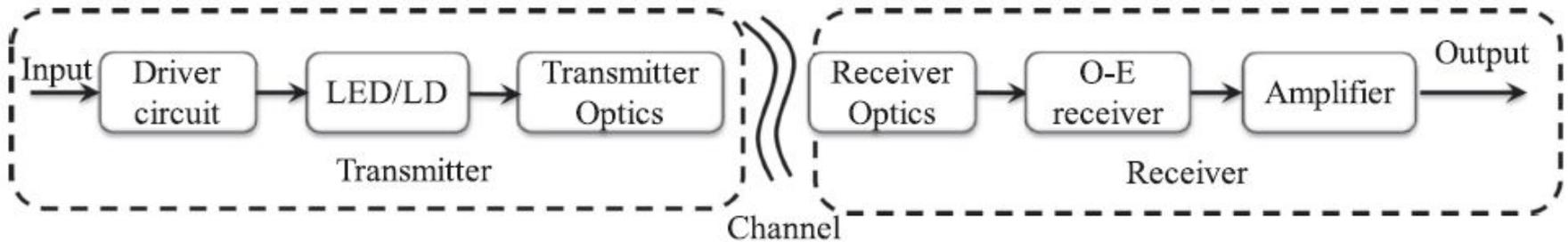
Технология Li-Fi: модуляция сигнала



ACO-OFDM: asymmetrically clipped optical OFDM
 ADO-OFDM: asymmetrically clipped DC biased optical OFDM
 ASCO-OFDM: asymmetrically and symmetrically clipped optical OFDM
 CAP: carrier-less amplitude modulation
 CIM: colour intensity modulation
 CSK: colour shift keying
 DCO-OFDM: DC biased OFDM
 DFT-s-OFDM: discrete Fourier transformation spread OFDM
 DHT: discrete Hartley transform
 eACO-OFDM: enhanced ACO-OFDM

ePAM-DMT: enhanced PAM-DMT
 eU-OFDM: enhanced unipolar OFDM
 HACO-OFDM: hybrid asymmetrically clipped optical OFDM
 HCM: Hadamard coded modulation.
 LACO-OFDM: layered ACO-OFDM
 Li-Fi: light fidelity
 MCM: multicarrier modulation
 MM: metameric modulation
 M-PAM: M-ary pulse amplitude modulation
 M-PPM: M-ary pulse position modulation

OFDM: orthogonal frequency modulation
 OOK: on-off keying
 PAM-DMT: pulse amplitude modulation discrete multitone
 PM-OFDM: position modulation OFDM
 P-OFDM: polar OFDM
 PWM: pulse width modulation
 RPO-OFDM: reverse polarity optical OFDM
 SCM: single carrier modulation
 SEE-OFDM: spectrally and energy efficient OFDM
 SFO-OFDM: spectrally factorized optical OFDM
 WPDM: wavelet packet division multiplexing

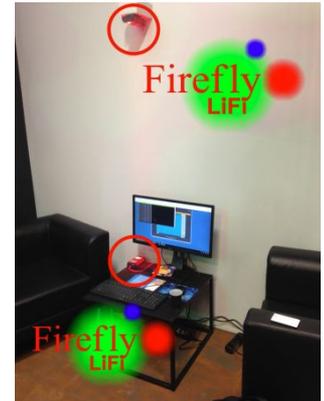


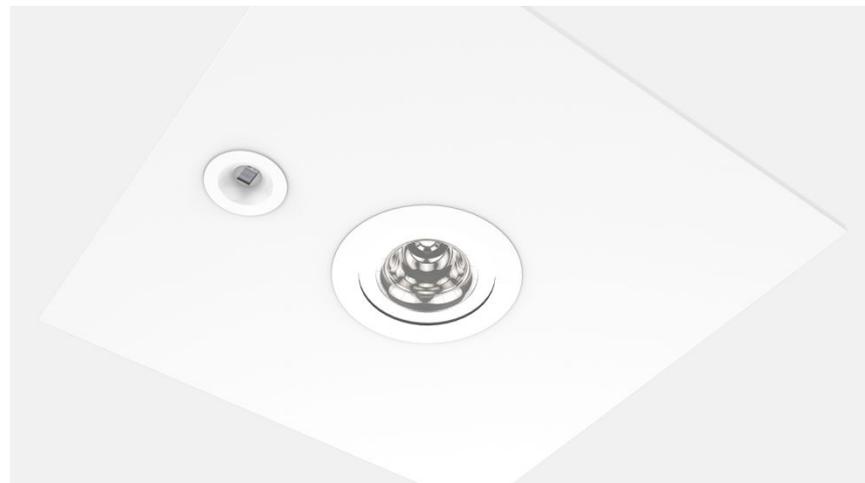
В технологии VLC светодиоды используются для беспроводной передачи данных с использованием амплитудной модуляции. Сигнал принимается фотодиодом с использованием технологии прямого детектирования. Технология VLC разрабатывалась как способ передачи «point-to-point», - фактически, как замена кабелю связи. Стандартизация VLC привела к разработке стандарта IEEE 802.15.7. Li-Fi, в отличие от VLC, является беспроводной сетевой технологией, то есть может обеспечить двунаправленную связь для нескольких пользователей. Также технология Li-Fi обеспечивает связь через несколько точек доступа, что позволяет формировать «аттоячейки» с плавным переходом от одной к другой. Это означает, что Li-Fi обеспечивает полную мобильность пользователя и может формировать новый уровень сети внутри уже

Технология Li-Fi



www.FireflyLiFi.com





PureLiFi.com



Why Philips LiFi luminaires

Light Fidelity (LiFi) is a two-way, high-speed wireless technology similar to WiFi but using light waves instead of radio waves to transmit data.



Double benefits:

LiFi-enabled luminaires, without compromising light quality or integration with control systems

30 Mbs
data, secure and reliable broadband

>80%
electricity savings*

Wide coverage zone



WiFi spectrum congested

Alternative to WiFi

10,000x

WiFi bandwidth

Ideal connectivity: -----

Reliable network
(e.g. dense urban environments)

Secure communication
(e.g. banks, government, military)

New-gen technology
(e.g. underwater, underground)

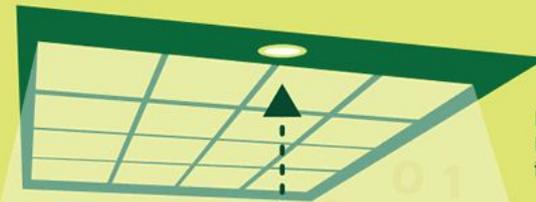
Alternative solution
(e.g. hospitals, aircraft, schools)

Data reception via USB access key /dongle



*when compared to conventional lighting

How LiFi from Philips Lighting works



Modem modulating the LED light is **integrated in the luminaire**

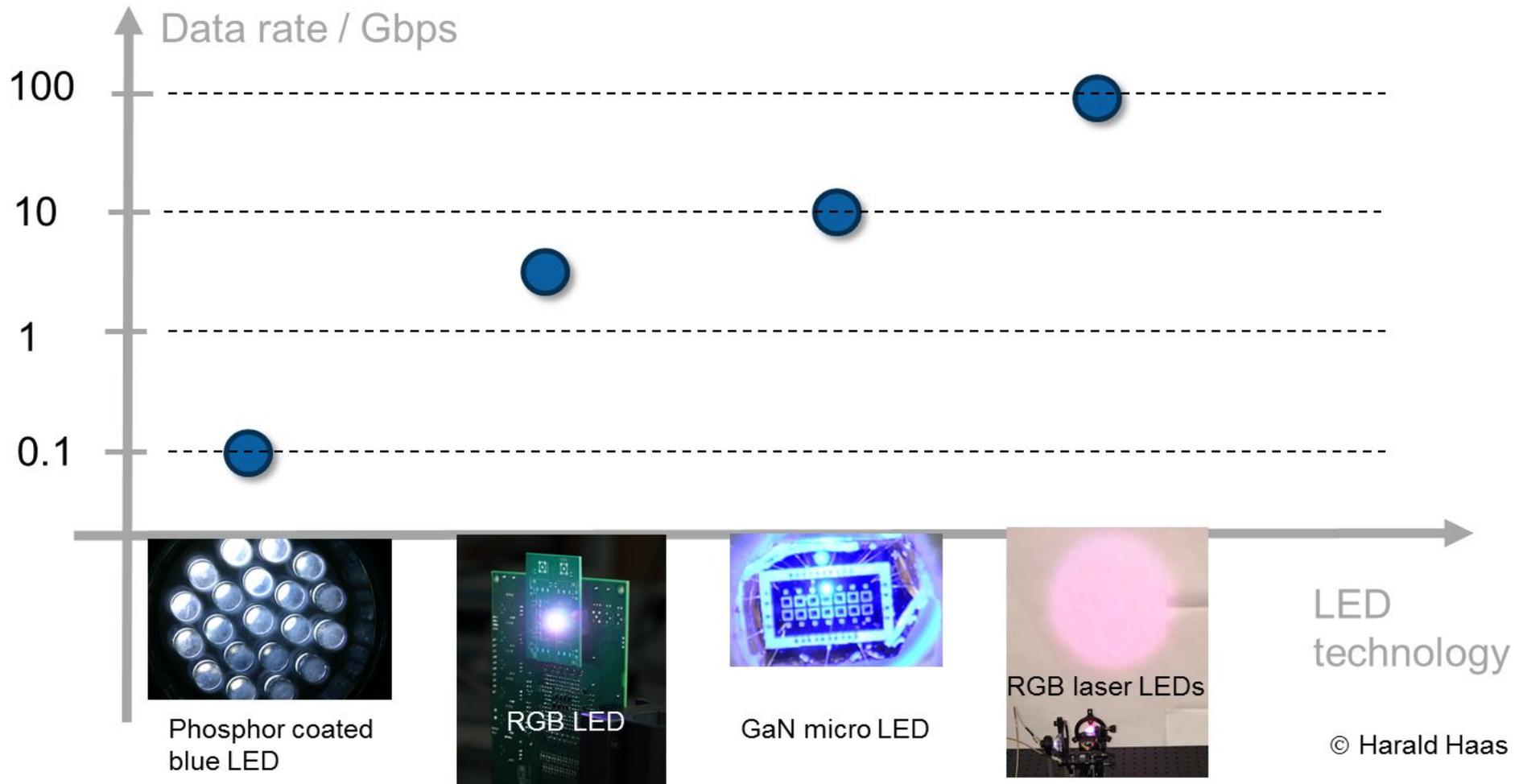
Luminaire has to be **connected to Ethernet**

USB access key sends back data through the **infrared emitter**

When the light is on, LED starts to transmit data to the **LiFi USB access key/dongle**



Технология Li-Fi: светодиоды



Topical Review

A review of gallium nitride LEDs for multi-gigabit-per-second visible light data communications

Sujan Rajbhandari^{1,2,5}, Jonathan J D McKendry³, Johannes Herrnsdorf³, Hyunchoe Chun², Grahame Faulkner², Harald Haas⁴, Ian M Watson³, Dominic O'Brien² and Martin D Dawson³

¹Centre for Mobility & Transport, School of Computing, Electronics and Mathematics, Coventry University, Coventry, CV1 2JH, UK

²Department of Engineering Science, University of Oxford, Oxford, OX1 3PJ, UK

³Institute of Photonics, Department of Physics, University of Strathclyde, Glasgow, G1 1RD, UK

⁴Institute for Digital Communications, Li-Fi R&D Centre, University of Edinburgh, Edinburgh, EH9 3JL, UK

E-mail: sujan.rajbhandari@coventry.ac.uk

Received 22 September 2015, revised 21 September 2016

Accepted for publication 1 November 2016

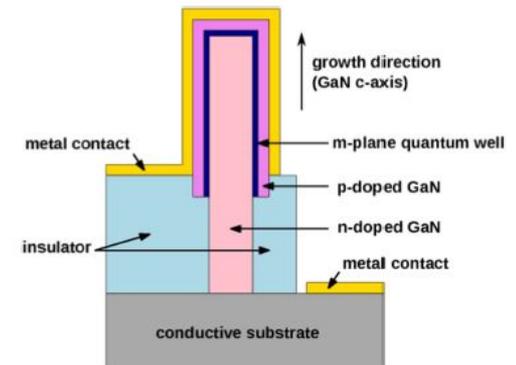
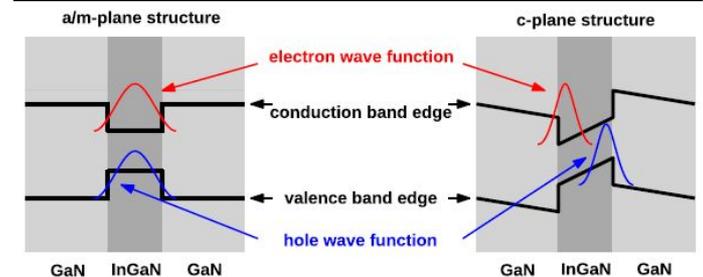
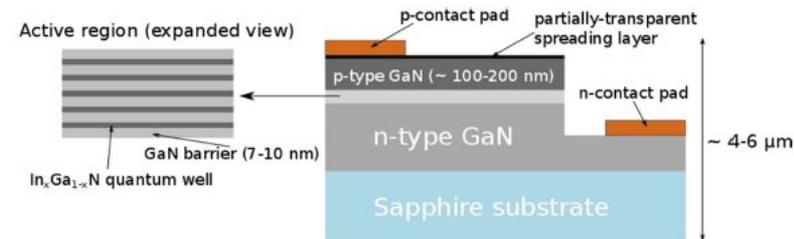
Published 4 January 2017



Abstract

The field of visible light communications (VLC) has gained significant interest over the last decade, in both fibre and free-space embodiments. In fibre systems, the availability of low cost polymer optical fibre (POF) that is compatible with visible data communications has been a key enabler. In free-space applications, the availability of hundreds of THz of the unregulated spectrum makes VLC attractive for wireless communications. This paper provides an overview of the recent developments in VLC systems based on gallium nitride (GaN) light-emitting diodes (LEDs), covering aspects from sources to systems. The state-of-the-art technology enabling bandwidth of GaN LEDs in the range of >400 MHz is explored. Furthermore, advances in key technologies, including advanced modulation, equalisation, and multiplexing that have enabled free-space VLC data rates beyond 10 Gb s^{-1} are also outlined.

Keywords: LEDs, data-communication, visible light communication, gallium nitride LEDs



Li-Fi

LED technology	Maturity	Bandwidth (MHz)
High power broad area LEDs	Commercial mass production	20
GaN RCLEDs	Academic prototypes	200
Semi/non-polar GaN LEDs	Academic and industrial research on epitaxial growth	Prospect for 1000 MHz
Bespoke GaN epitaxial structures	Purely academic research	120
GaN Nano-wire LEDs	Purely academic research	1100
GaN micro-LEDs	Early stage of commercialization (targeting niche-markets)	>400
Plasmonic LEDs	Academic prototypes	200

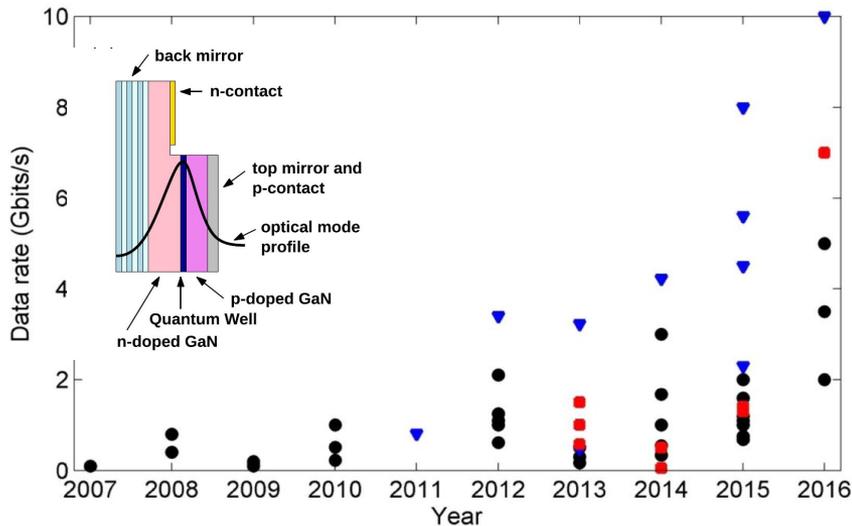
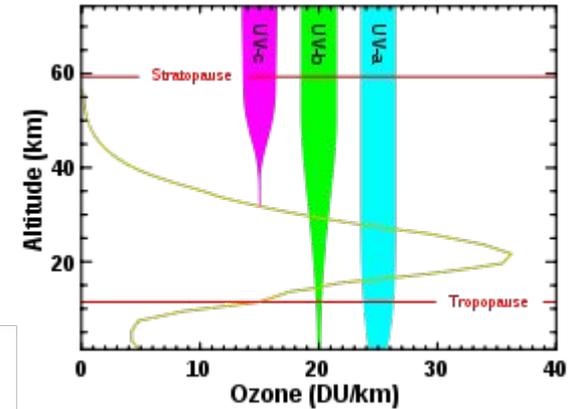


Figure 10. Progress in the reported data rates using visible GaN LEDs, black (circular) dots representing demonstration without any multiplexing, red (square) those with spatial multiplexing and blue (triangular) those with WDM.

«Традиционные» нитридные светодиоды оптимизированы для применений в системах освещения или подсветки (за исключением микросветодиодов) и их дизайн нацелен на достижение максимальной эффективности и мощности при низкой себестоимости, а не частоты модуляции, требуемой для VLC. Сторона типичного чипа – несколько сот мкм. Это позволяет успешнее бороться с droop-эффектом и отводить тепло. Однако и для таких светодиодов возможно получить частоту модуляции на уровне 20 МГц.

Основной естественный источник УФ излучения на Земле — Солнце (10%). Соотношение интенсивности излучения УФ-А и УФ-В и общее количество УФ лучей, достигающих поверхности Земли, зависит от:

- концентрации атмосферного озона над земной поверхностью
- высоты Солнца над горизонтом
- высоты над уровнем моря
- состояния атмосферы
- степени отражения УФ-лучей от поверхности (воды, почвы)

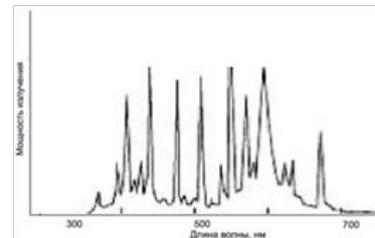
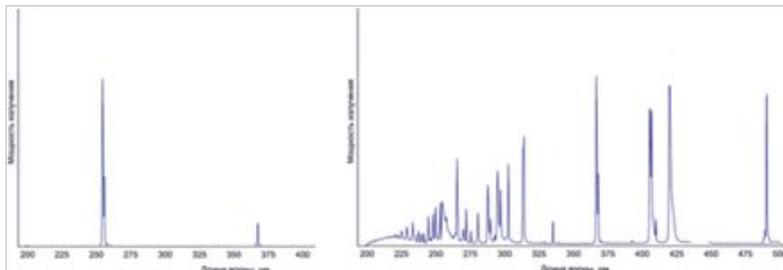


Стандартное силикатное стекло блокирует 90% излучения с длиной волны короче 300 нм

Искусственные источники УФ излучения

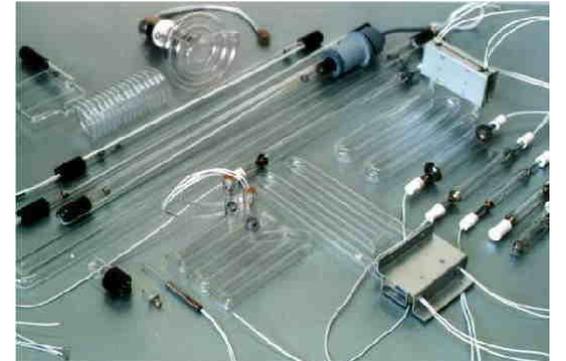


Традиционные Уф лампы: (а) ртутная, (б) ксеноновая, (в) дейтериевая.



Давление в ртутной лампе →

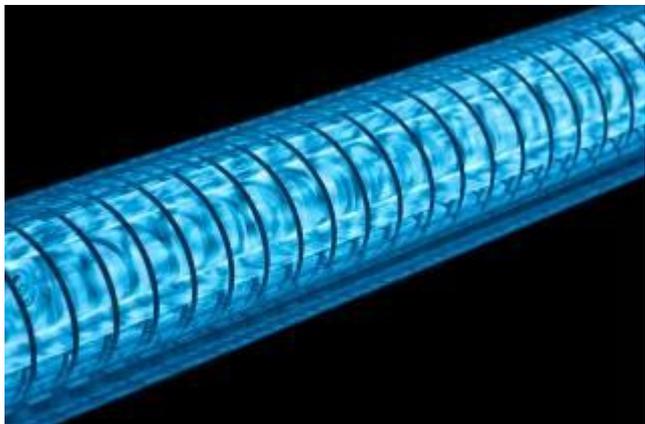
	Ртутная лампа низкого давления	Ртутная лампа среднего и высокого давления	Ксеноновая лампа	Дейтериевая лампа
Применение	дезинфекция	дезинфекция и УФ сушка	лабораторные аналитические инструменты	
Входная мощность, Вт	5 - 100	100 - 60 000	150 - 5000	30 - 200
Эффективность, % WPE	15 - 30		30	30
Срок службы, ч	2000 - 10 000		2000	2000
Средняя цена продажи, \$	2 - 100	100 - 500	100 - 300	200 - 300



Стабилизация электрических и световых параметров ртутной лампы наступает через 10–15 минут после включения. Изменение напряжения питающей сети в большую или меньшую сторону вызывает соответствующее изменение светового потока. Отклонение питающего напряжения на 10 — 15 % допустимо и сопровождается изменением светового потока лампы на 25 — 30 %. При уменьшении напряжения питания менее 80 % номинального, лампа может не зажечься, а горящая — погаснуть. При горении лампа сильно нагревается, что требует использования термостойких проводов, предъявляет серьёзные требования к качеству контактов патронов. Поскольку давление в горелке горячей лампы существенно возрастает, увеличивается и напряжение её пробоя. Величина напряжения питающей сети оказывается недостаточной для зажигания горячей лампы и поэтому перед повторным зажиганием лампа должна остыть. Этот эффект является **существенным недостатком** дуговых ртутных ламп высокого давления, поскольку даже очень краткий перебой питания их гасит, а для повторного зажигания требуется длительная пауза на остывание. Кроме того, эффективность самих ламп зависит от температуры окружающей среды и может падать на 10% при изменении температуры на 25 °С.

Ультрафиолетовое излучение и источники света

Экцимерные лампы и лазеры

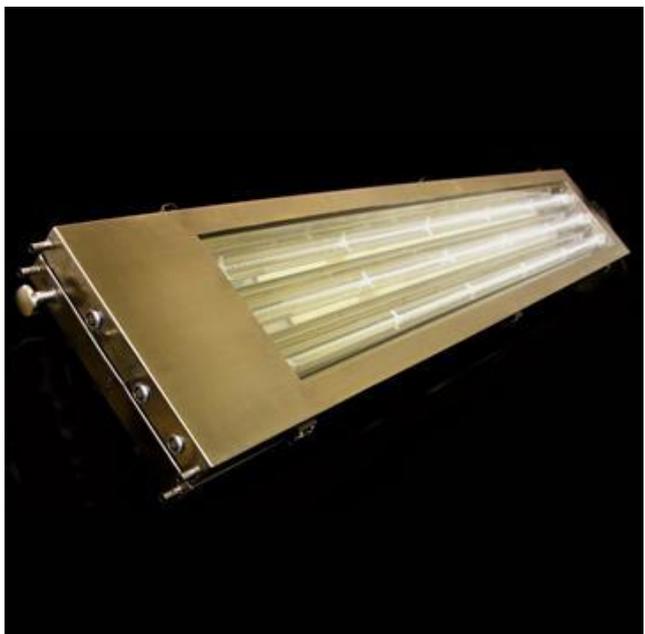


«Экцимер» = «Excimer»= «Excited dimer».

«Искусственно» созданная пара атомов газа, один из которых находится в возбуждённом состоянии. Такое состояние имеет малое время жизни, и пара быстро распадается с излучением УФ. Полуширина линии излучения очень узкая, до 10 нм.

Существуют эксцимерные лампы с длинами волны излучения от 120 до 380 нм. Это практически монохроматическое излучение.

Разряд вызывается электрическим полем радиочастоты (<1 МГц).

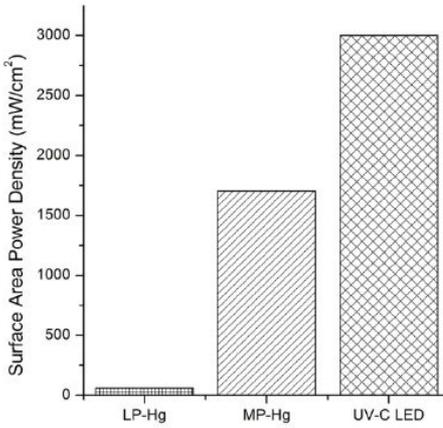


Characteristic	LP Amalgam	Excimer XeBr
UV spectrum	185, 254 nm	282 nm
Mercury Free?	No	Yes
Surface Temperature (°C)	90-120	<100
Plasma length (cm)	20 – 150	15 – 60
Electrical Power (W)	40 – 500	60 – 2,000
Specific Elect. Power (W/cm)	1 – 3	30
Specific UVC flux* (W/cm)	<1	<3
UVC efficiency (%)	35	8

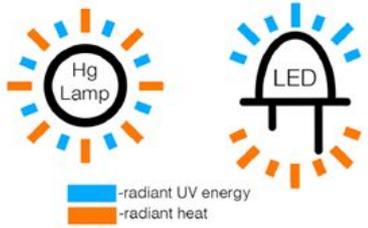
Ультрафиолетовое излучение и источники света

Small is Problematic for Hg

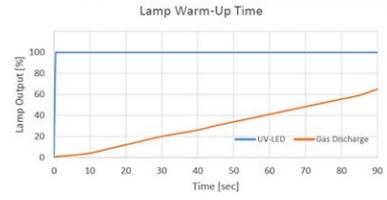
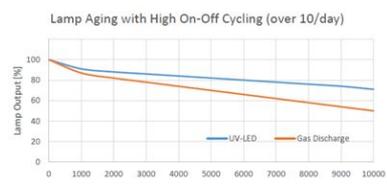
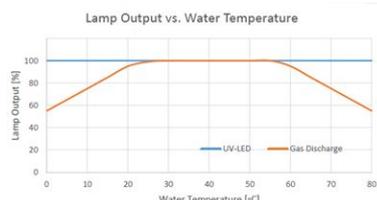
Smallest Hg lamp is double the size of LED lamp
LED lamp includes drive and monitoring circuitry



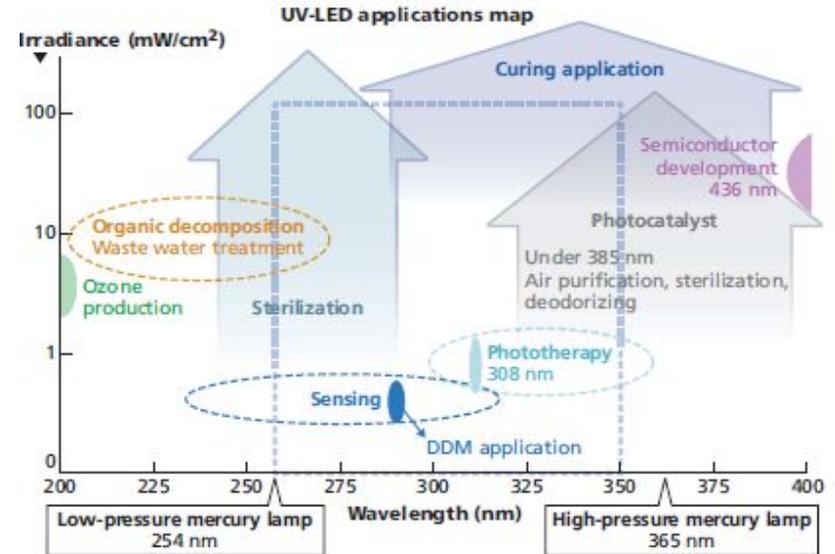
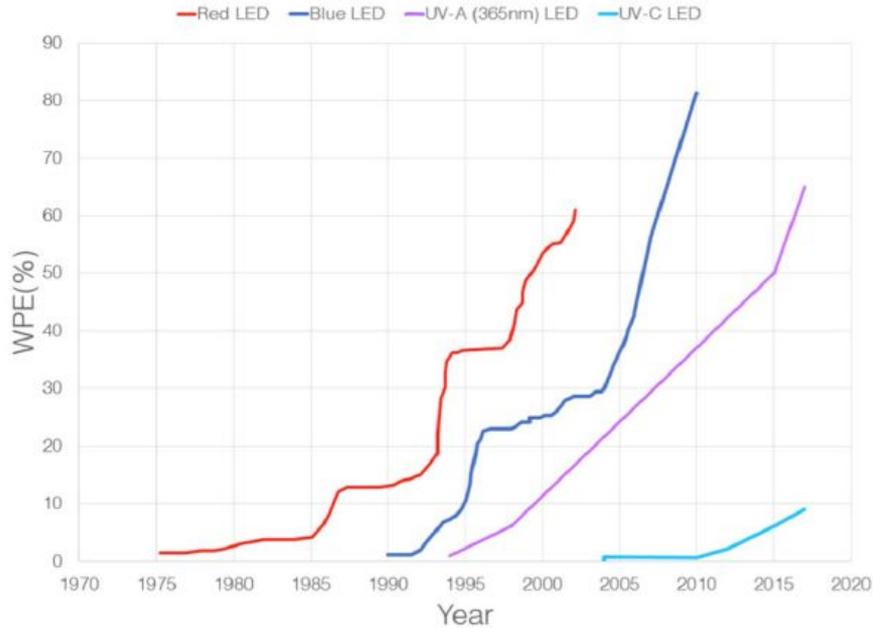
Lamp Heat and Light Direction – Fouling Potential



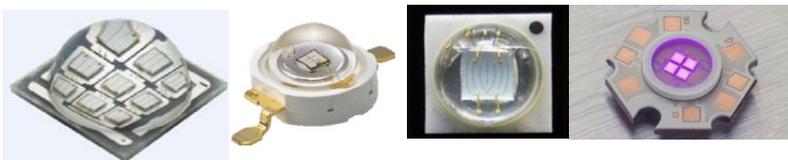
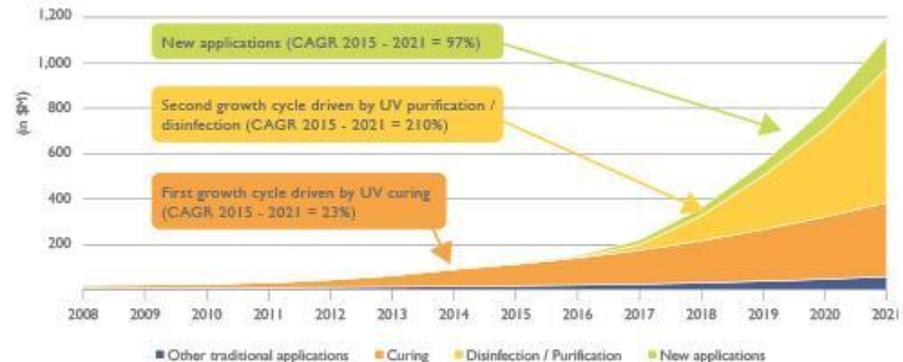
Parameter \ Brand	Ushio	Philips	Philips2	Ushio3	AquiSense
MPN (Part No.)	3000022	PL-S5W/TUV	325126	3000304	PAQC-1
Lamp Architecture	T7	Twin-Tube	Twin-Tube	Twin-Tube	PCB
Base Type	E17	G23	G23	G23	PCB
Life Hours (Hours)	3,000	8,000	8,000	8,000	10,000
Wattage (Watts)	3 Watt	5.5 Watt	9 Watt	9 Watt	8 Watt
Voltage	10.5	34	60	59	12
Current (Amps)	0.3	0.18	0.17	0.18	0.35
UV-C Output (Watts)	0.16	1.1	2.3	2.4	0.18
Wavelength	253.7 nm	253.7 nm	253.7 nm	253.7 nm	270-280 nm
Length (mm)	63	85	145	145	20 X 30
Diameter (Inches)	20	25,4	28	28	2.6 (height)
WPE	5%	20%	26%	27%	2%



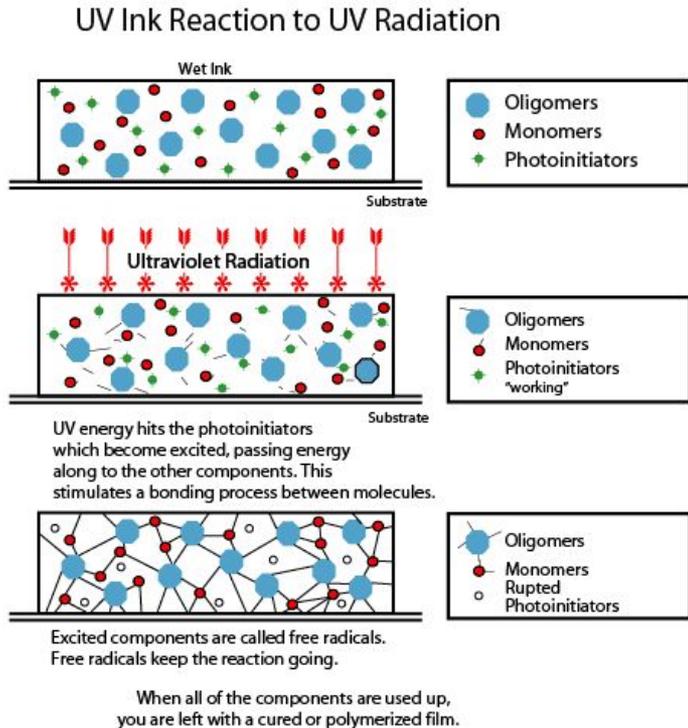
Ультрафиолетовые светодиодные системы в технике, биологии и медицине



2015 to 2021 UV LED market size (chip & package)
 Comparison of main categories of application (curing, disinfection / purification, other traditional applications and new applications)
 (Source: UV LEDs - Technology, Manufacturing and Application Trends, July 2016, Yole Développement)



УФ сушка (UV curing)



	Bulky		Structure		Compact
UV-lamp	High		Power consumption		Low
	Long		Standby time		Short
	High		Heat generation		Low
	Mercury used		Environmental burden		No Mercury used
	Broad	Wavelength			Narrow

УФ сушка (UV curing) используется в промышленности с 1960-х годов, основные области применения: автомобилестроение, электроника, печать. Рынок этих приложений растёт на 10% в год, вытесняя обычную тепловую сушку благодаря более высокой производительности, улучшению качества нанесения покрытий и более безопасной и экологичной технологии производства.

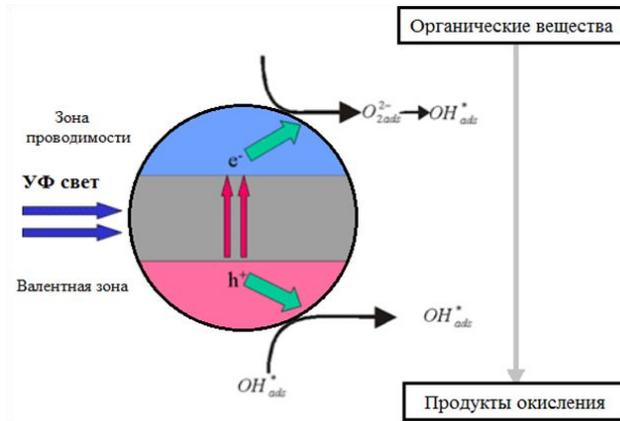
УФ печать

Преимущества светодиодных устройств УФ печати:

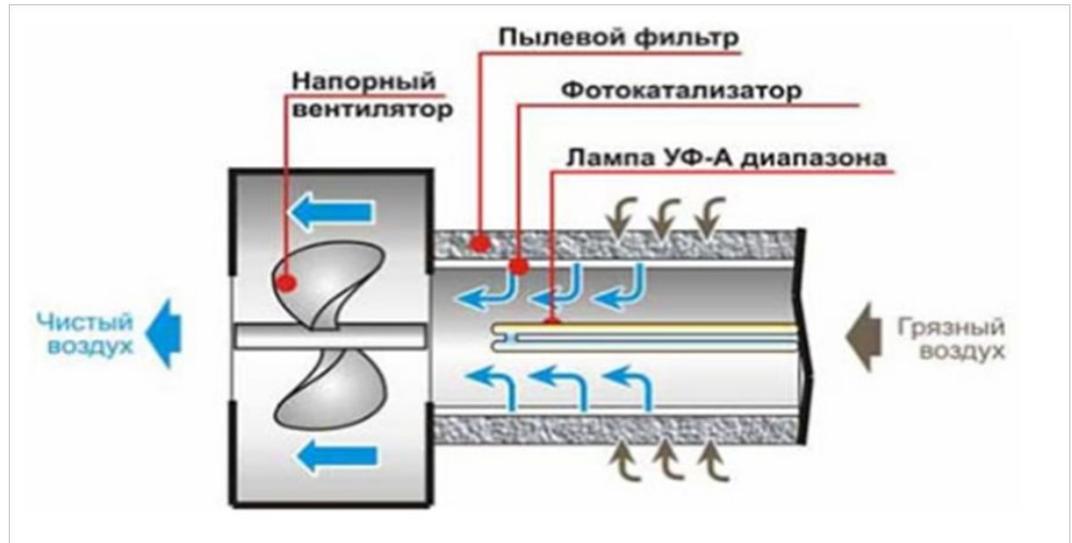
- **Большой ресурс источников света.** Если срок службы обычных УФ ламп, используемых в широкоформатных УФ принтерах, оценивается в диапазоне от 800 до 1000 часов, ультрафиолетовые светодиоды способны эффективно проработать от 4000 до 10 000 часов.
- **Отсутствие в спектре света, генерируемого УФ светодиодами, инфракрасных лучей,** что делает возможным печать на материалах, чувствительных к нагреву, а также на носителях, создававших проблемы при попытках напечатывания с помощью традиционных УФ принтеров на ртутных лампах.
- **Повышение производительности печатного цеха в целом.** Это объясняется тем, что перед запуском принтера в работу система отверждения чернил в традиционных УФ принтерах требует времени на разогрев до 40 минут. В случае, если система фиксации краски построена на основе светодиодов, необходимости в разогреве источников света нет: принтер можно запускать в работу сразу же по мере необходимости.
- **Более высокая энергоэффективность ультрафиолетовых светодиодов по сравнению с ртутными УФ лампами.**
- **Надежность светодиодных УФ ламп (их невозможно разбить, в отличие от колб ртутных ламп) и повышенная безопасность при эксплуатации (при работе они не выделяют озона в атмосферу).**



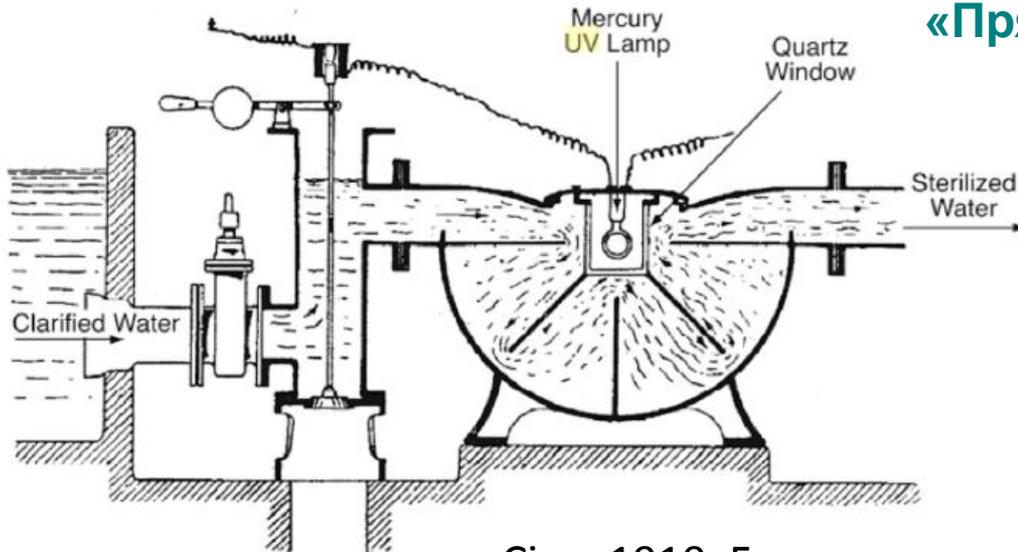
Фотокаталитическая очистка



УФ-А излучение стимулирует окислительно-восстановительные реакции фотокаталитических материалов, чаще всего TiO_2 , что приводит к очистке и дезинфекции. Данный механизм активно используется в системах кондиционирования воздуха и для очистки воды в первую очередь в больницах и непромышленных объектах, а также в растениеводстве. Наиболее активно такие системы производятся в Японии, и основная часть систем фотокаталитической очистки пока оснащена традиционными УФ лампами.

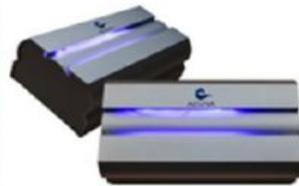


Ультрафиолетовые светодиодные системы в технике, биологии и медицине



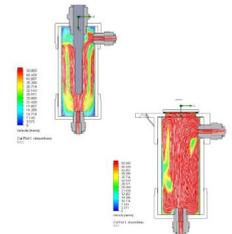
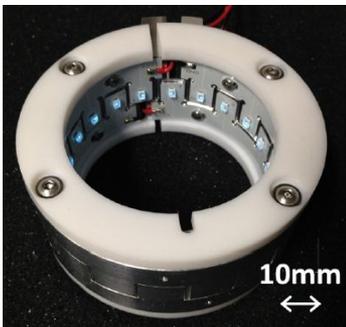
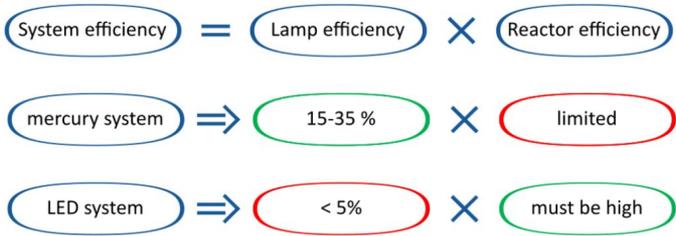
Circa 1910, France

«Прямая» очистка

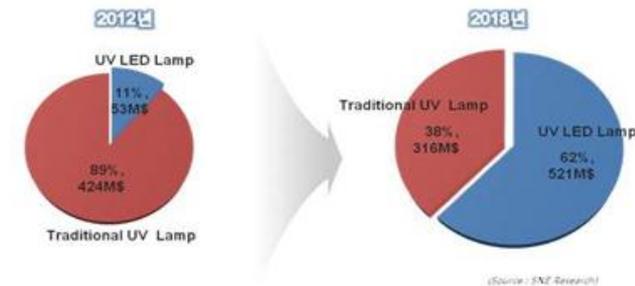
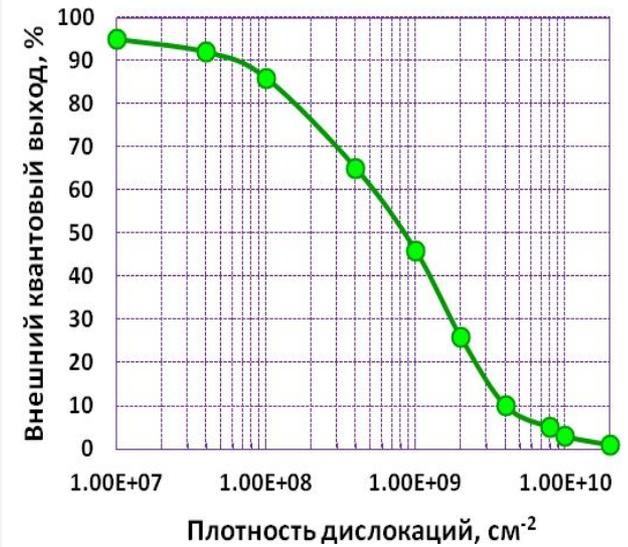
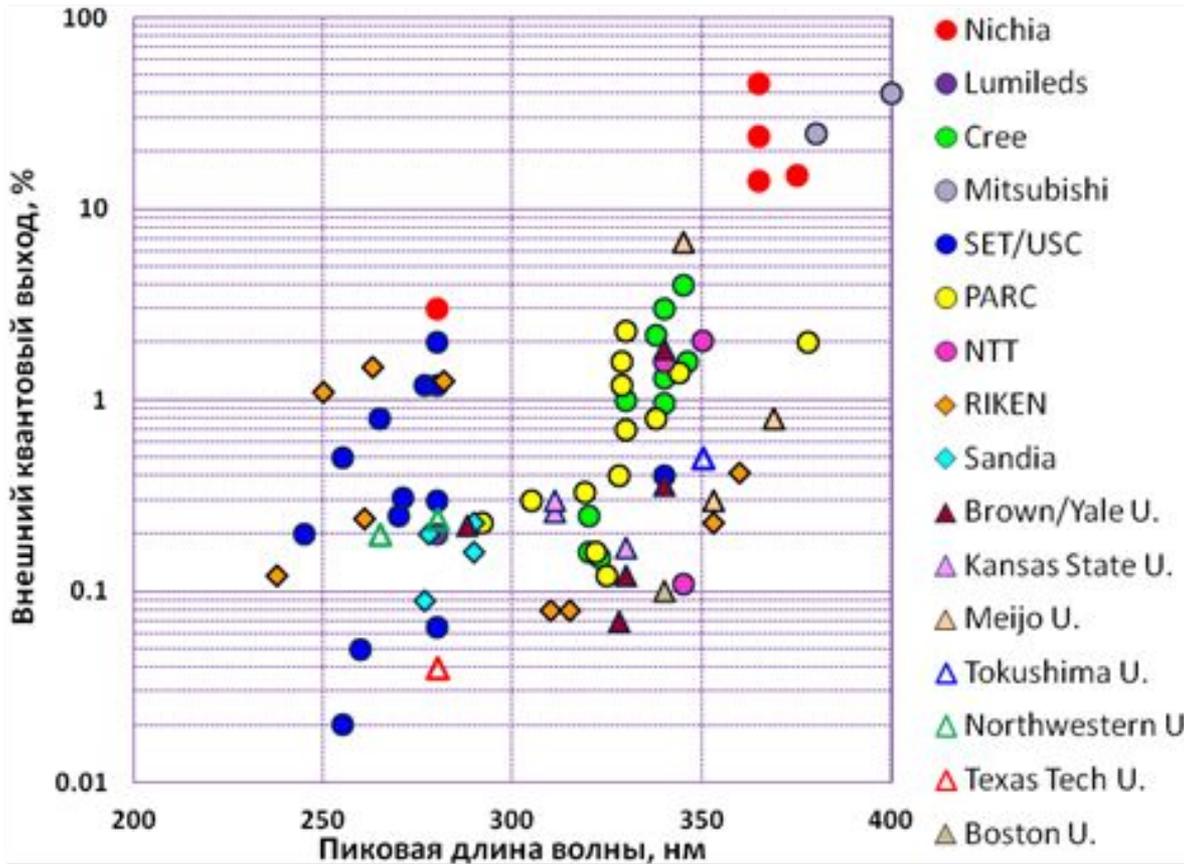


Why System Design Matters

- The design of the system is just as important as the LEDs within it.
- Mercury lamps are 15-35% efficient so they can be paired with a moderately efficient reactor.
- UV LEDs are less than 5% efficient so they must be paired with a highly efficient reactor.

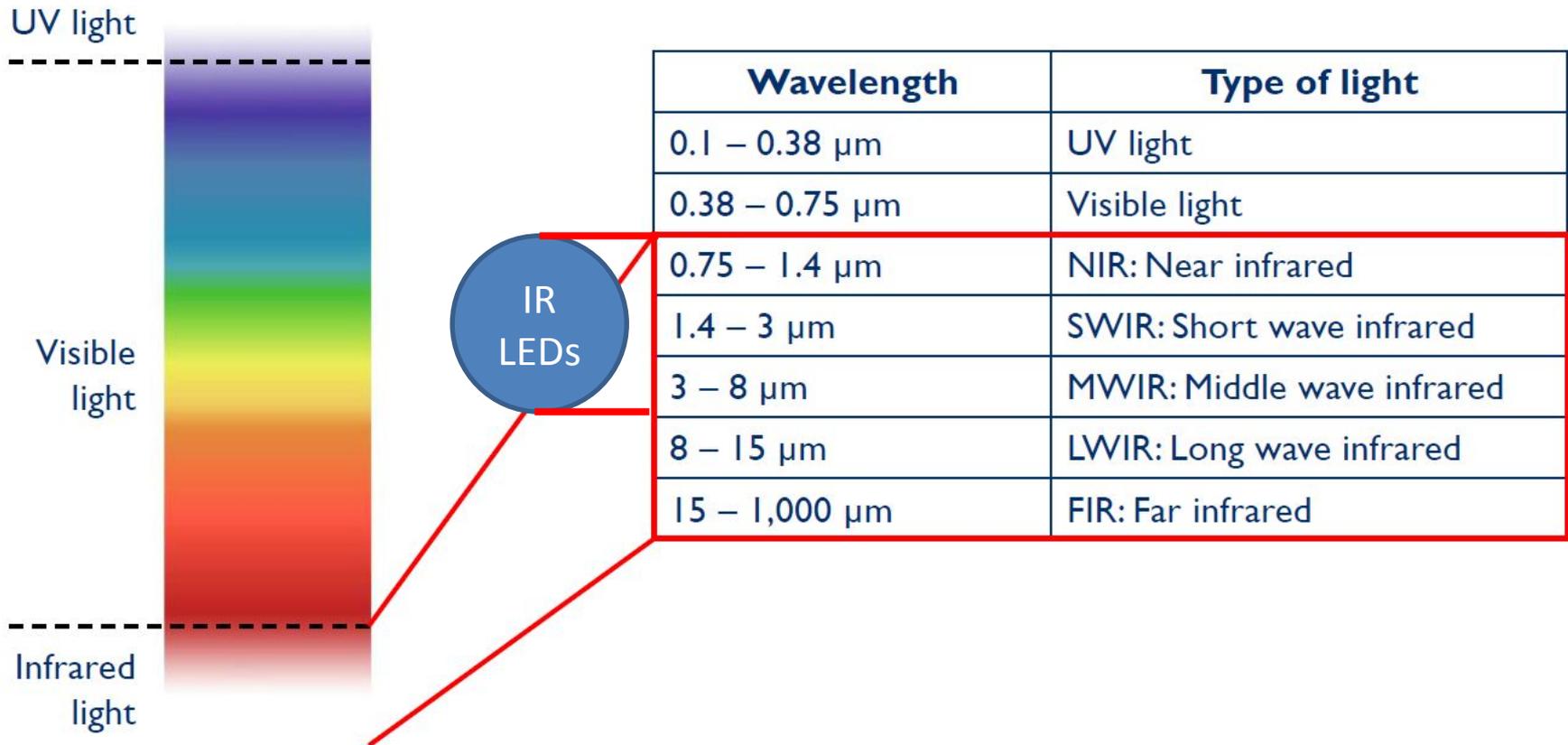


Ультрафиолетовые светодиоды: вызовы



М.Kneissl и др., 2011, «Advances in group III-nitride-based deep UV light-emitting diode technology», Semiconductor Science and Technology, **26** 014036

Инфракрасные светодиоды



ИК излучение также называют «тепловым» излучением, так как все тела, нагретые до определенной температуры, излучают энергию в ИК области спектра. При этом излучаемые длины волн зависят от температуры тела: чем выше температура, тем короче длина волны и больше энергия. Спектр излучения абсолютно чёрного тела при температурах до пятисот градусов лежит в ИК диапазоне. При дальнейшем нагревании тела оно начинает излучать энергию в видимой области спектра и можно увидеть сначала темно-красное, а затем яркое белое свечение.

Traditional IR lamp systems:

- The system is designed around the lamp
- The IR system includes reflectors, power supply, ballasts, optics, electronics and housing.
- **These are basic systems with little potential to add smart functions.**



A totally different design approach.

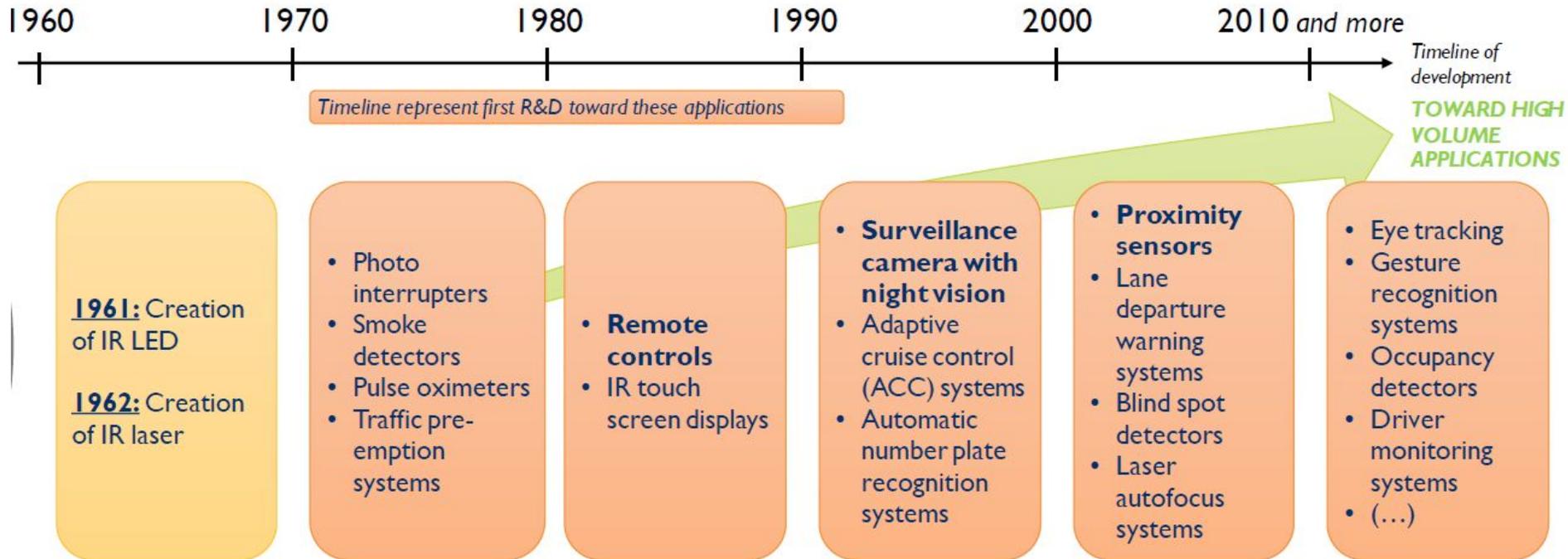
IR LED systems:

- The LED module can be adapted to the system.
- IR LEDs are miniaturized semiconductor devices, and **can be associated with other components and data processing for advanced applications and smart functions.**



Способность полупроводниковых материалов испускать ИК излучение была впервые замечена в 1955 году Р. Браунштейном из компании RCA (США). Он исследовал ИК излучение диодной полупроводниковой структуры на основе GaSb, GaAs, InP и сплава SiGe при прохождении электрического тока. В 1961 году Р. Бард и Г. Питман из компании Texas Instruments получили патент на ИК полупроводниковый светодиод на базе арсенида галлия. В 1976 году Т. Пирселл, исследуя новые полупроводниковые материалы, получил первый сверхъяркий ИК светодиод для оптоволоконных линий связи.

ИК излучатели: светодиоды и лазеры

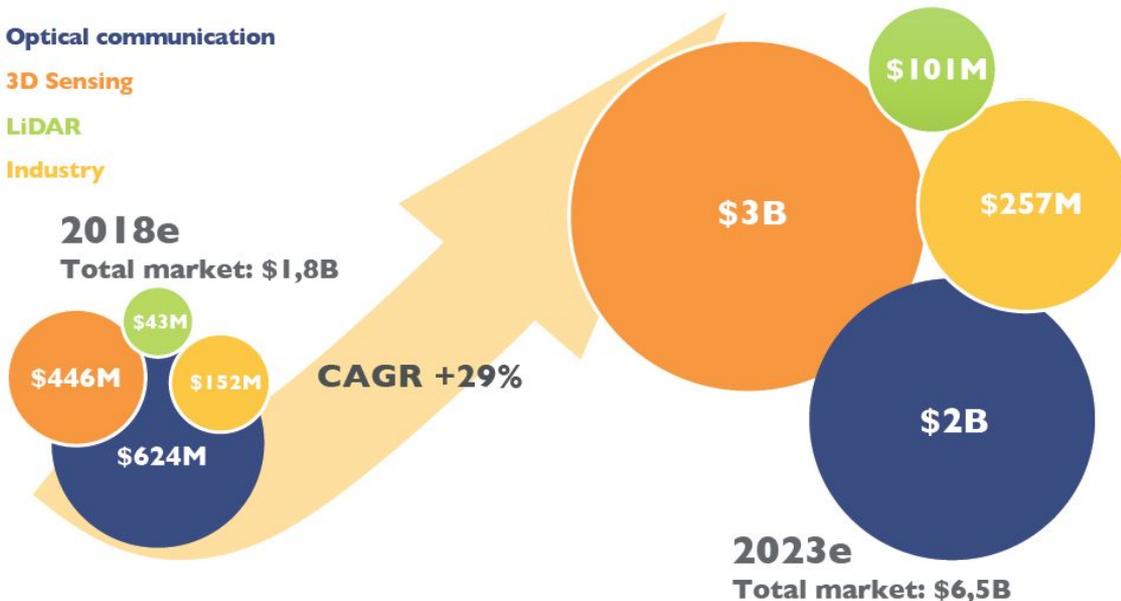


- The **first big consumer applications using IR LED** was the **remote control one** (in the 1980s), **followed by surveillance camera with night vision** (in the 1990s - following the development of image sensors).
- Nowadays, **development of new / smart functionalities** in smartphome, medical, automotive (...) and **development of breakthrough devices / functions** (i.e.: wearable, AR / VR) is **driving IR LED / lasers towards new applications**. In this field, **proximity sensors have opened the way**.

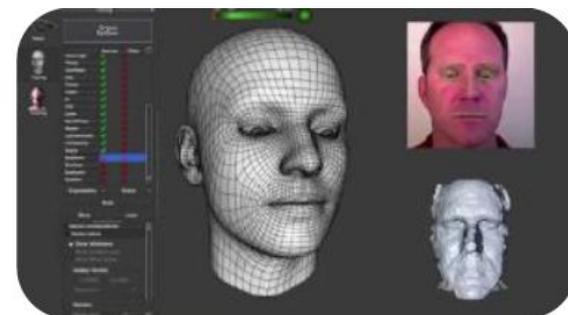
Инфракрасные излучатели

IR light source market forecast - by key segment

- Optical communication
- 3D Sensing
- LiDAR
- Industry

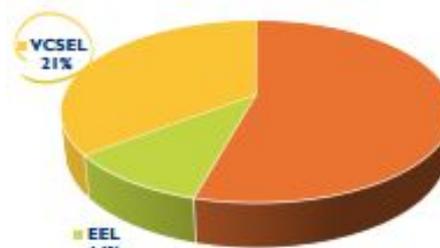


(Yole Développement, October 2018)



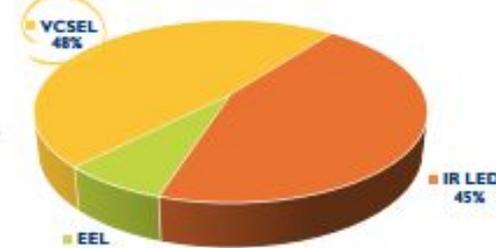
IR light sources market shares - 2016 vs 2022

2016 IR light sources market shares



Over a total market size of \$450M

2022 IR light sources market shares

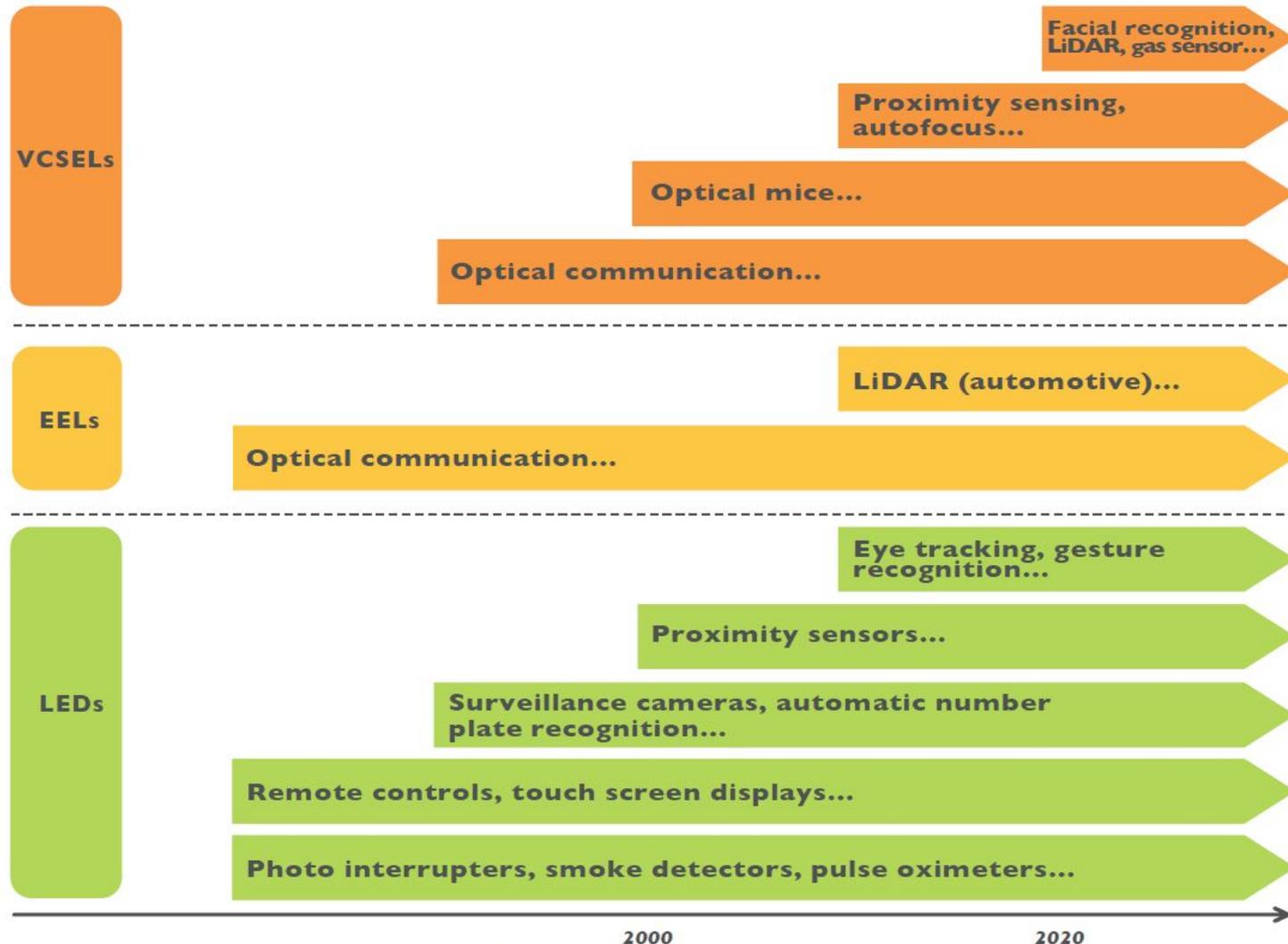


Over a total market size of \$1,550M



ИК излучатели: светодиоды и лазеры

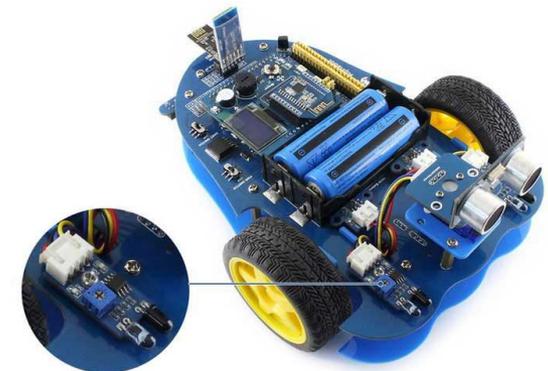
Timeline for major IR lighting applications, by technology
LED vs. EEL vs. VCSEL



Инфракрасные светодиоды

Ближний ИК-диапазон

Application	IR light function	IR light source	Wavelength	Development status
Optical communication	To transfer data through optical fiber	IR EEL IR VCSEL	850nm to 1550nm	Commercialized
Remote control	To control a distant device	IR LED	940nm	Commercialized
Horticultural lighting	To provide artificial light to increase yields	IR LED	730nm/Up to 750nm	Commercialized
Movie piracy prevention	To prevent movie recording in theatres	IR LED	850nm or 940nm	Not commercialized
Proximity sensors	Mostly to detect the human ear and disable touchpads during phone calls	IR LED	950 nm	Commercialized
Tilt sensors	To measure the inclination or tilt of an object	IR LED	940nm	Commercialized

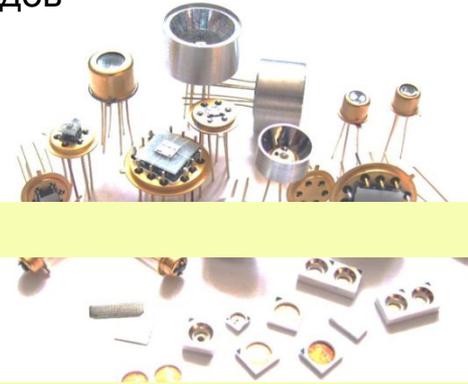


Инфракрасные светодиоды

Средний ИК-диапазон

Экология

- измерение концентрации углекислого газа в помещениях
- измерение концентрации углекислого газа на улицах городов
- контроль выхлопных газов машин
- контроль состава биогаза на свалках
- контроль утечек бытового природного газа
- контроль выбросов вредных газов в атмосферу
- контроль загрязнения вод углеводородами



Медицинская диагностика

- измерение углекислого газа в выдыхаемом воздухе
- измерение ацетона в выдыхаемом воздухе
- неинвазивный анализ содержания глюкозы в крови

Нефтегазовая и угольная промышленность

- измерение содержания воды в нефти
- измерение содержания сероводорода в нефти
- контроль утечек метана

Химическая промышленность

- непрерывный контроль за технологическими процессами

Целлюлозно-бумажная промышленность

- непрерывный контроль влажности бумаги в процессе производства

Пищевая промышленность и сельское хозяйство

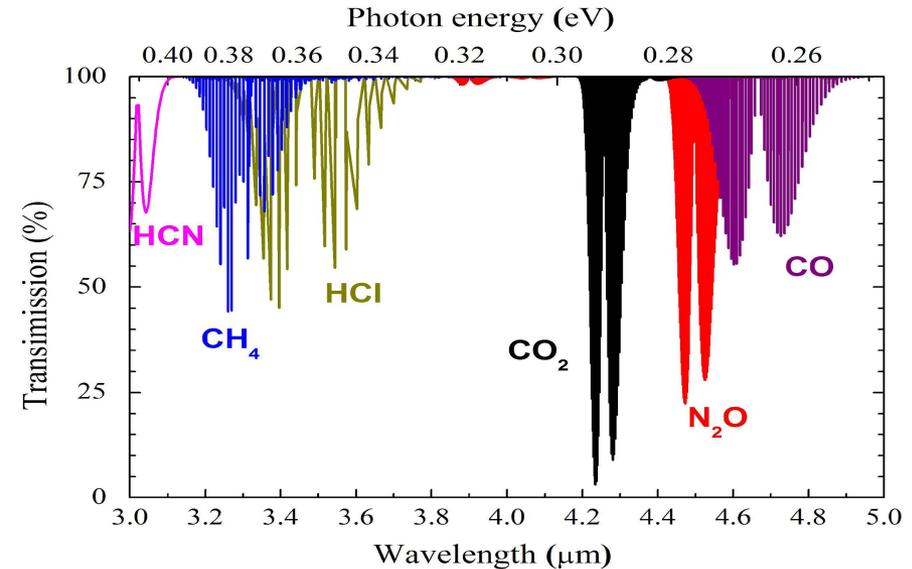
- измерение влажности зерна и других продуктов
- измерение содержания клейковины и других веществ в зерне

Бытовая техника

- измерение углекислого газа и влажности в климатических системах
- встроенные миниатюрные сенсоры в мобильных телефонах и ноутбуках

Инфракрасные светодиоды

Средний ИК-диапазон



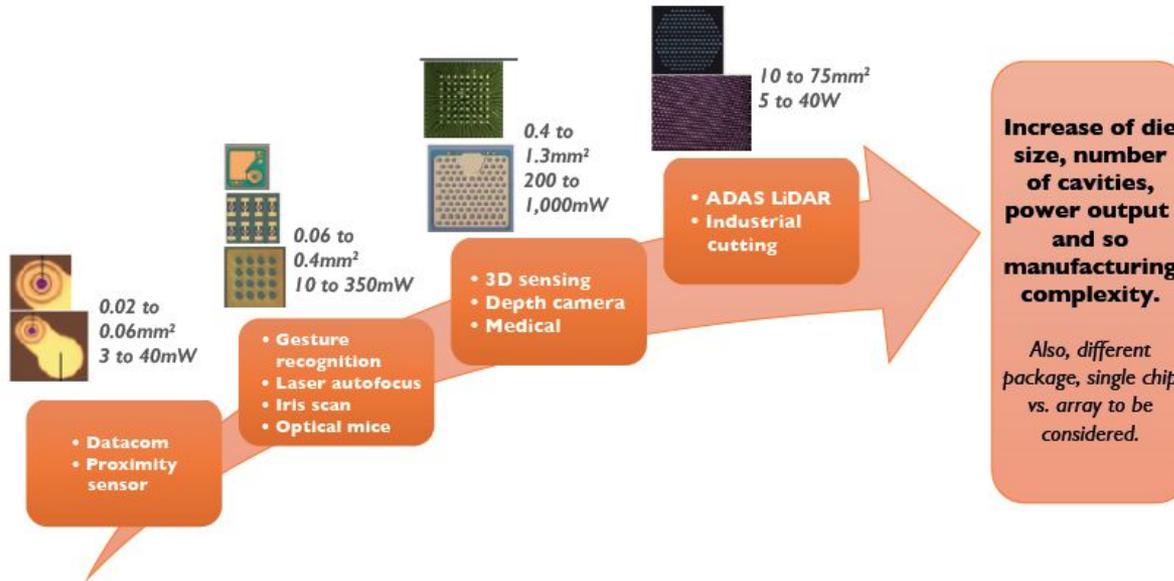
ИК светодиоды превосходят применяемые сейчас тепловые источники ИК излучения по следующим параметрам:

- компактность (размер чипа 0.3x0.3 мм);
- низкое энергопотребление (в импульсном режиме порядка 1 мВт);
- высокое быстродействие (десятки наносекунд);
- большой срок службы (80 000-100 000 часов);
- возможность создания миниатюрных многоэлементных линеек и матриц.



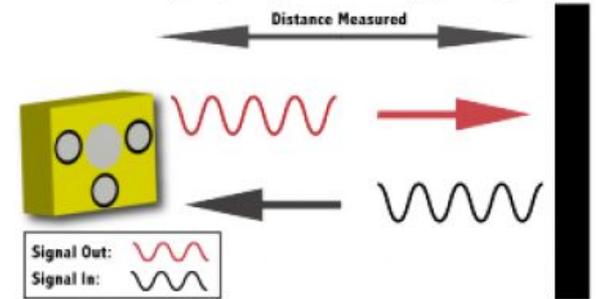
Вертикально-излучающие лазеры

VCSEL specifications vs. Application requirements



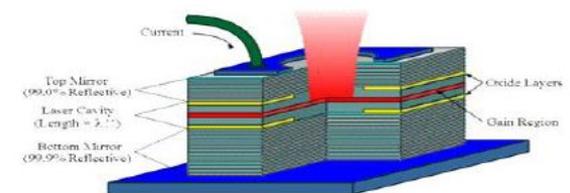
(Yole Développement, July 2018)

Time-of-Flight (ToF) Technology Using Light

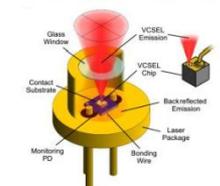


Time-of-flight principle
Source: TeraRanger

Surface emitting laser

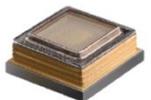


VCSEL in TO-46 package

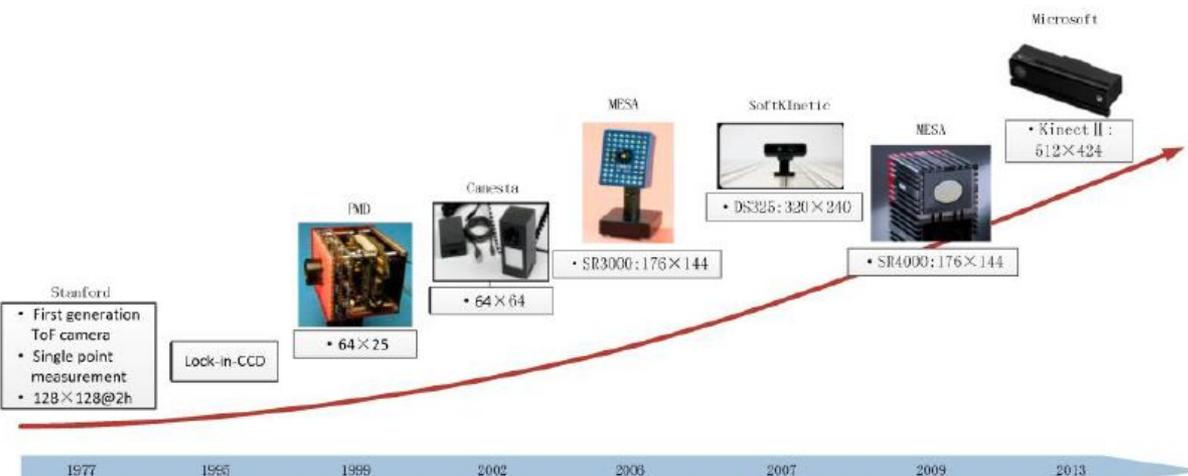


Source: The Optical Society of America

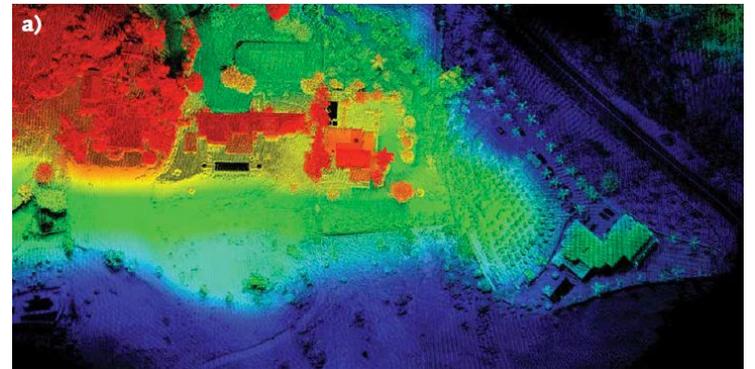
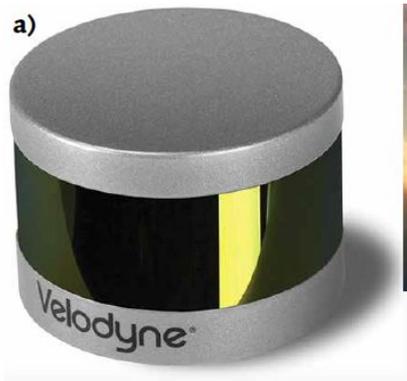
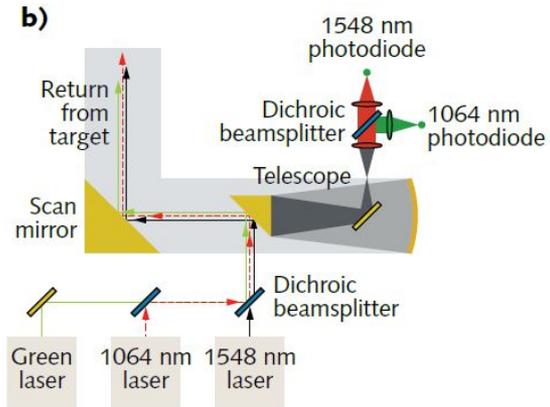
VCSEL in SMD package

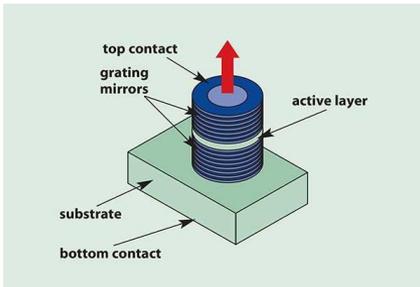


Source: Philips Photonic



Лидары

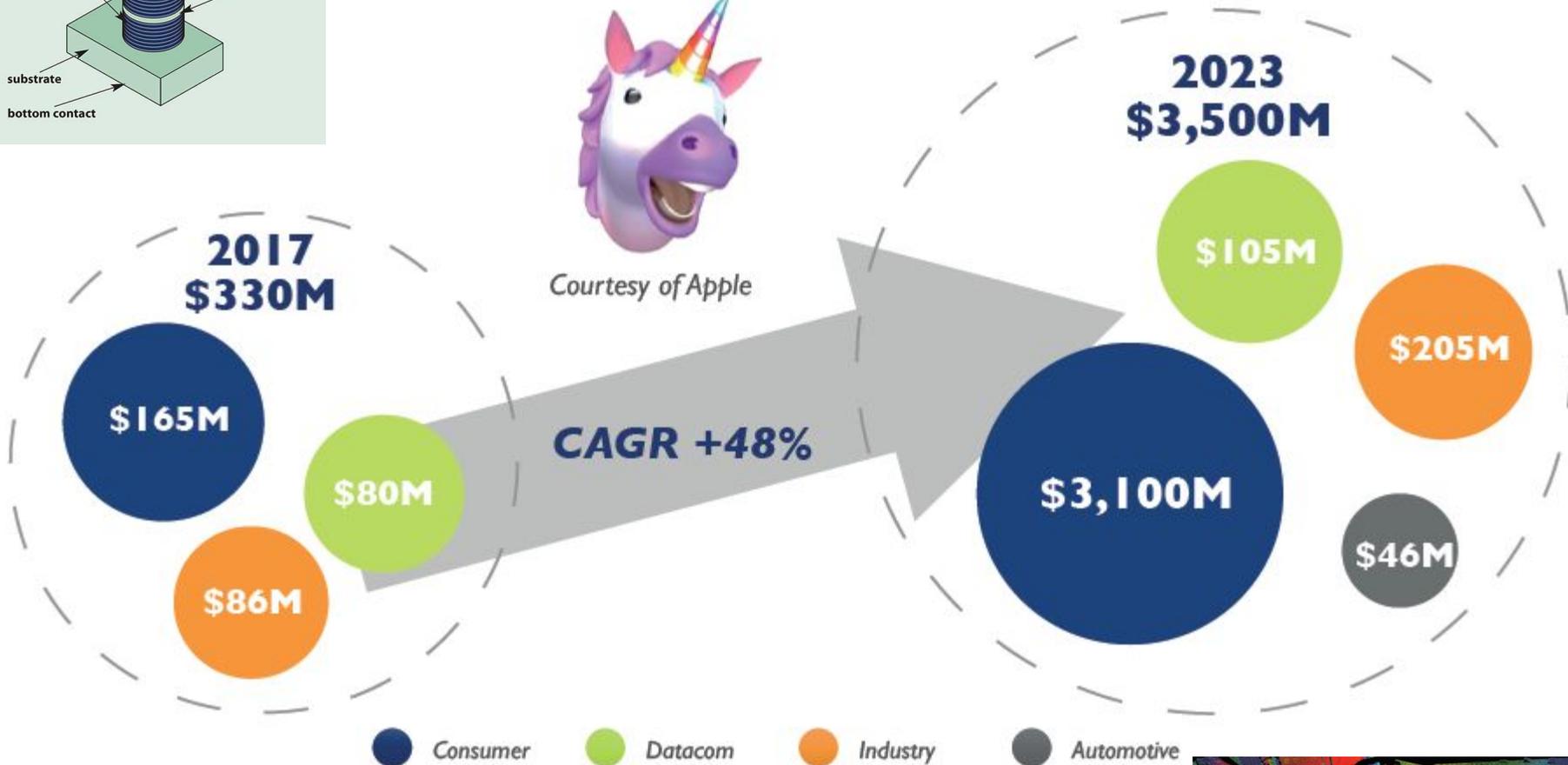




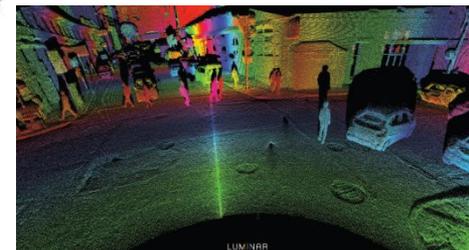
VCSEL market forecast by segment



Courtesy of Apple



(Yole Développement, July 2018)



Спасибо за внимание!

Конец второй части