

*Научная конференция "ЛОМОНОСОВСКИЕ ЧТЕНИЯ"
ноябрь 2011 года
К 300-летию со дня рождения М.В. Ломоносова*



Молекулярная и органическая электроника – проблемы и перспективы.

Разумов Владимир Федорович

член-корреспондент РАН

Институт проблем химической физики РАН

19 ноября 2011 г.

***Электроника – это одно из наиболее
стремительно развивающихся
направлений науки и техники, которое
определяет
прогресс общества в целом.***

Прогресс электроники

4-е поколение

Большая
интегральная
схема
1972 г.



3-е поколение

Интегральная
схема
1964 г.



2-е поколение

Транзистор
1956 г.



1-е поколение

Электронная
лампа
1945 г.



НАНО-

МИКРО-

МАКРО-



The Nobel Prize in Physics 1956

"за исследования полупроводников и открытие транзисторного эффекта"



William Bradford Shockley

1/3 of the prize

USA

Semiconductor Laboratory
of Beckman Instruments, Inc.
Mountain View, CA, USA

b. 1910
(in London, United Kingdom)
d. 1989



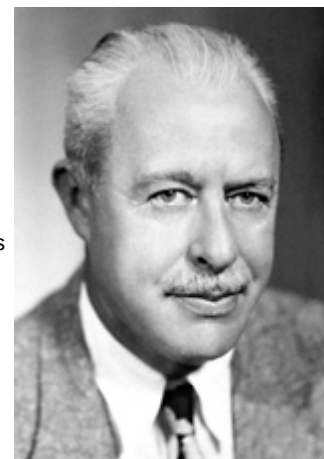
John Bardeen

1/3 of the prize

USA

University of Illinois
Urbana, IL, USA

b. 1908
d. 1991



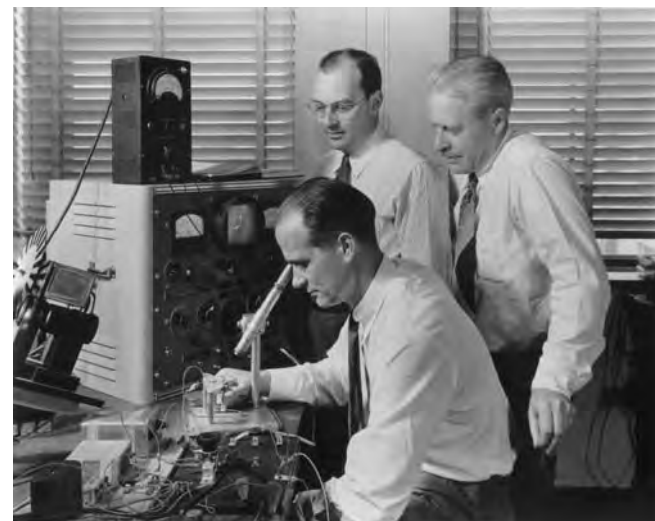
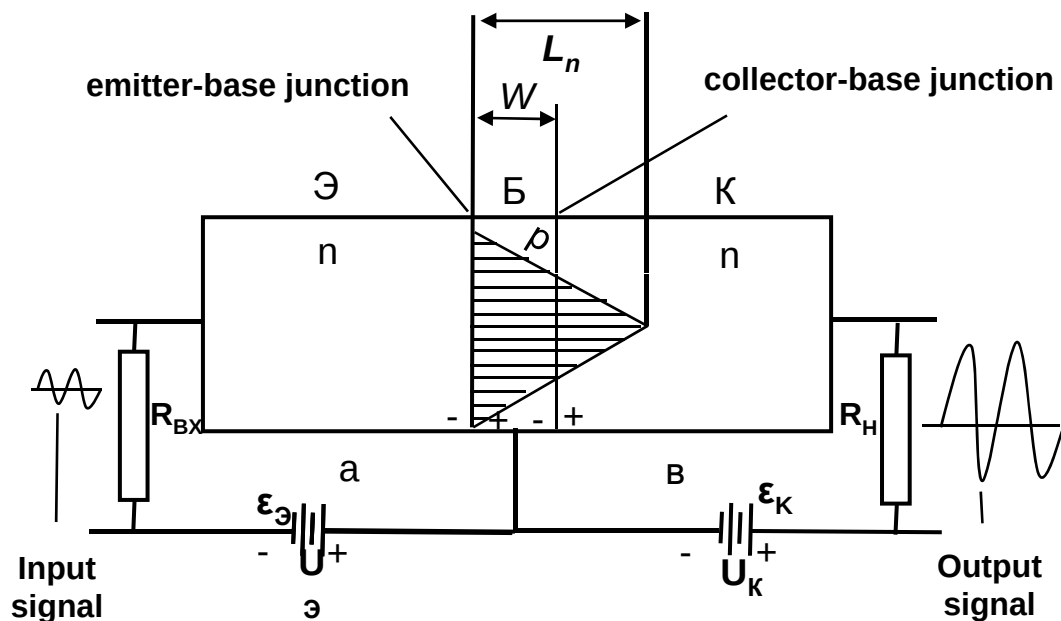
Walter Houser Brattain

1/3 of the prize

USA

Bell Telephone Laboratories
Murray Hill, NJ, USA

b. 1902
d. 1987





The Nobel Prize in Physics 2000

"for basic work on information and communication technology"

"за открытие полупроводниковых гетероструктур, используемых в высокоскоростной оптоэлектронной связи" "за вклад в изобретение интегральной схемы"



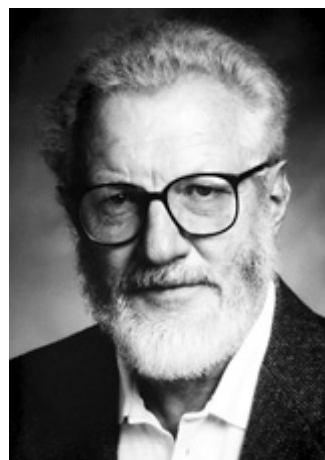
Zhores I. Alferov

1/4 of the prize

Russia

A.F. Ioffe Physico-
Technical Institute
St. Petersburg, Russia

b. 1930



Herbert Kroemer

1/4 of the prize

Federal Republic of
Germany

University of California
Santa Barbara, CA,
USA

b. 1928



Jack S. Kilby

1/2 of the prize

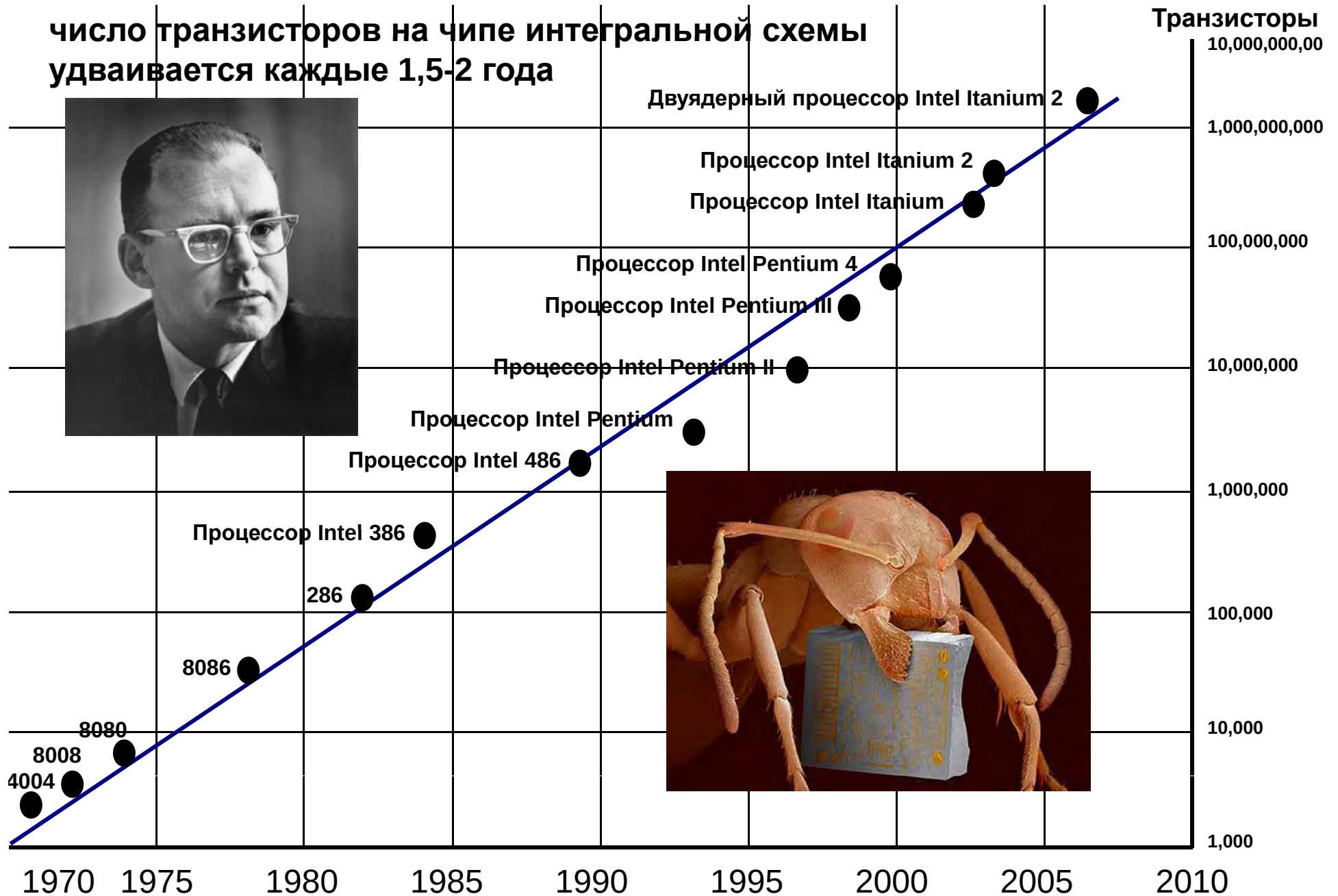
USA

Texas
Instruments
Dallas, TX, USA

b. 1923
d. 2005

Закон Мура

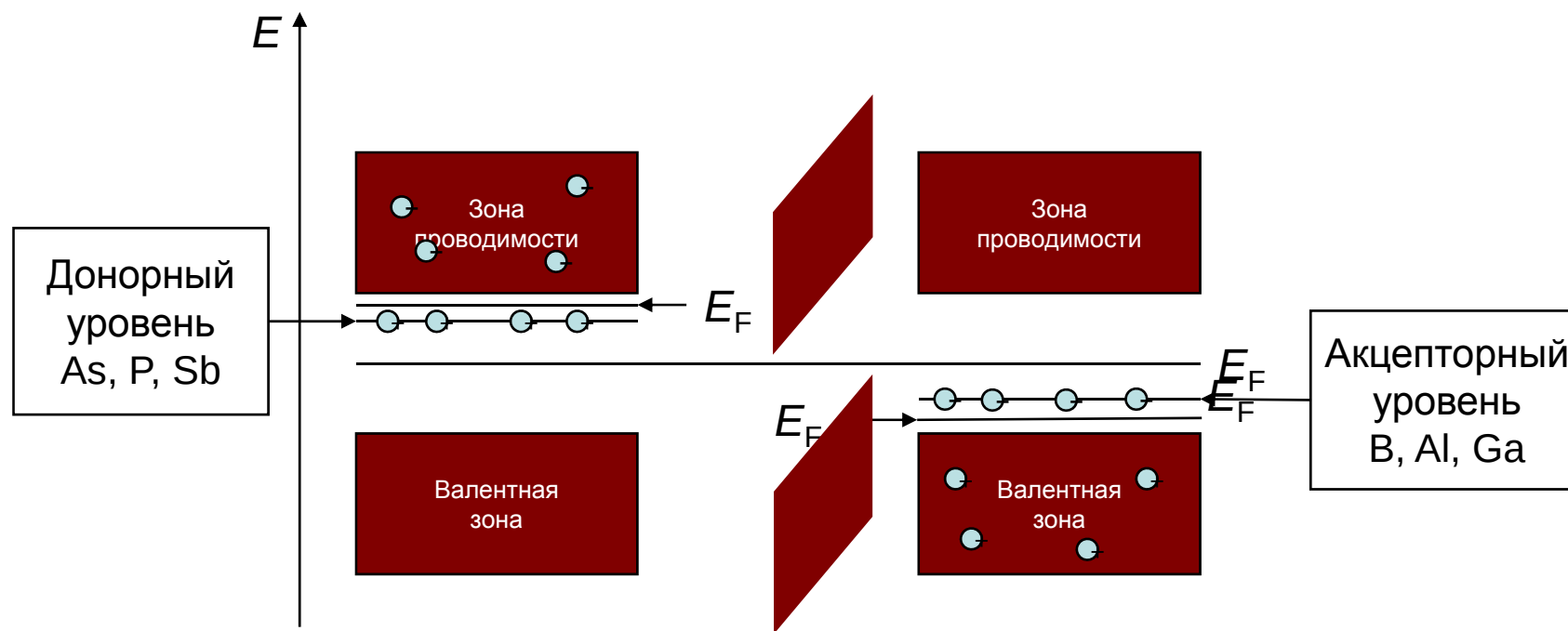
число транзисторов на чипе интегральной схемы удваивается каждые 1,5-2 года



Эволюция размера элемента и объёма памяти чипа интегральных схем



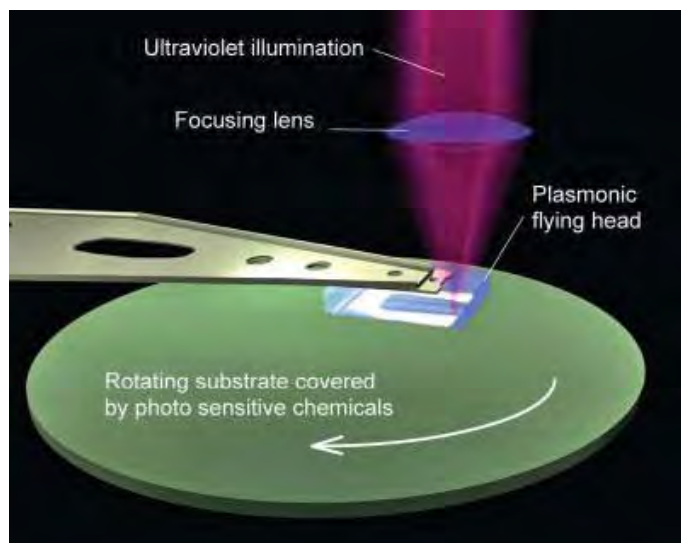
Формирование p-n перехода в Si



Уменьшение размера элемента чипа

Размер элемента чипа

Технологические ограничения

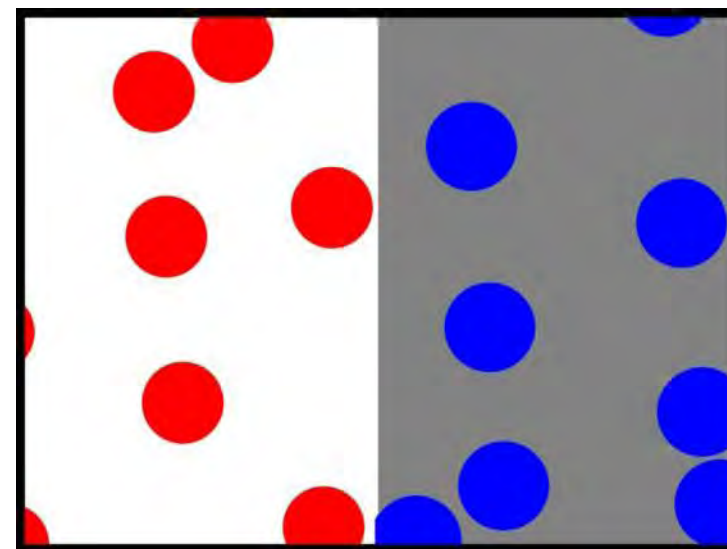


Определены возможностями оптической рентгеновской электронной ионно-лучевой литографий. Практически не лимитируют необходимый размер элемента чипа

Физические ограничения

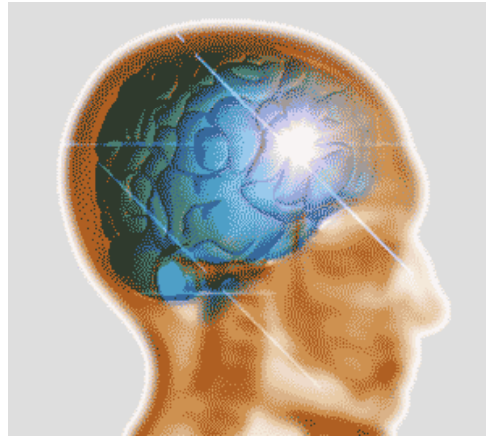
р - тип

п - тип



- Флуктуации концентрации легирующей примеси (проявляются при размере < 200 нм)
- Поверхностная диффузия легирующей примеси
- Изменение механизмов транспорта зарядов
- Другие классические и квантовые размерные эффекты

Молекулярная электроника



парадигма p-n перехода

Принцип функционирования мозга нельзя свести к парадигме p-n перехода

Плотность объема памяти

ДНК



10^{14} бит/см²



**Интегральная
схема**

$10^6 - 10^7$ бит/см²



Молекулярная электроника

решает задачи электроники, используя при этом принцип молекулярного дизайна или молекулярного инжиниринга

ОРГАНИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

**молекулярная электроника
макроскопического уровня**

прикладная область исследований, направленная на создание молекулярных материалов для электроники, которые далее используются для создания электронных устройств, функционирующих по принципу *p-n*-перехода

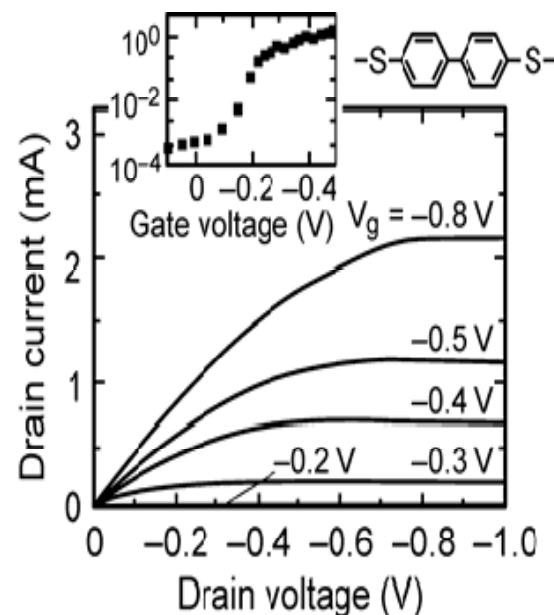
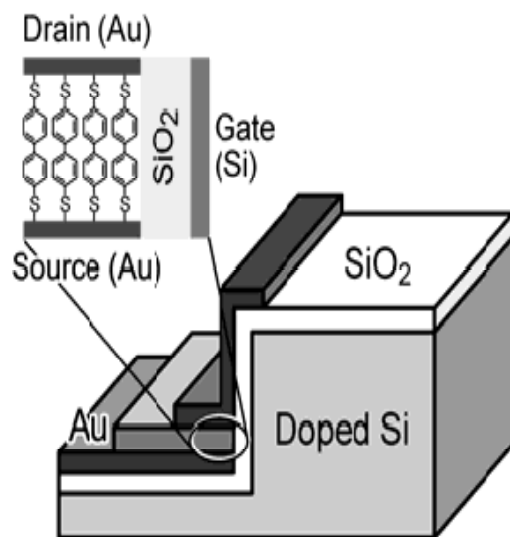
МОЛЕКУЛЯРНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

**молекулярная электроника
микроскопического уровня**

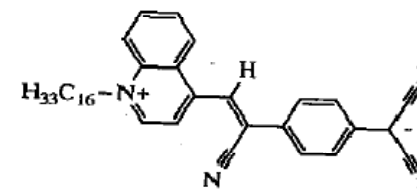
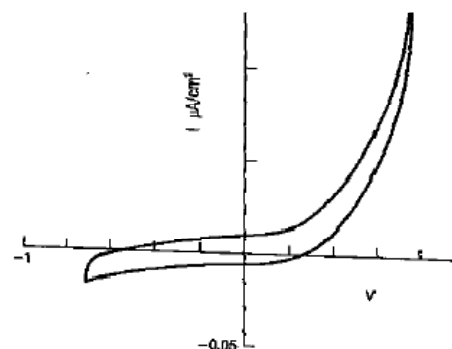
область фундаментальных исследований, направленных на поиск новых принципов обработки информации с использованием отдельных молекул или их фрагментов

Молекулярная электроника

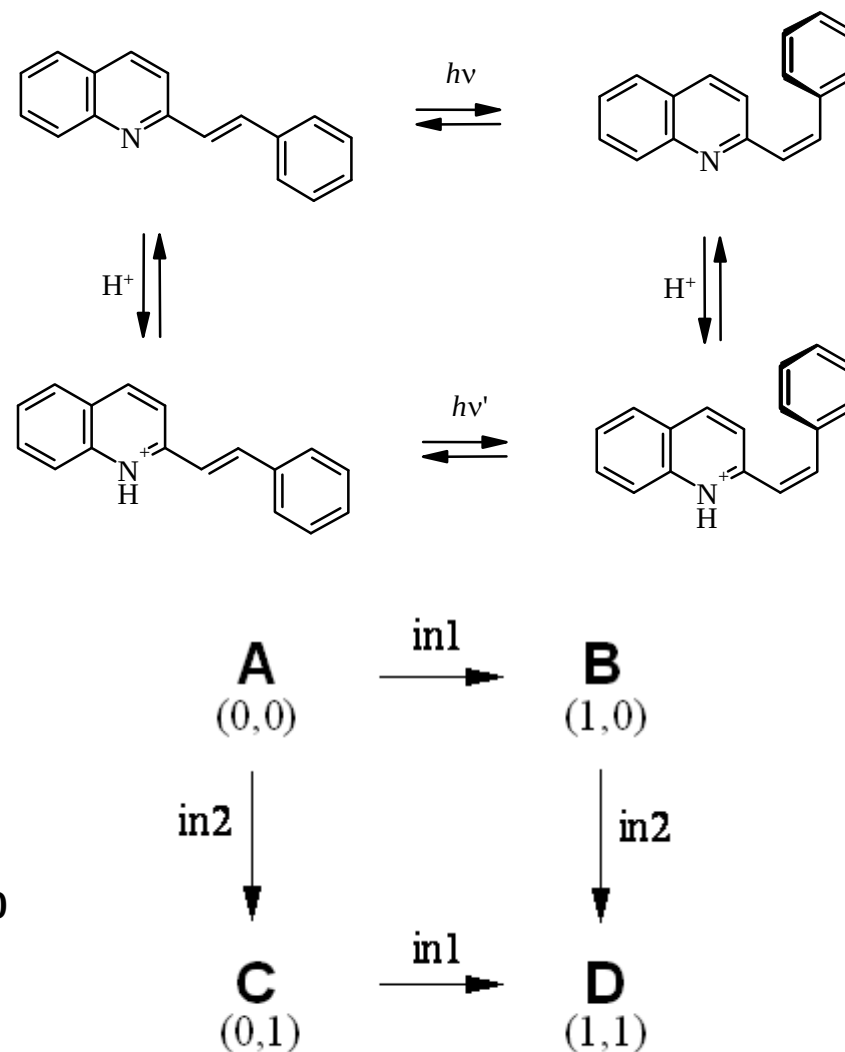
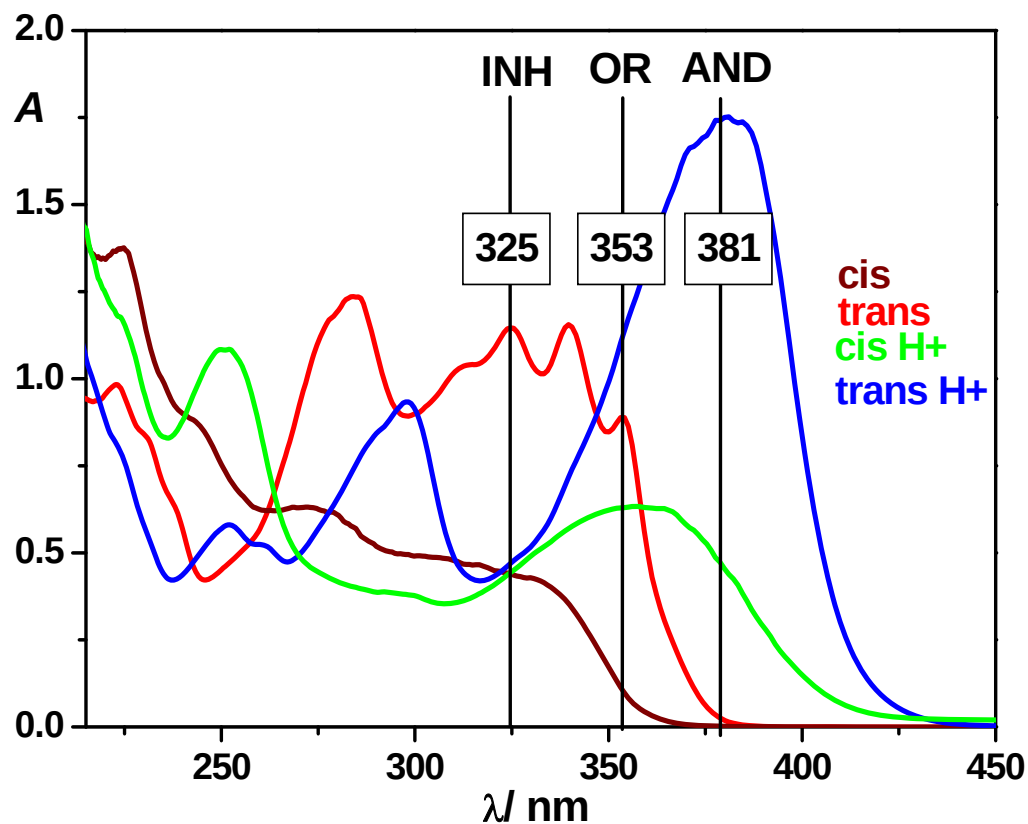
Молекулярный полевой транзистор



Молекулярный диод

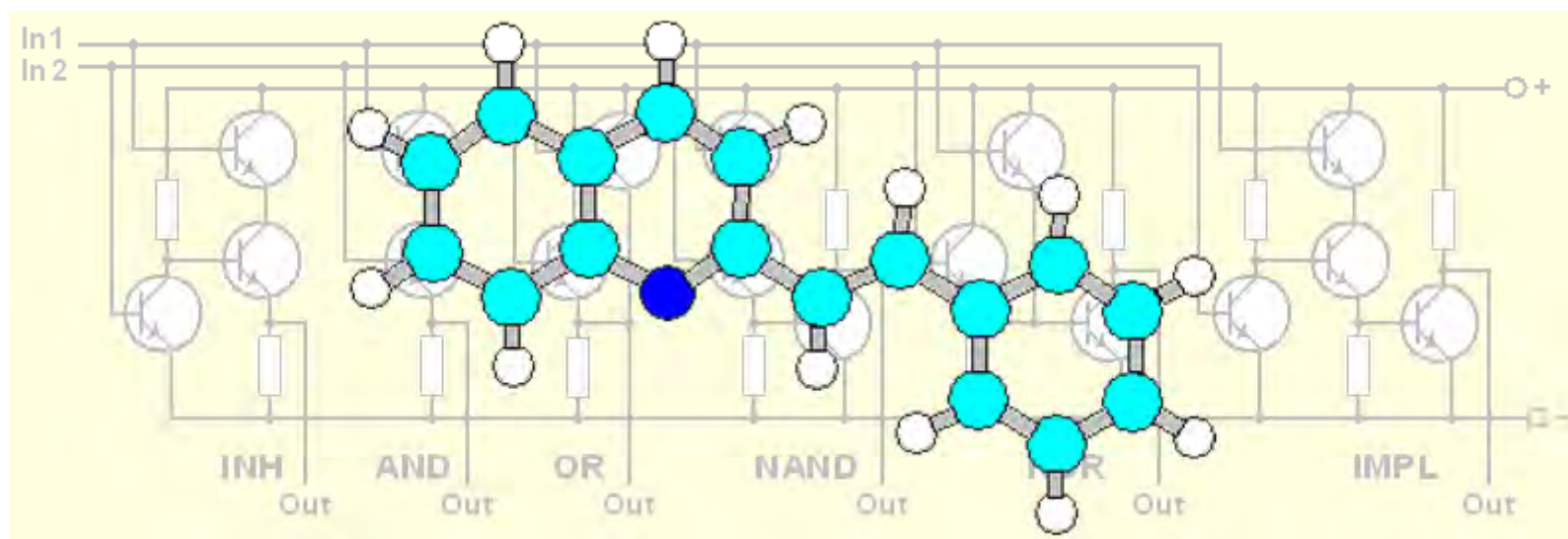


Дизайн МЛВ на основе 2-стирилхинолина



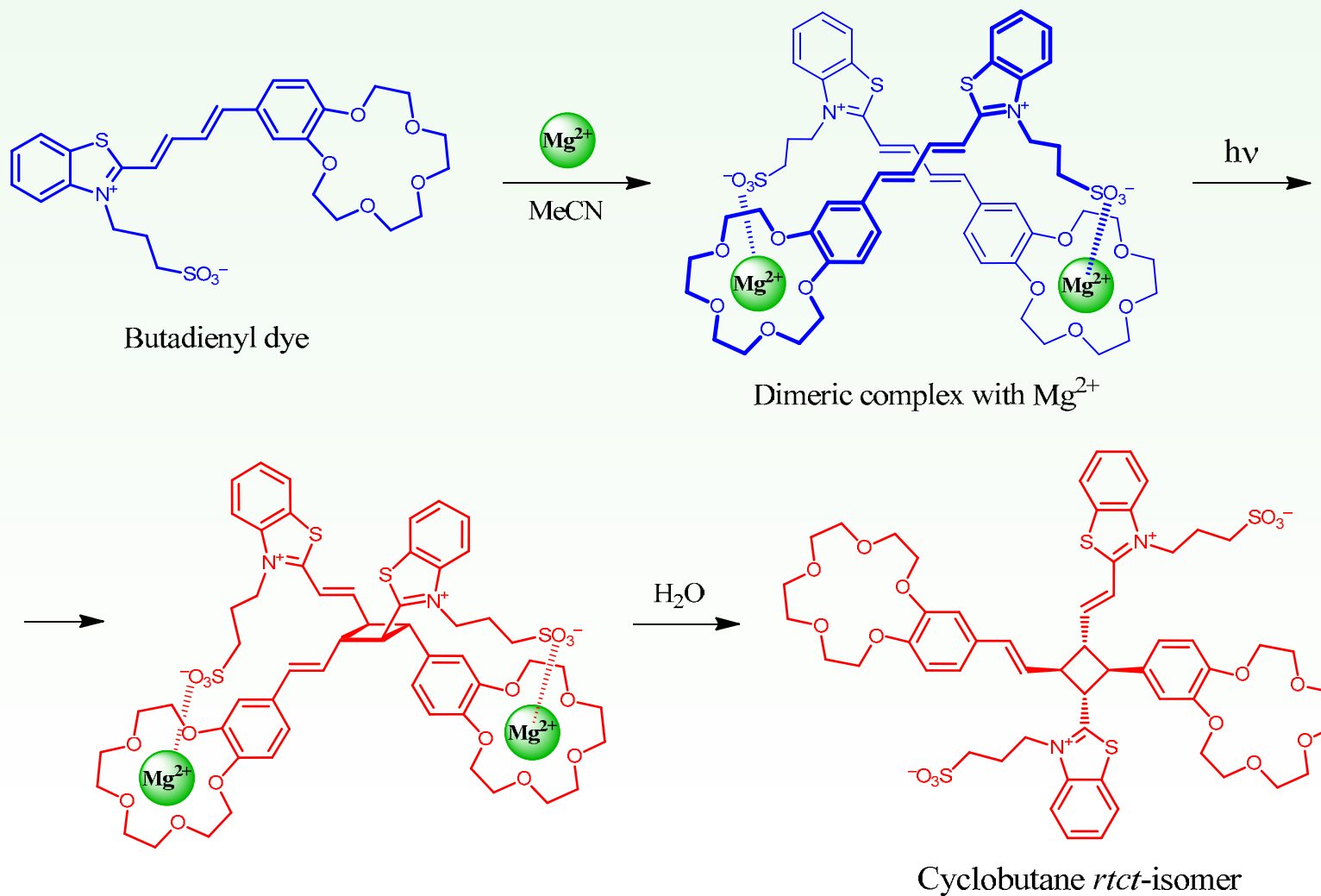
M.F. Budyka, N.I. Potashova, T.N. Gavrishova, V.M. Lee // Reconfigurable Molecular Logic Gate Operating in Polymer Film // J. Mat.Chem, 2009, 19, DOI: 10.1039/b908562a

Электронный аналог 2-стирилхинолина



M.F. Budyka, N.I. Potashova, T.N. Gavrishova, V.M. Lee // Reconfigurable Molecular Logic Gate Operating in Polymer Film // J. Mat.Chem, 2009, 19, DOI: 10.1039/b908562a

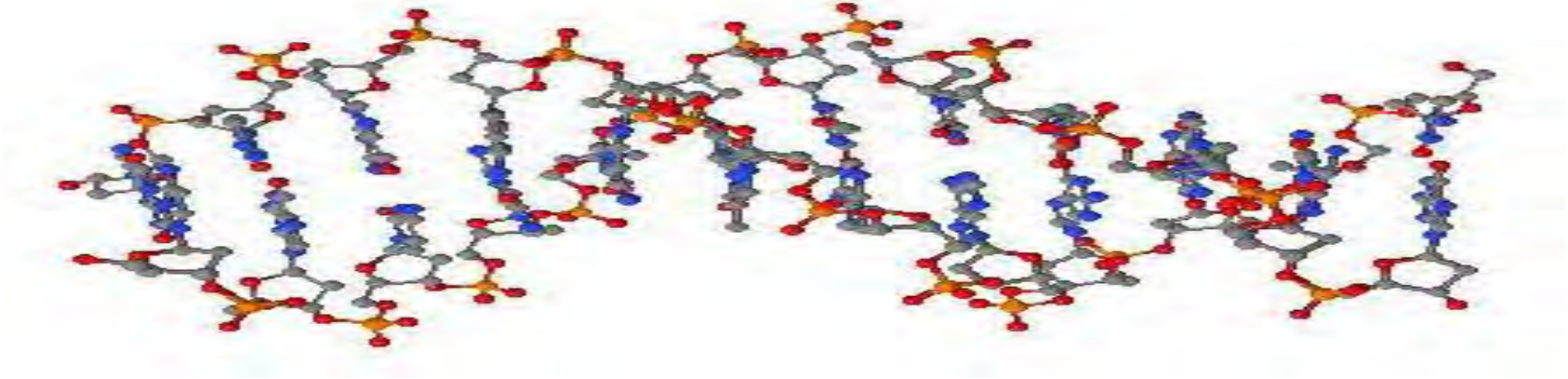
Управляемая супрамолекулярная самосборка в результате ионофорной [2+2]-фотоциклизации



Quantum yield 0.3

*E.N. Ushakov, A.I. Vedernikov, M.V. Alfimov, S.P. Gromov,
Photochem. Photobiol. Sci., 2011, 10, 15-18.*

Двойная спираль ДНК - ключ к молекулярной самосборке в живой природе



Молекула ДНК обладает важными для создания электронных устройств свойствами: самовоспроизводимостью, возможностью копирования и самосборки. Если же создать молекулы, которые кроме этого будут обладать диэлектрическими, металлическими, полупроводниковыми и даже сверхпроводящими свойствами, то на их основе могут быть созданы: нанотранзисторы, нанодиоды, логические элементы, наномоторы, нанобиочипы и другие приборы нанометрового масштаба.

Органическая электроника

прикладная область исследований, направленная на создание молекулярных материалов для электроники, которые далее используются для создания электронных устройств, функционирующих по принципу *p-n*-перехода

традиционная электроника берет в качестве диэлектрика - окись кремния, в качестве полупроводника - легированный кремний и в качестве металлического проводника медь, серебро, золото, платину, а в органической электронике все эти три типа материалов (диэлектрик, полупроводник, металл) получают путем химического дизайна из органических молекул на основе углерода.

Нобелевские премии



**“За открытие и развитие области электропроводящих полимеров”,
2000 г.**



**Alan J.
Heeger**

USA

University of
California
Santa Barbara, CA,
USA



**Alan G.
MacDiarmid**

USA and New Zealand

University of Pennsylvania
Philadelphia, PA, USA



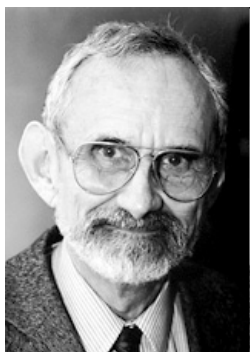
**Hideki
Shirakawa**

Japan

University of
Tsukuba
Tokyo, Japan



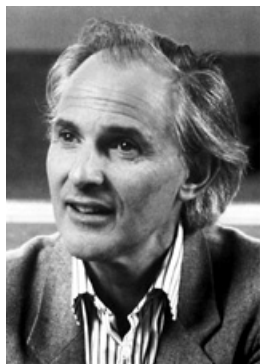
“За открытие фуллеренов”, 1996 г.



**Robert
F. Curl
Jr.**

USA

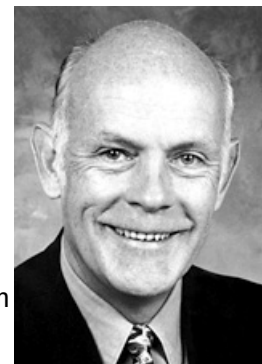
Rice University
Houston, TX, USA



**Sir Harold W.
Kroto**

United Kingdom

University of Sussex
Brighton, United Kingdom



**Richard E.
Smalley**

USA

Rice University
Houston, TX, USA



**Pierre-Gilles
de Gennes**

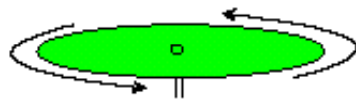
France

Collège de France
Paris, France

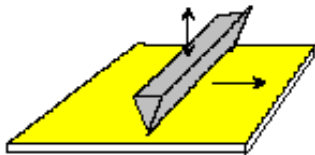
**«За обнаружение того, что методы,
развитые для изучения явлений
упорядоченности в простых системах,
могут быть обобщены на жидкие
кристаллы и полимеры», 1991 г.**

Технология нанесения органических полупроводников

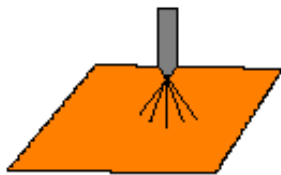
Нанесение из раствора



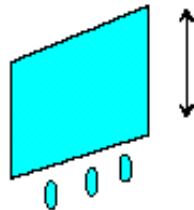
Spin Coating



Doctor Blade

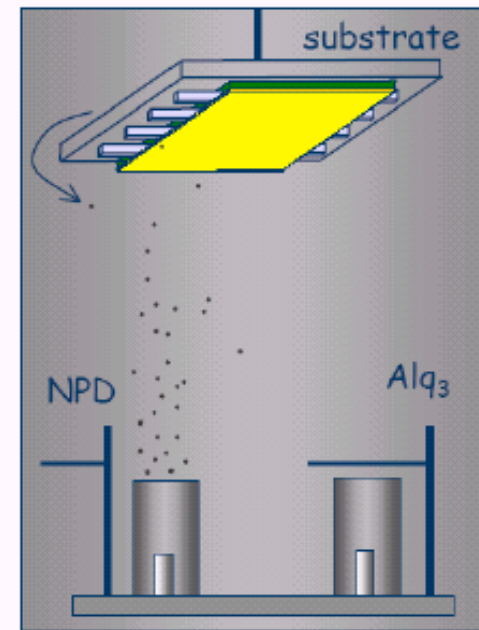


Ink Jet Printing



Dipping

Испарение в вакууме



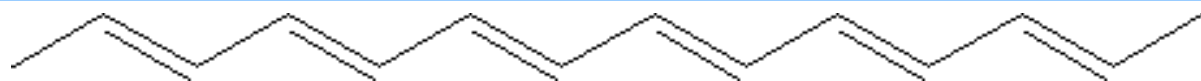
Small molecules are thermally evaporated in vacuum

ОРГАНИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

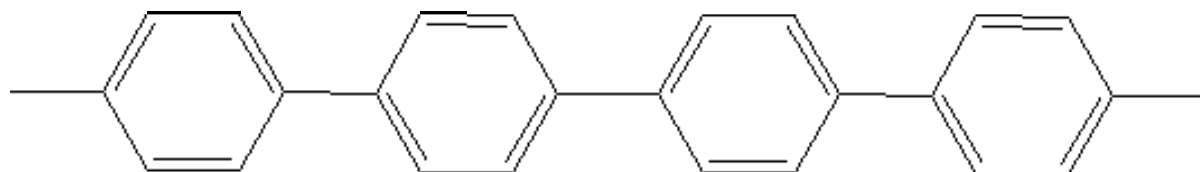
Для создания проводящих органических материалов нужно было решить две проблемы:

- 1) формирование делокализованных электронных состояний, энергетических зон или уровней переноса**
- 2) достижение высоких концентраций свободных носителей заряда.**

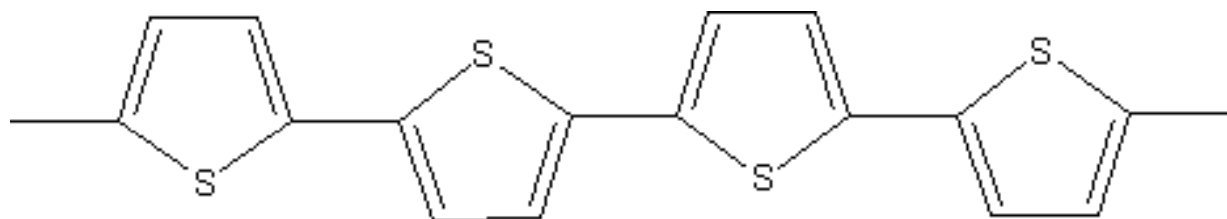
Сопряженные проводящие полимеры



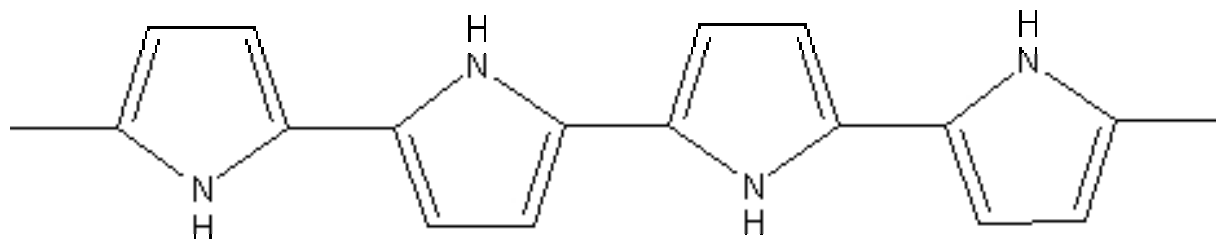
полиацетилен
(*транс*)



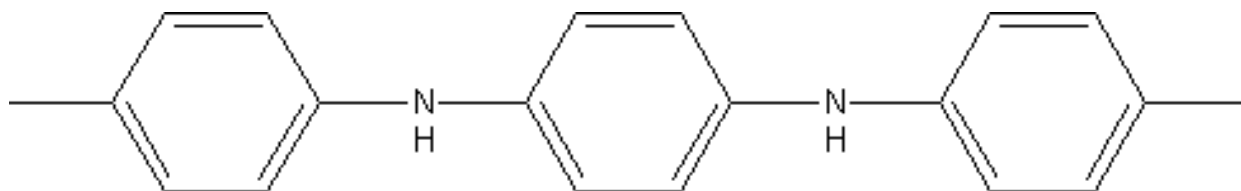
полифенилен



политиофен

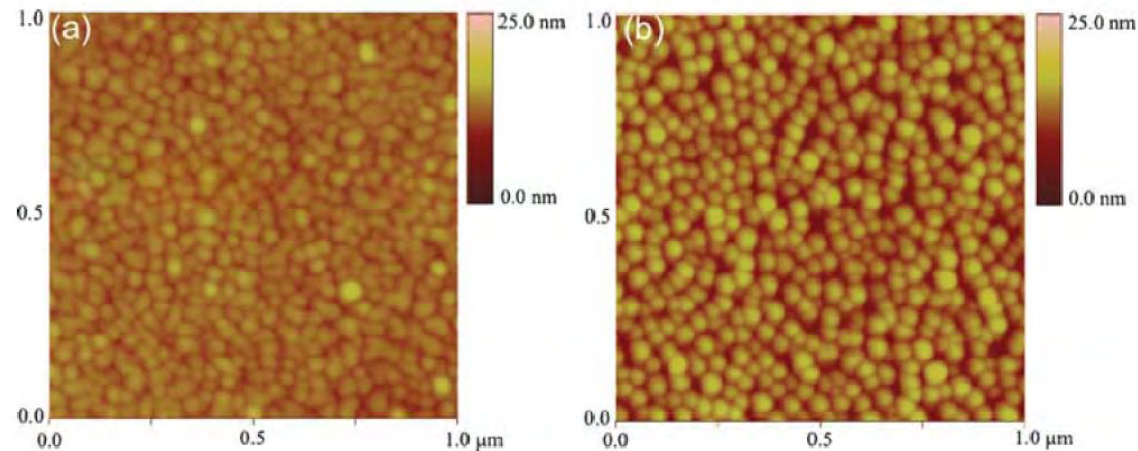
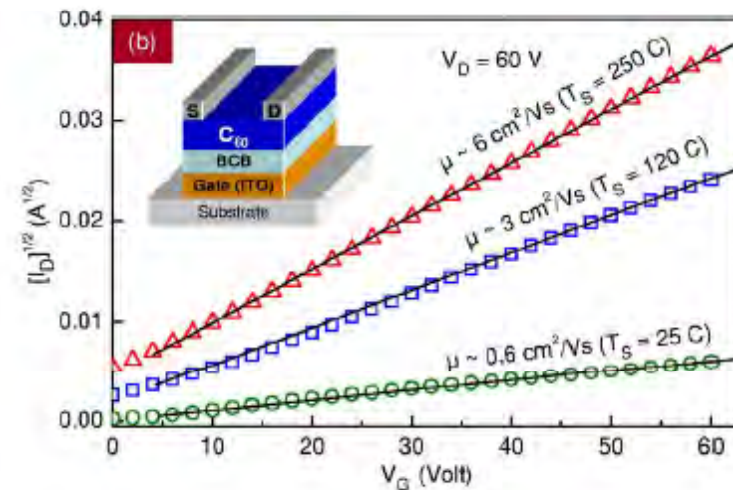
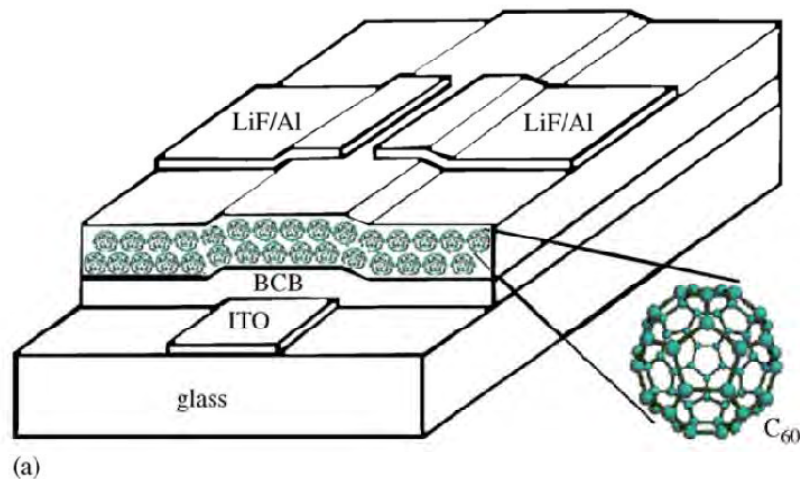


полипиррол



полианилин

Полевые транзисторы n-типа на фуллеренах



RT: $\mu_e = 0.6 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$

250 °C: $\mu_e = 6 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$

T. Antopoulos, T. B. Singh, S. Sariciftci et al., Appl. Phys. Lett. 2006, 89, 213504

A. M. Ramil, Th.B. Singh, N.T. Haber, N. Marjanovic, S. Guenes, A. Andreev, G.J. Matt, R. Resel, H. Sitter, S. Sariciftci, *J. Cryst. Growth*. 2006, 288, 123–127

Зеленая электроника: биосовместимые и биodeградируемые полевые транзисторы

Диэлектрики

Аденин

Гуанин

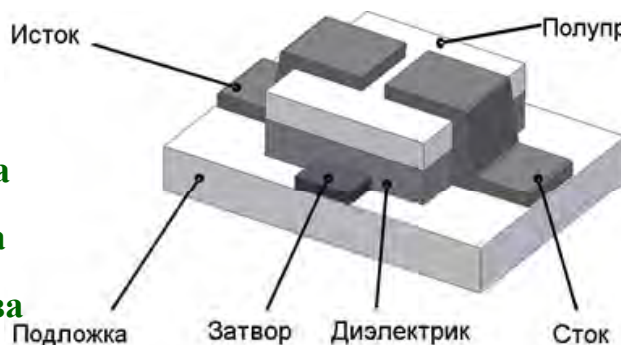
Кофеин

Глюкоза

Лактоза

Сахароза

Аурин или розоловая кислота



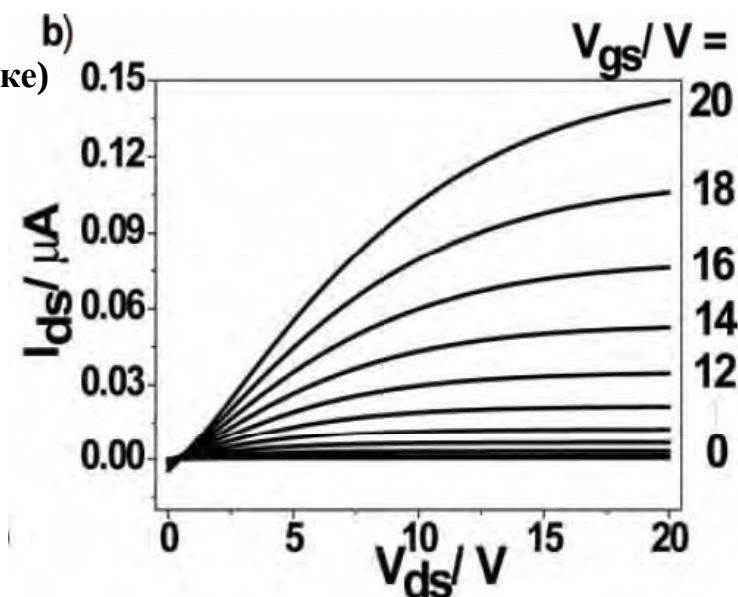
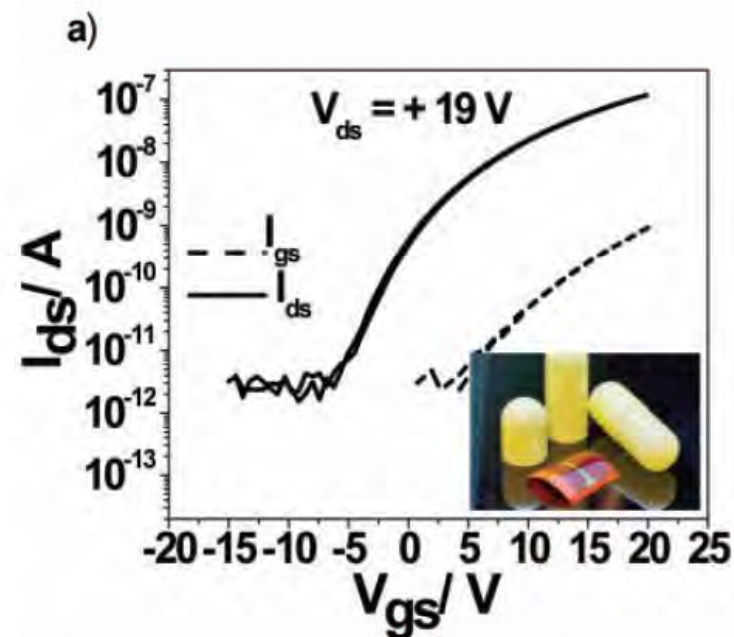
Полупроводники

β -каротин
(витамин А)

Индиго
(пищевой краситель)

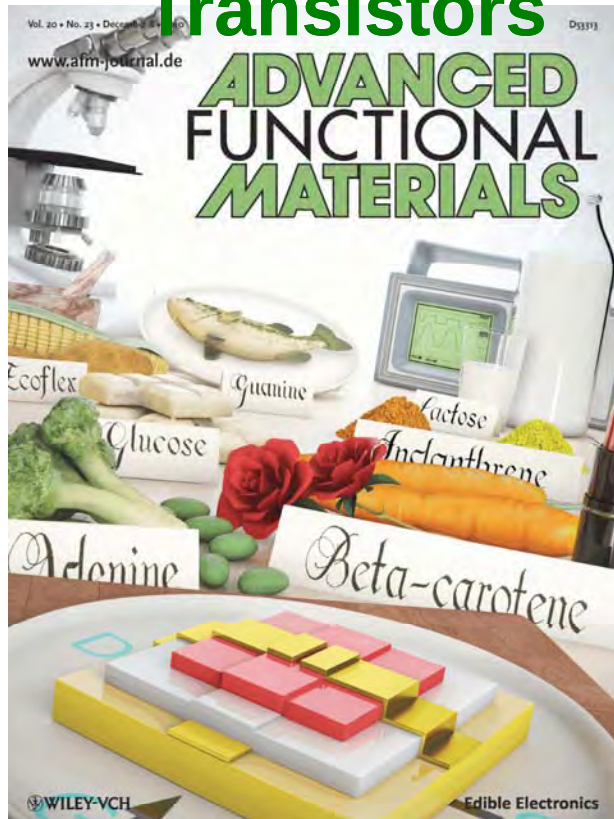
Индантреновый
желтый
(пищевой краситель)

Перилендиимиды
(используются в косметике)

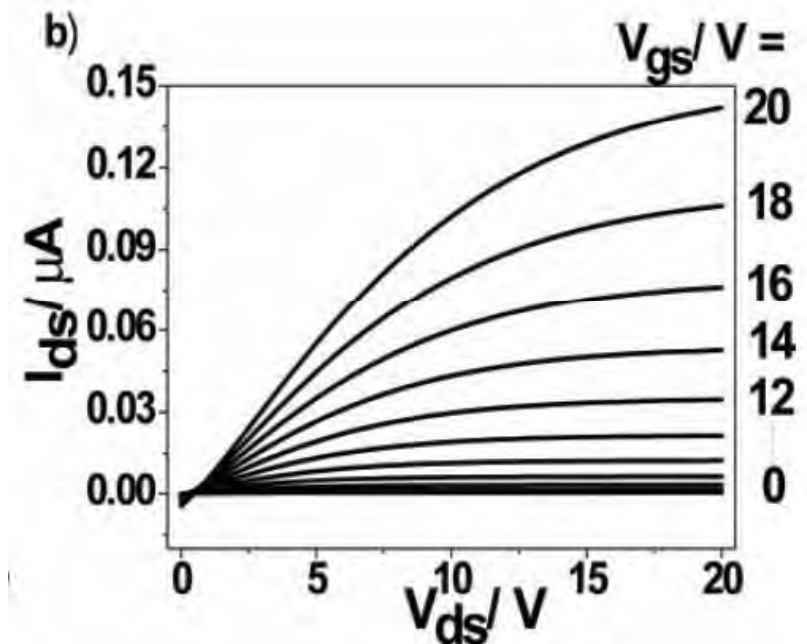
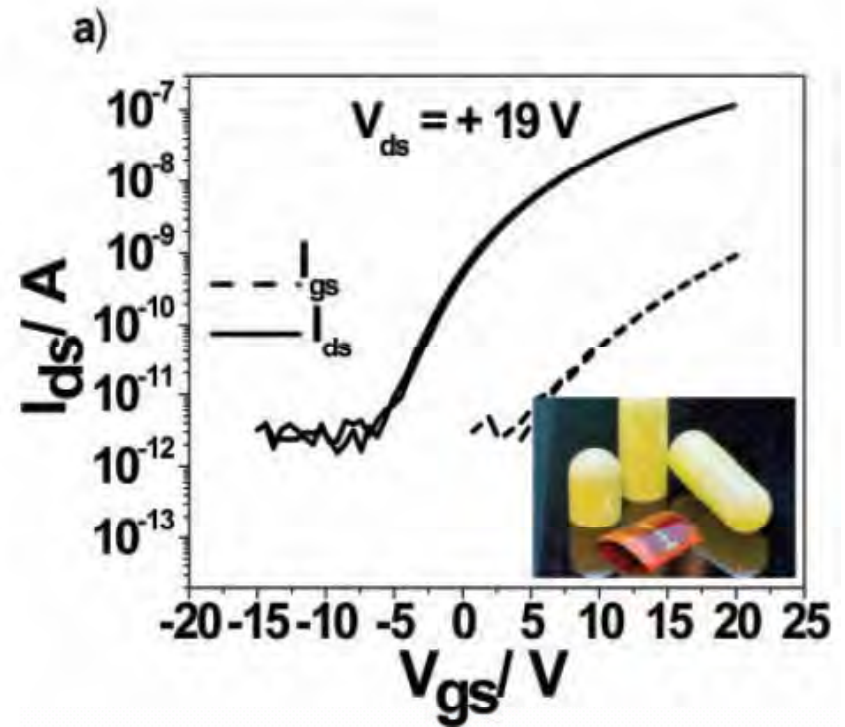


Adv. Funct. Mater. **2010**, *20*, 4069–4076;
M. Irimia-Vladu, P.A. Troshin, M. Reisinger, G.
Schwabegger, M. Ullah, R. Schwoediauer,
A. Mumyatov, M. Bodea, J.W. Fergus, V.F.
Razumov, H. Sitter, S. Bauer, N.S. Sariciftci

Green Electronics: Biocompatible and Biodegradable Field-Effect Transistors



Adv. Funct. Mater. **2010**, *20*, 4069–4076; M. Irimia-Vladu, P. A. Troshin, M. Reisinger, G. Schwabegger, M. Ullah, R. Schwoediauer, A. Mumyatov, M. Bodea, J. W. Fergus, V. F. Razumov, H. Sitter, S. Bauer, N. S. Sariciftci



Biocompatible Transistors

Диэлектрики

Аденин

Гуанин

Кофеин

Глюкоза

Лактоза

Сахароза

Аурин или розоловая
кислота

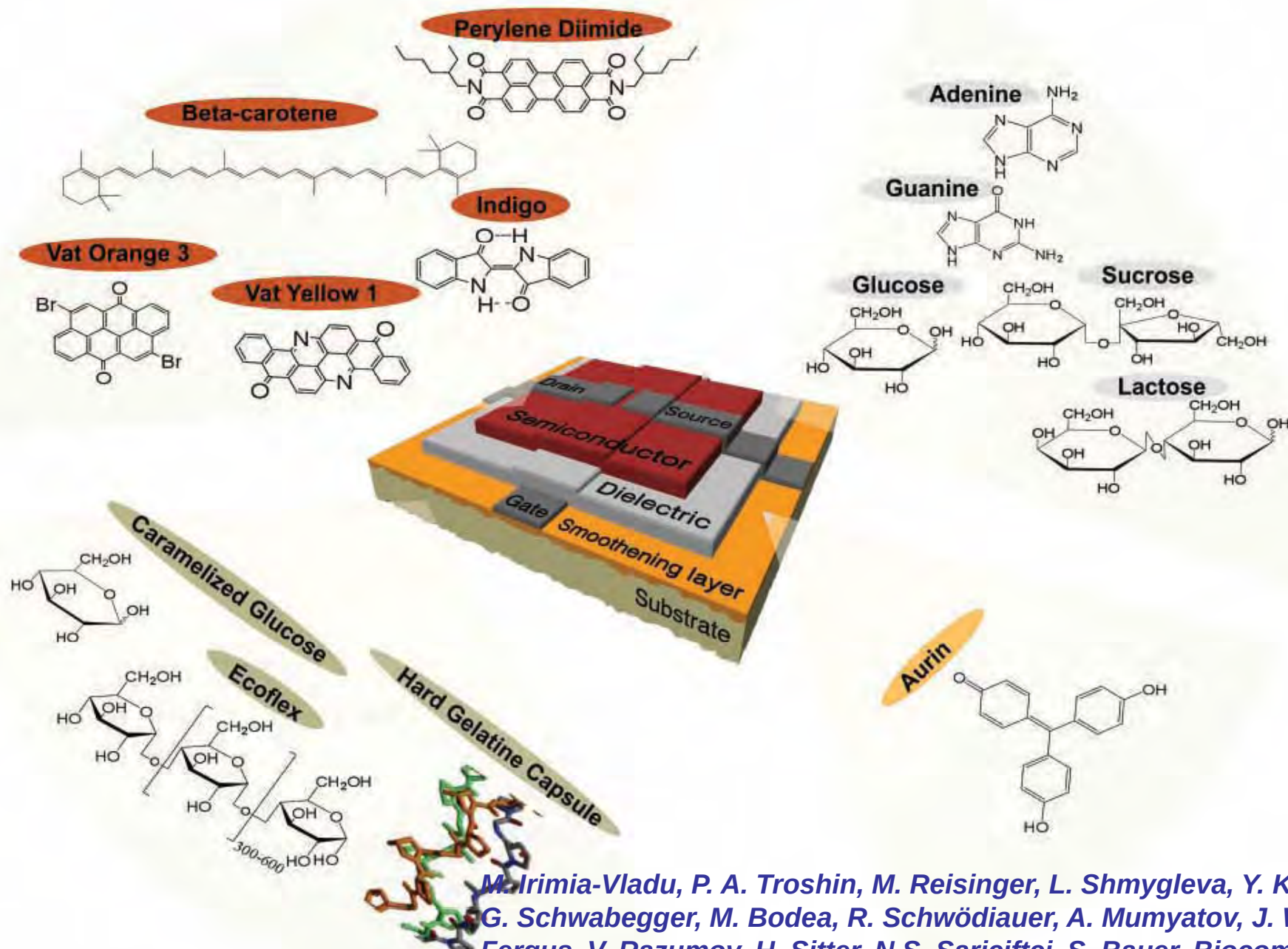
Полупроводники

β -каротин
(витамин А)

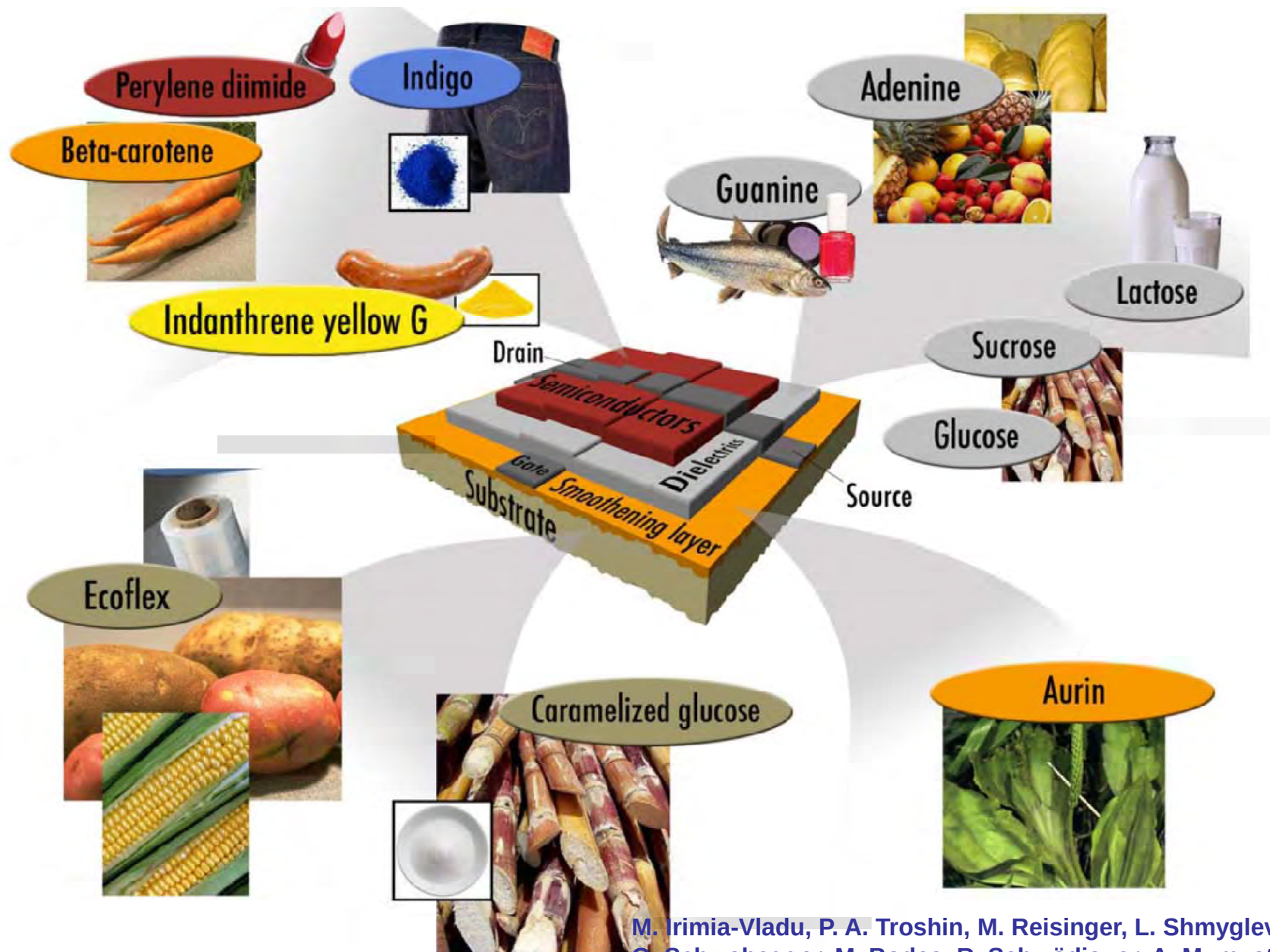
Индиго
(пищевой краситель)
Индантреновый
желтый
(пищевой краситель)



M. Irimia-Vladu, P. A. Troshin, M. Reisinger, G. Schwabegger, M. Ullah, R. Schwoediauer, A. Mumyatov, M. Bodea, J. W. Fergus, V. F. Razumov, H. Sitter, S. Bauer, N. S. Sariciftci, *Adv. Funct. Mater.* 2010, 20, 4069–4076



M. Irimia-Vladu, P. A. Troshin, M. Reisinger, L. Shmygleva, Y. Kanbur, G. Schwabegger, M. Bodea, R. Schwödiauer, A. Mumyatov, J. W. Fergus, V. Razumov, H. Sitter, N.S. Sariciftci, S. Bauer, Biocompatible and Biodegradable Materials for Organic Field Effect Transistors. Advanced Functional Materials 2010, 20, 23, 4069-4076.



M. Irimia-Vladu, P. A. Troshin, M. Reisinger, L. Shmygleva, Y. Kanbur, G. Schwabegger, M. Bodea, R. Schwödiauer, A. Mumyatov, J. W. Fergus, V. Razumov, H. Sitter, N.S. Sariciftci, S. Bauer, Biocompatible and Biodegradable Materials for Organic Field Effect Transistors. *Advanced Functional Materials* 2010, 20, 23, 4069-4076.

Технология RFID

- **RFID** или **радиочастотная идентификация** - технология, использующая радиочастотное электромагнитное излучение для чтения и записи информации на небольшое устройство, называемое RFID-меткой
- **RFID система** состоит из метки, считывающего устройства и соответствующего программного обеспечения
- **RFID-системы** применяются для идентификации и учета объектов



Применения RFID сегодня

Транспортные платежи



Электронные документы



Удаленная идентификация



Системы доступа



Инвентаризация



Промышленность



RFID завтра: розничная торговля – крупнейший по объему сегмент

Проекта «Магазин будущего»

Цель проекта

- Разработка и апробация технологий на базе RFID

Участники



Сроки

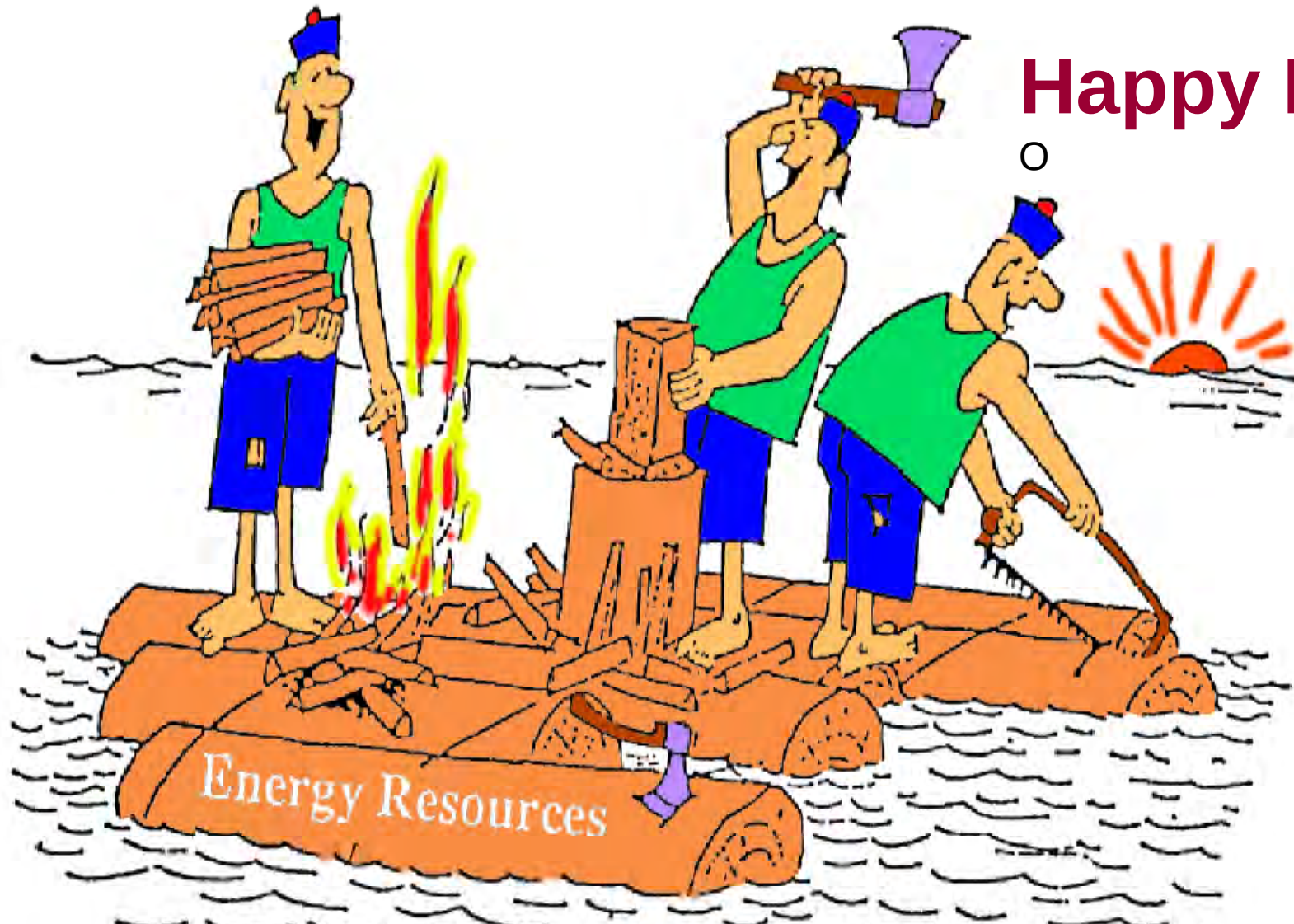
2010 - 2016 гг.

Ожидаемые результаты

- Масштабное внедрение RFID-технологий по всей цепочке от производителя до покупателя
- Начало внедрения RFID технологий вне розничной торговли



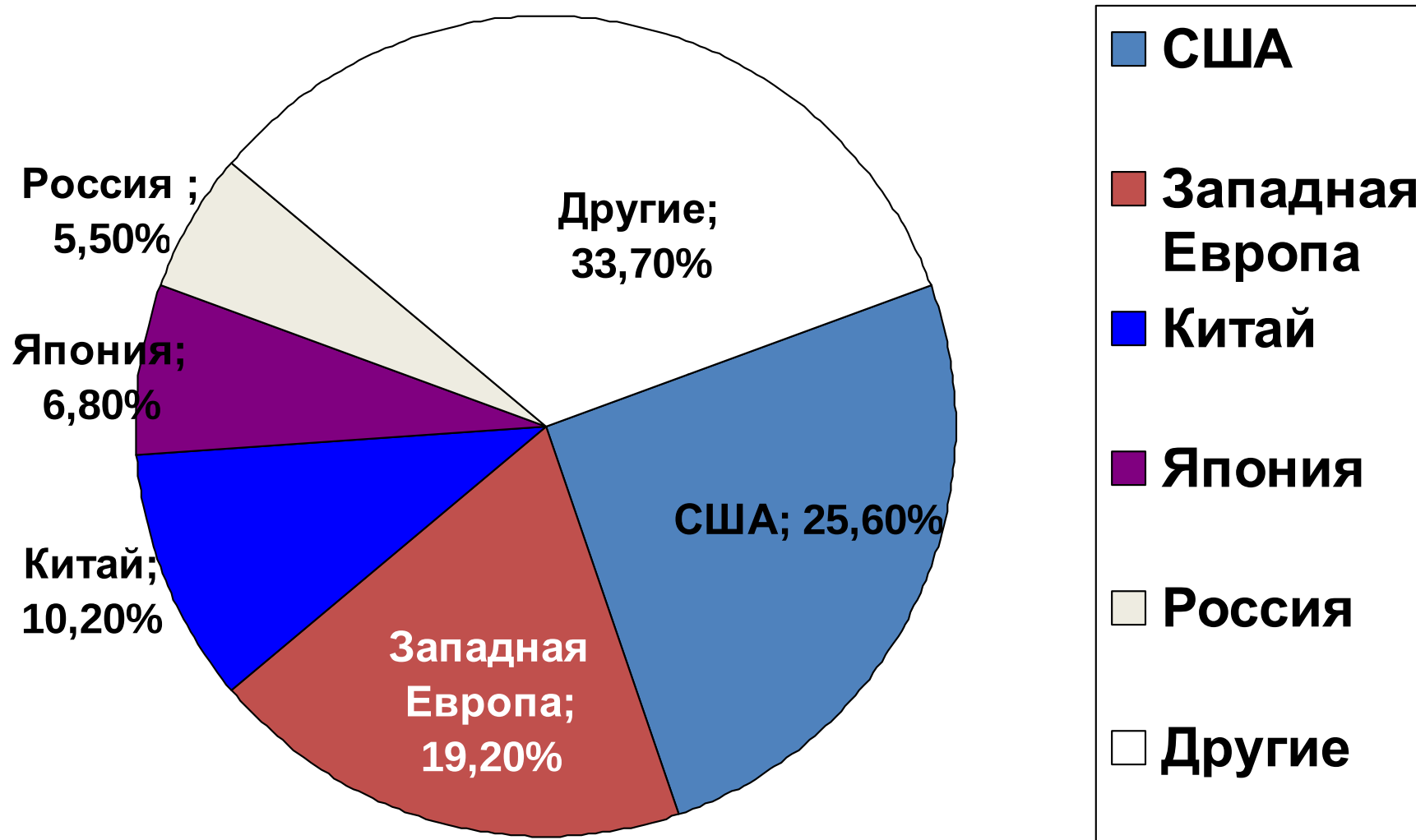
Happy Life



IT IS NECESSARILY 15 TW IN 2050 AND 35 TW IN 2100!!!
WHERE CAN WE GET THESE AMOUNT OF CARBON FREE ENERGY?

WOLTER

Общее потребление электроэнергии
(2 ТераВт = 2×10^6 МВт)



WHERE CAN WE GET THIS AMOUNT (15 TW by 2050, 35 TW BY 2100) OF CARBON-FREE ENERGY?

- Nuclear Fission (build 15,000 1GW nuclear power plants $\Rightarrow$ 1 every day for the next 40 years (450 globally today))
- Nuclear Fusion (unproven technology- 30-50 years away (this way for 50 yrs))
- Fossil Fuels but with CO₂ sequestration in the ocean or in depleted oil/gas reservoirs (unproven technology, ocean acidity increase, leaks from reservoirs (need < 1% leak rate. geological effects?))
- Renewable Energy (proven but expensive for some technologies and/or politically sensitive and controversial)

SOLAR ENERGY

Direct Solar Photon Conversion

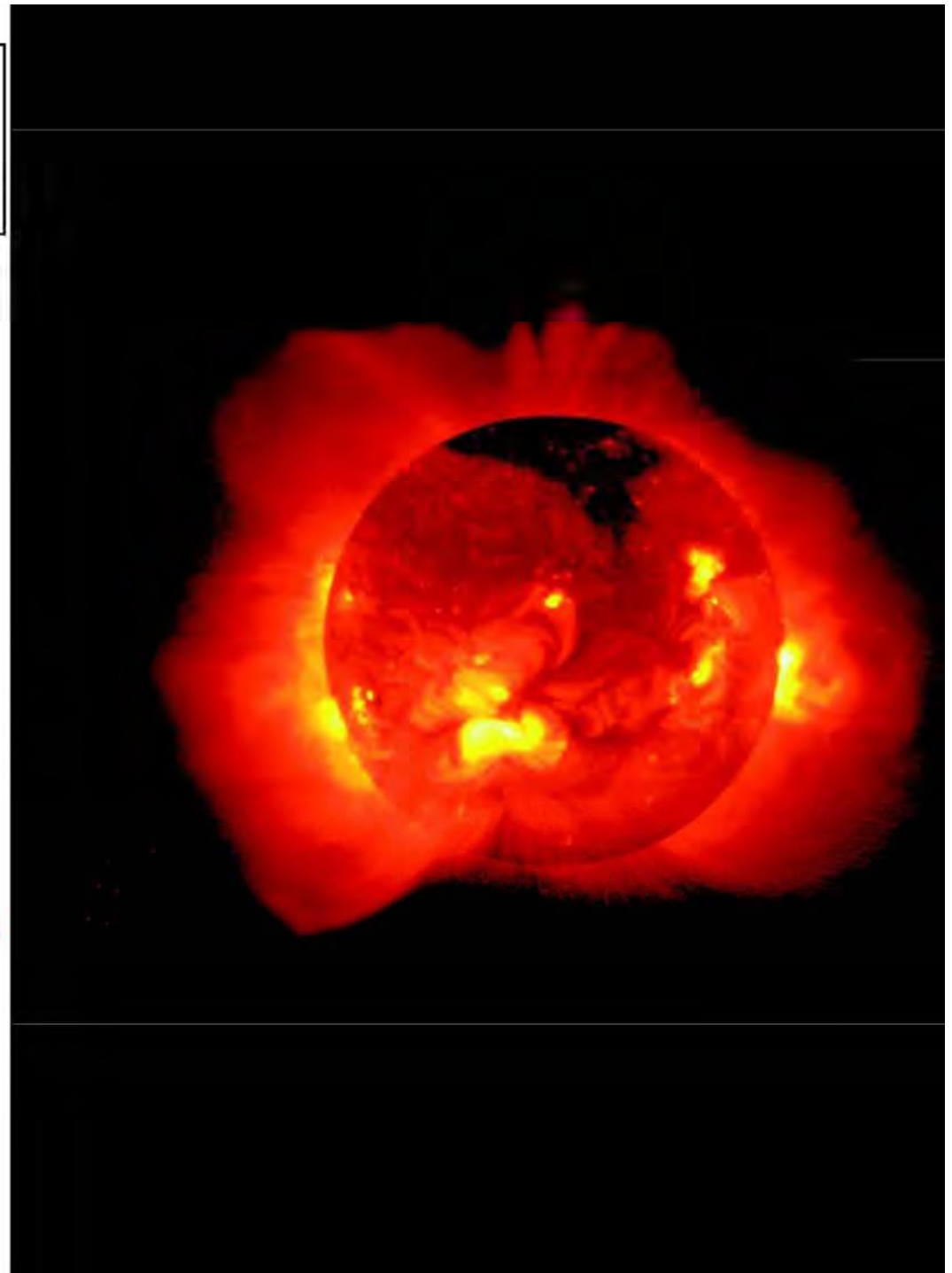
Our Nuclear Fusion Reactor 93
Million Miles Away

Surface Temperature = 6000 °C
Core Temperature = 20,000 K

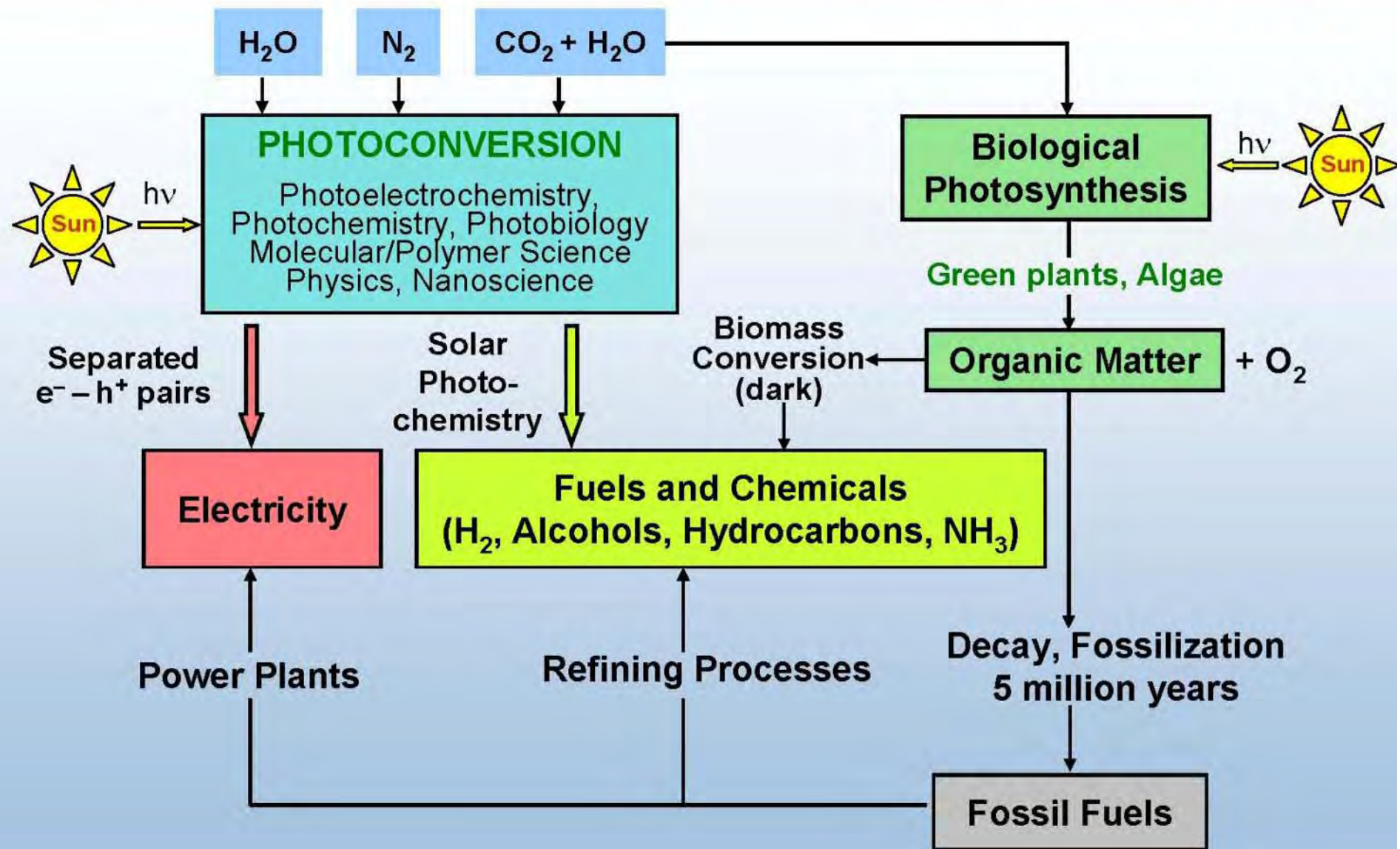
**Globally, 1 ½ hrs of sunlight is
equivalent to the total energy
consumed globally in one year**

**Solar spectrum described by
Black Body Radiation (Planck's
Radiation Law):**

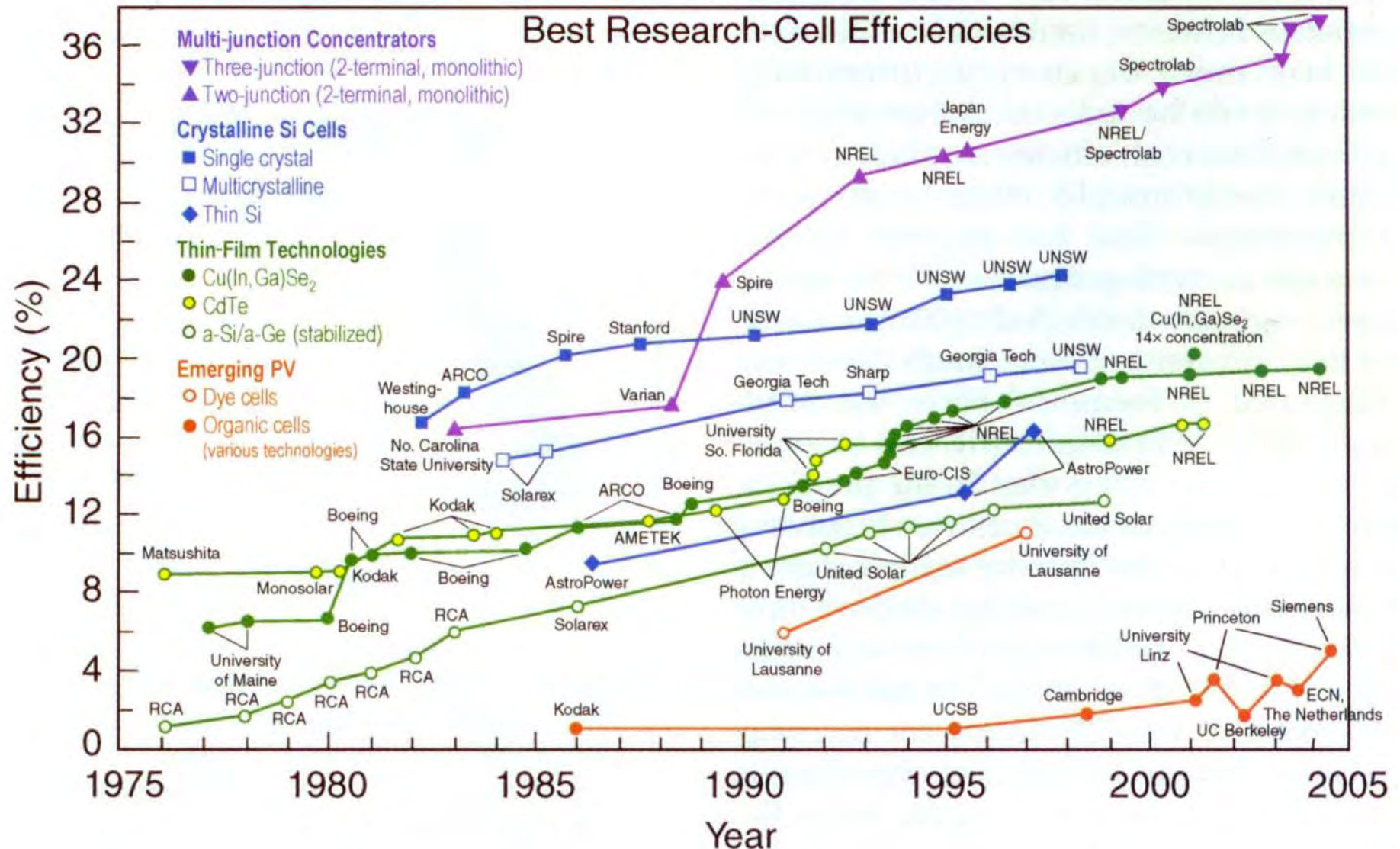
$$E_b = (2/h^3c^2)(E^2/(e^{E/kT} - 1))$$



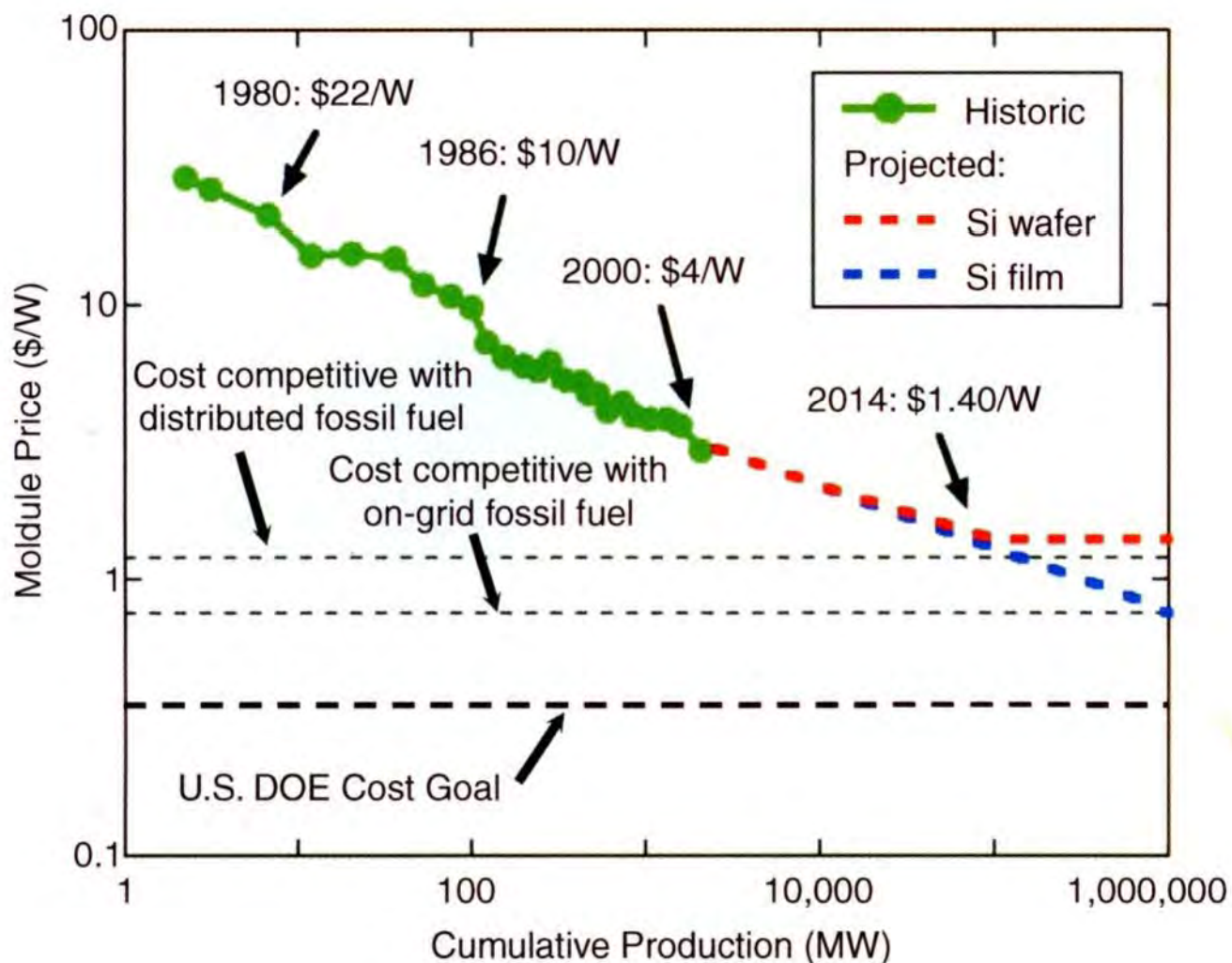
Photoconversion for Solar Fuels and Electricity



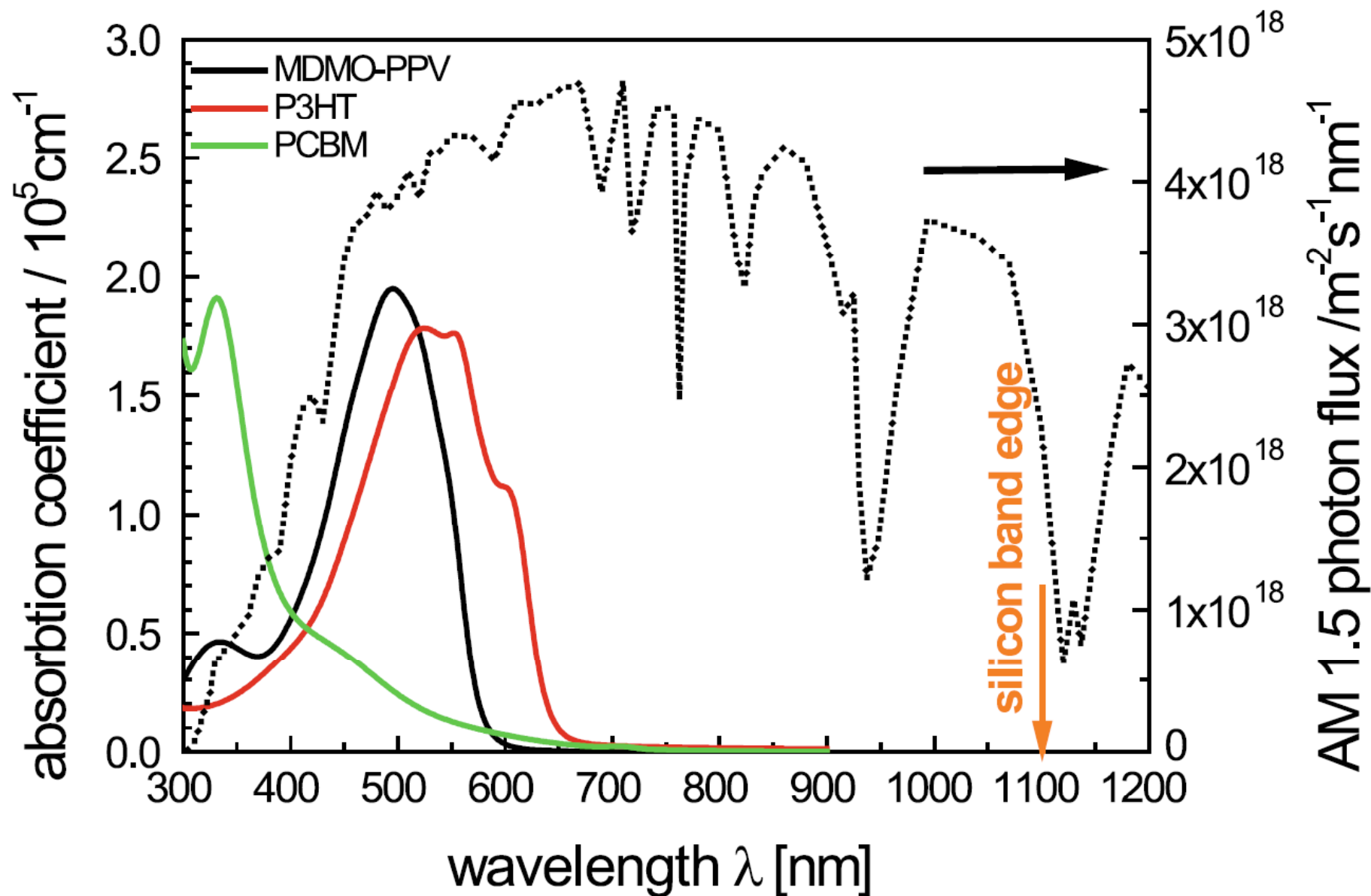
Эволюция различных типов солнечных батарей



Конкурентоспособность кремниевых солнечных батарей



Спектр солнечного излучения



Photovoltaic Cells

I. 1st Generation

Single crystal Si
Poly-grain Si

II. 2nd Generation (Polycrystalline Thin Film)

Amorphous Si
Thin film Si
CuInSe₂
CdTe
Dye-sensitized Photochemical Cell

III. 3rd Generation ($\eta_{\text{theor}} > 32\%$ Queisser-Shockley limit and low cost)

(High efficiency multi-gap tandem cells(here now but expensive))

Hot electron converters

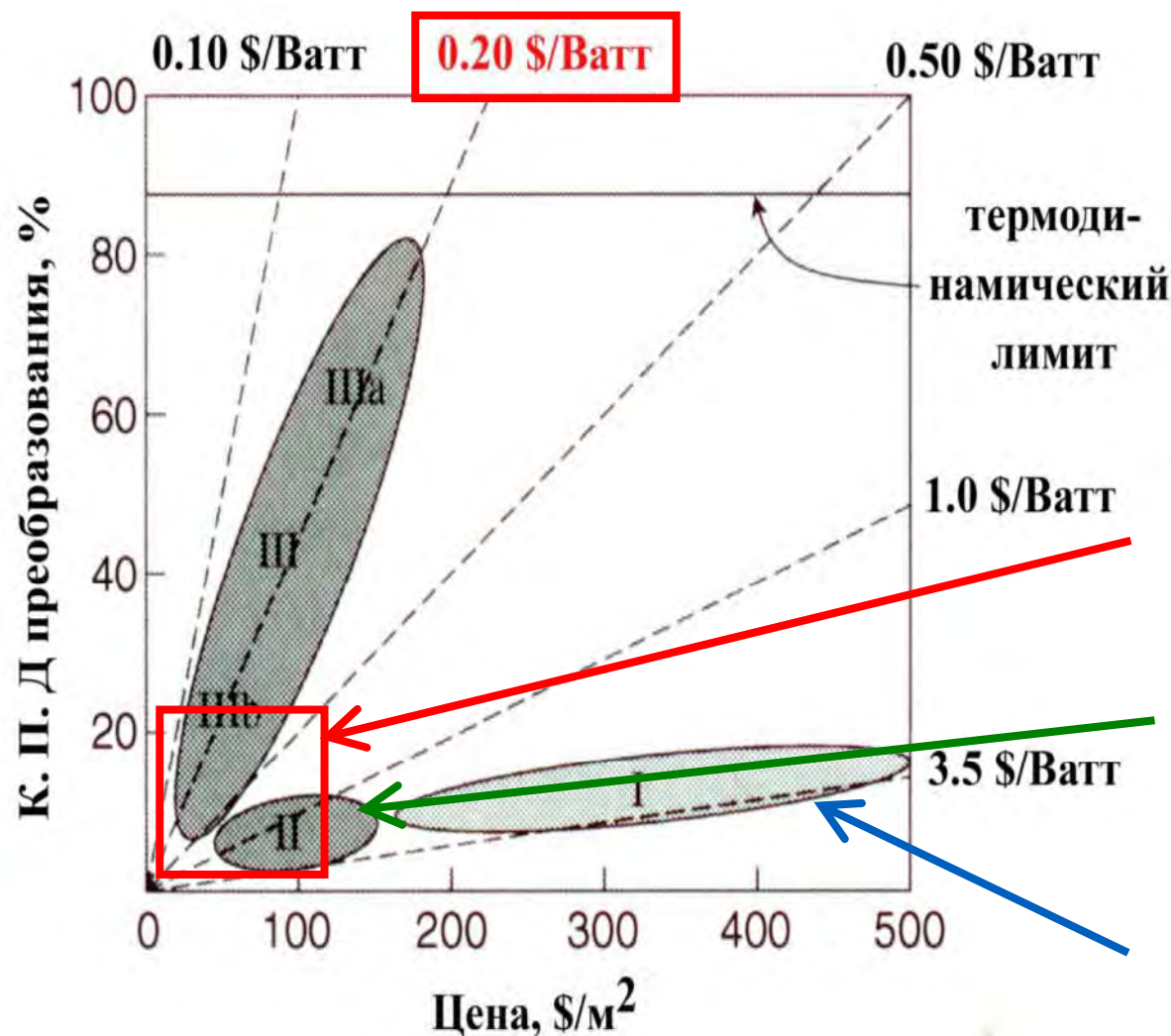
Mid-band PV

Multiple Exciton Generation solar cells

Quantum Dot Solar Cells

Singlet Fission Solar Cells

Три поколения солнечных батарей: органика на смену неорганики



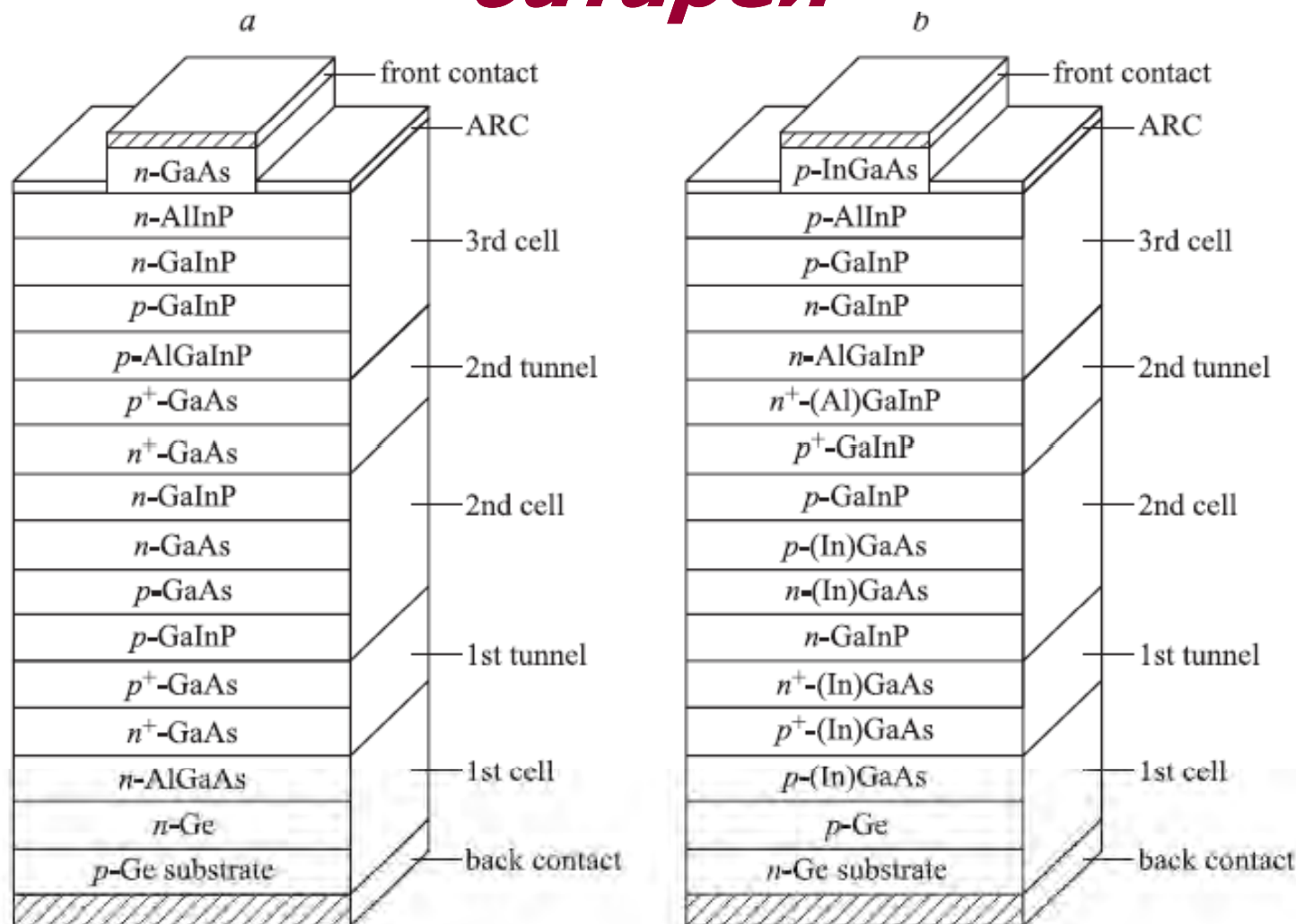
**Замена
неорганических
материалов на
органические
снизит цену
электроэнергии
в 5 раз!!!**

Органическая
фотовольтаика
(0.20 \$/Вт)

Аморфный Si (1 \$/Вт)

Кристаллический Si
(3,5 \$/Вт)

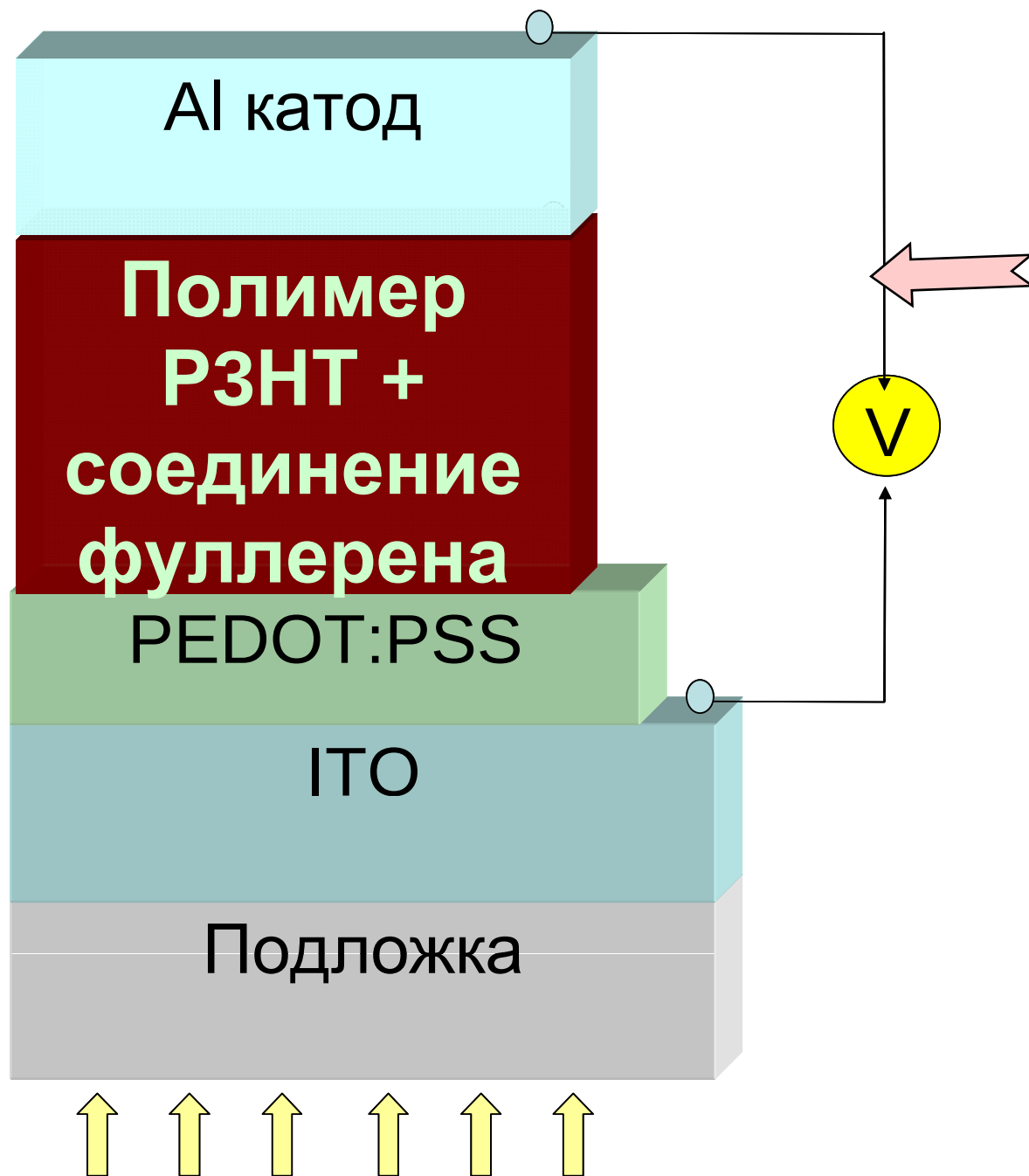
Схема многокаскадной солнечной батареи



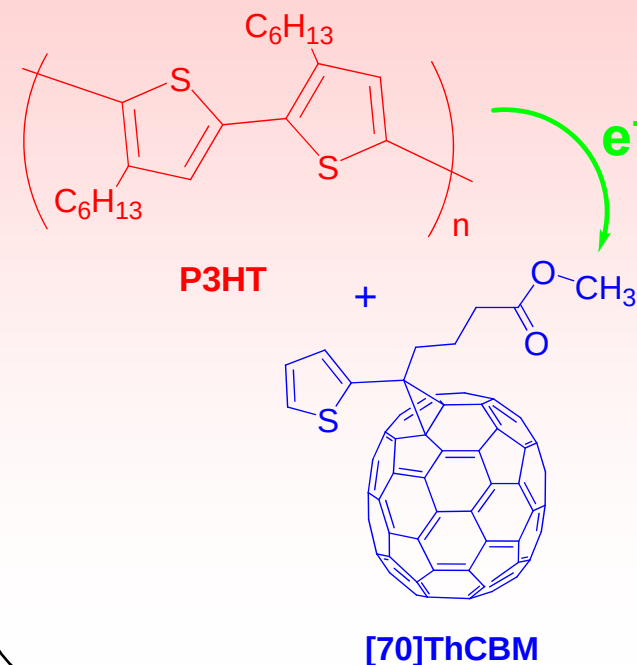
Поперечные разрезы солнечных элементов с 3 p - n -переходами: *a* — гетероструктура (Al)GaInP/GaAs/Ge, в которой 2-й элемент, а также 1-й и 2-й туннельные переходы выполнены из GaAs; *b* — гетероструктура (Al)GaInP/(In)GaAs/Ge, в которой 1-й туннельный переход выполнен из InGaAs, в то время как 2-й элемент и 2-й туннельный переход выполнены из (Al)GaInP.

Теоретические, ожидаемые и достигнутые значения КПД каскадных солнечных элементов

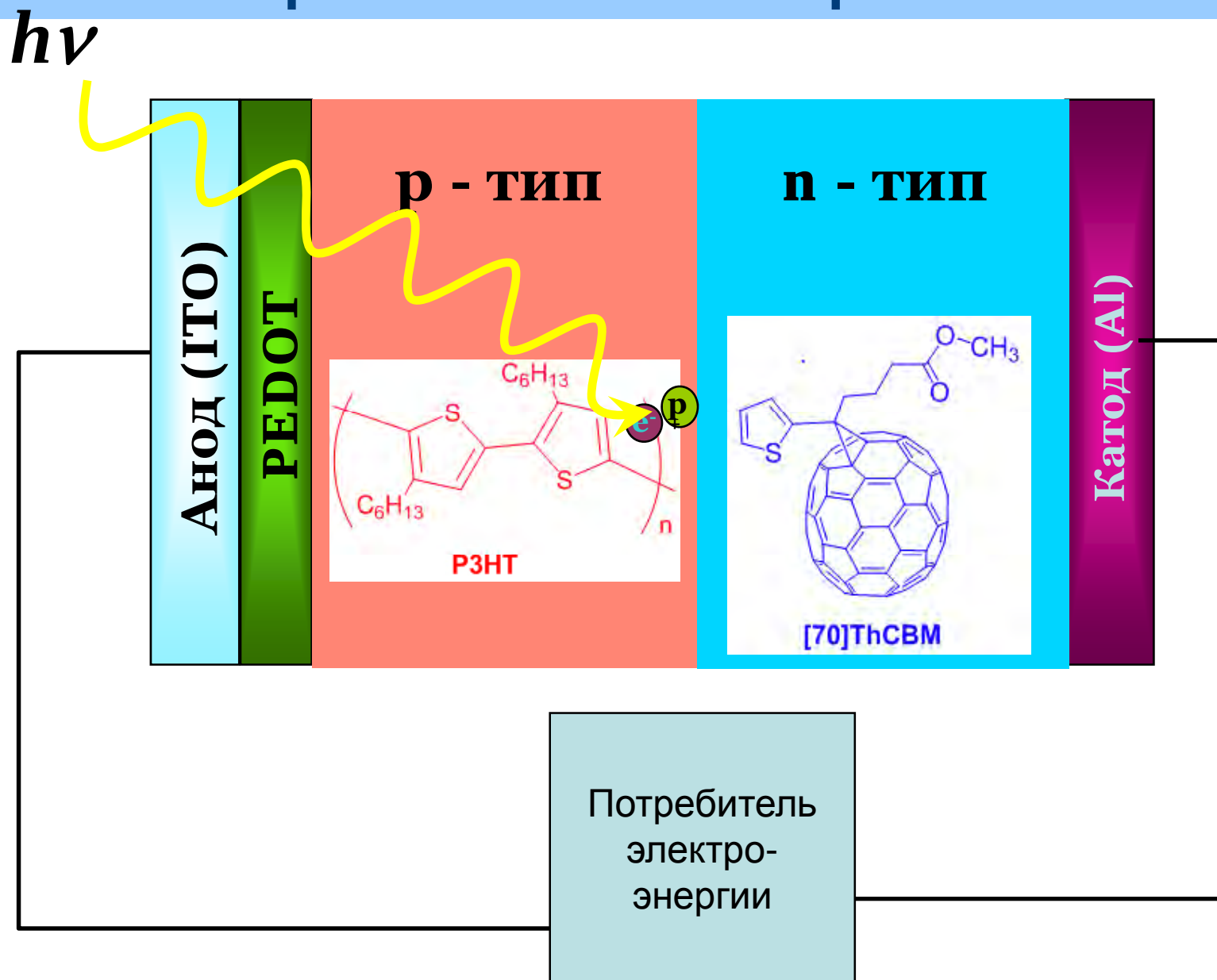
Спектр солнечного излучения	КПД, %					
	Значение	Количество $p-n$ -переходов в каскаде				
		1	2	3	4	5
В условиях околоземного космоса (AM0)	Теоретическое	28	33	38	42	45
	Ожидаемое	23	28	33	36	38
	Реализованное	21.8 [10]	27.2 [11]	29.3 [11]	—	—
В наземных условиях (AM1.5)	Теоретическое	30	36	42	47	49
	Ожидаемое	27	33	38	42	44
	Реализованное [6]	25.1	30.3	31.0	—	—
В наземных условиях с концентрацией (AM1.5)	Теоретическое	35	42	48	52	54
	Ожидаемое	31	38	43	47	49
	Реализованное [6]	27.6	31.1	34.0	—	—



**Фотоактивный слой – это
наноккомпозит
сопряженного полимера и
соединения фуллерена**

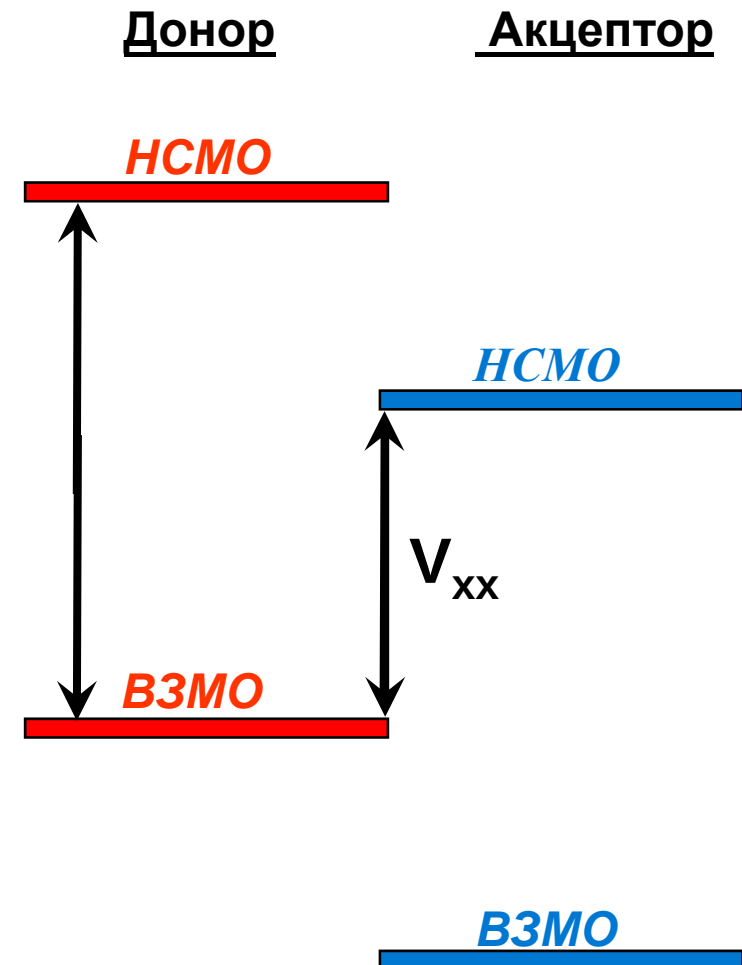
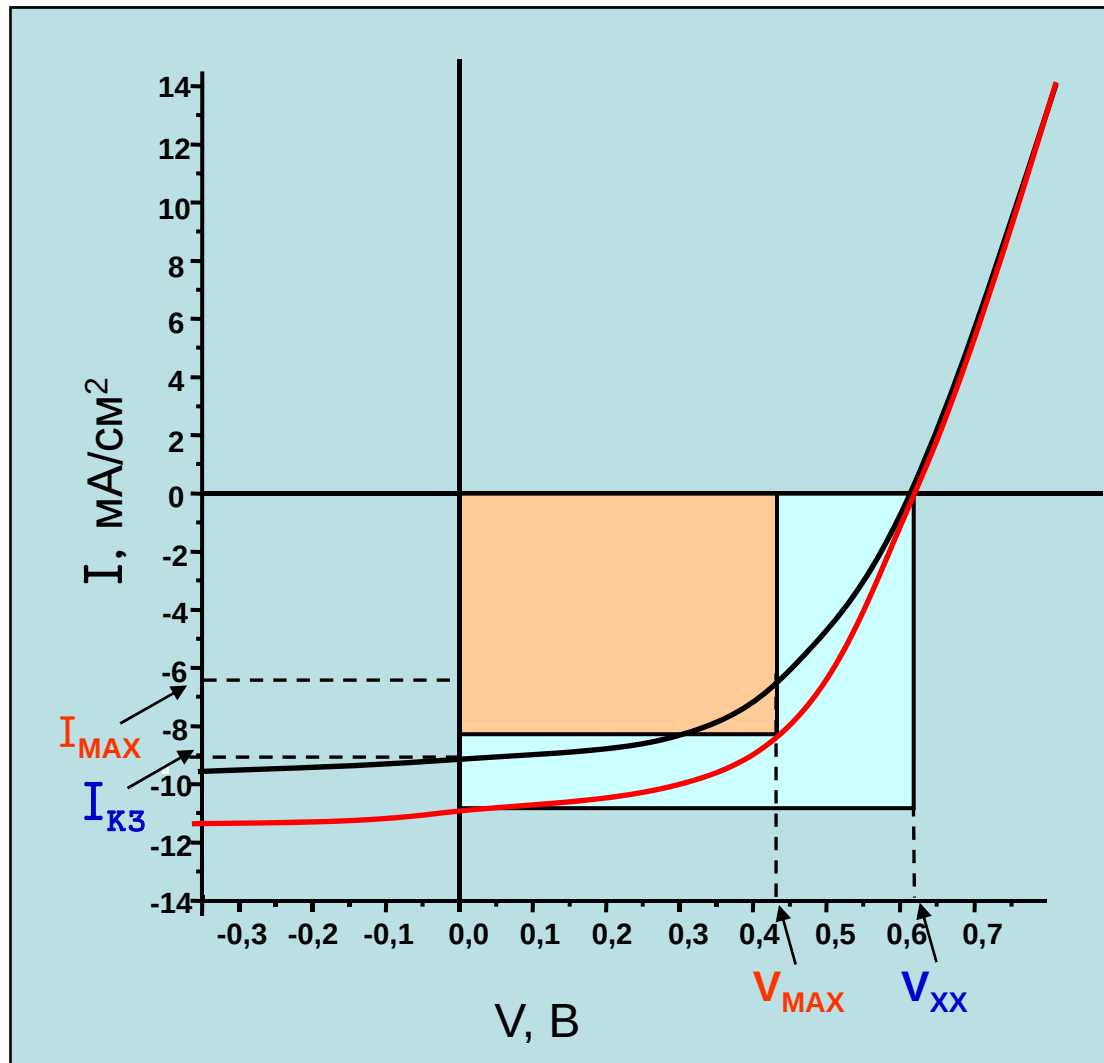


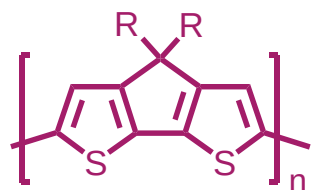
Объемный гетеропереход – новая идея в органической электронике



Дизайн солнечных батарей

$$\eta = (P_{\text{элек}} / P_{\text{свет}}) = [(I_{\text{max}} \cdot V_{\text{max}}) / P_{\text{свет}}] = [(I_{\text{sc}} \cdot V_{\text{oc}} \cdot FF) / P_{\text{свет}}]$$





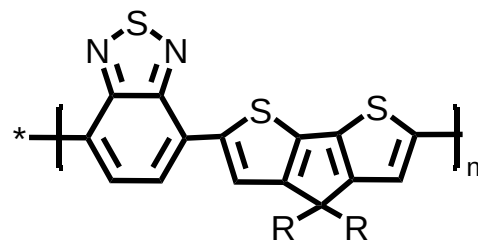
P1: R=

P2: R=

P3: R=

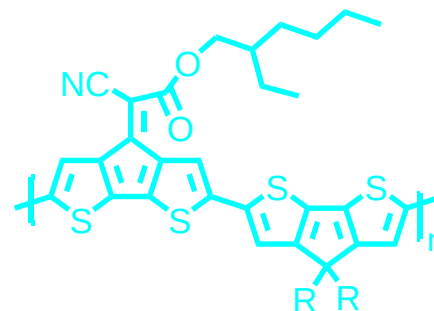
P4: R=

P5: R=



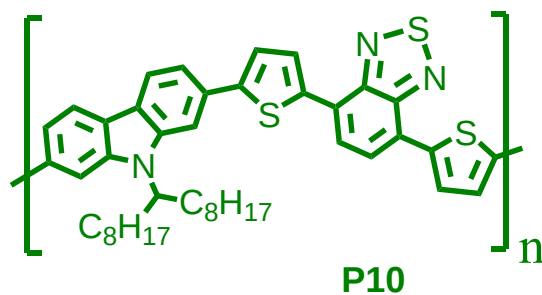
P6 R=n-octyl

P7 R=2-ethylhexyl

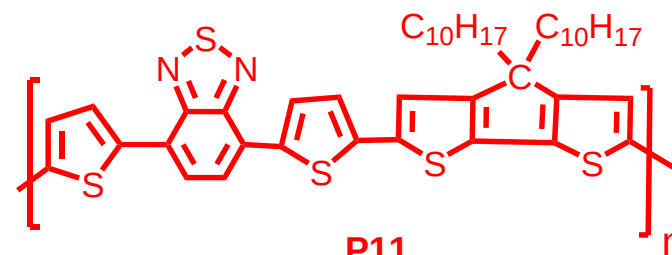


P8 R=n-octyl

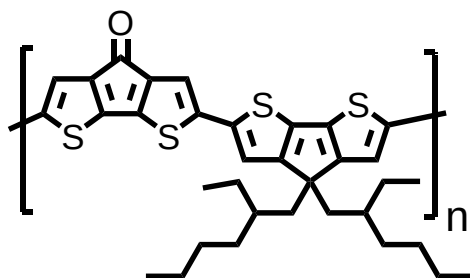
P9 R=2-ethylhexyl



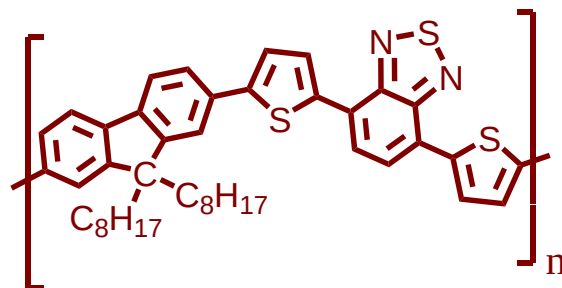
P10



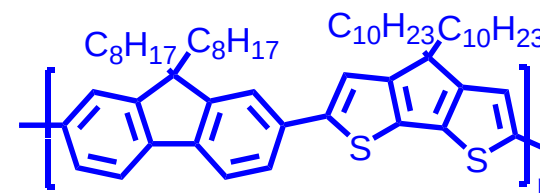
P11



P12



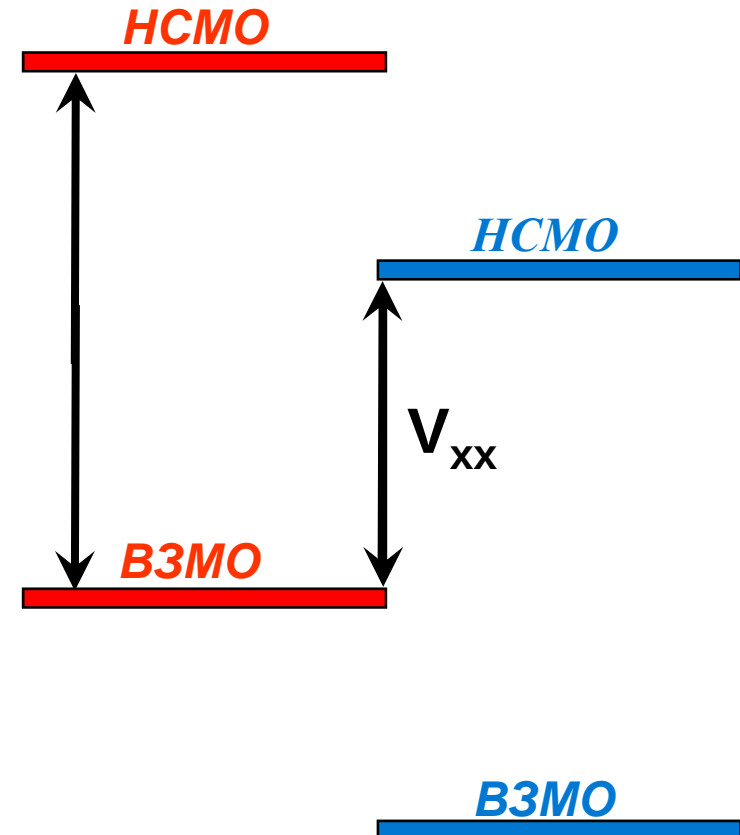
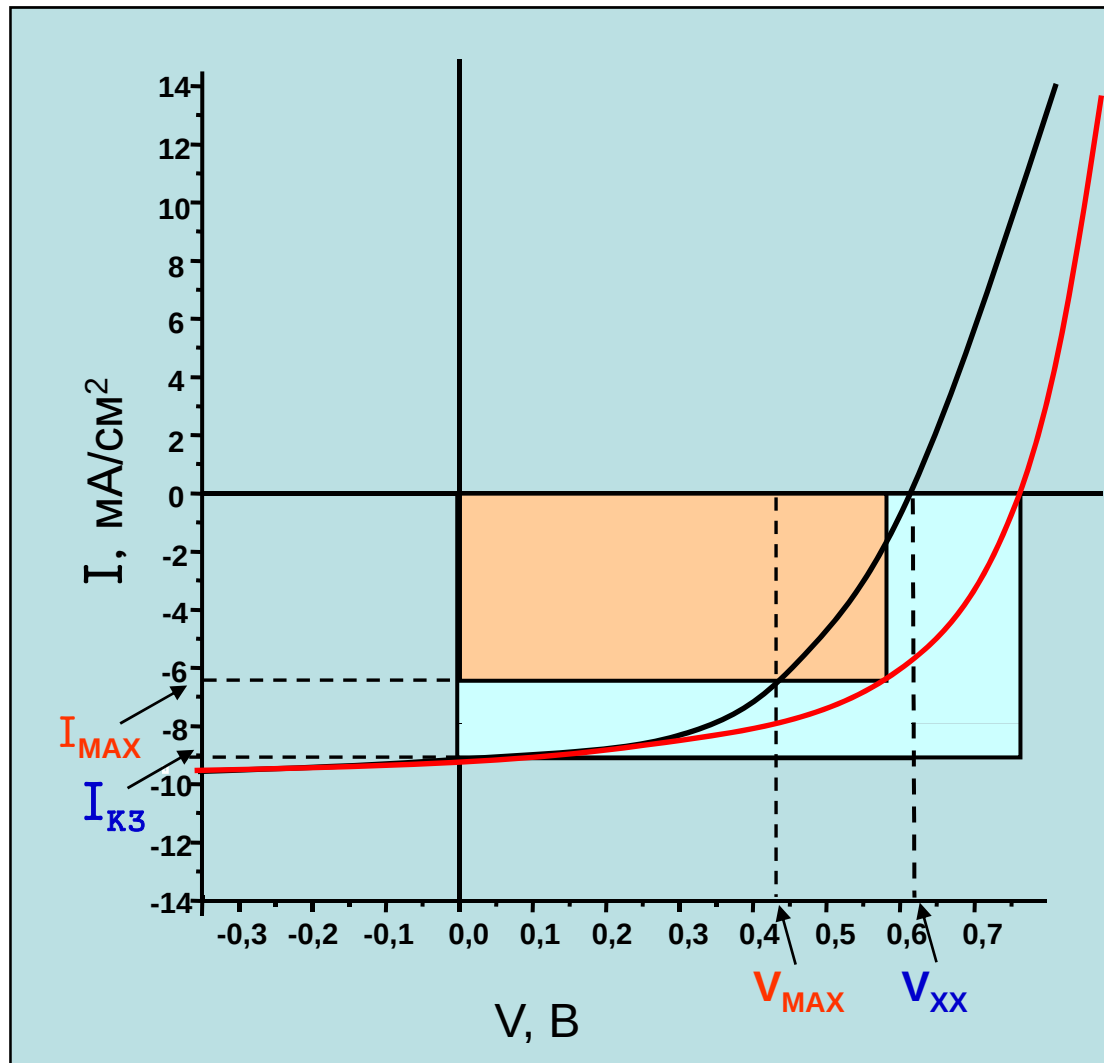
P13

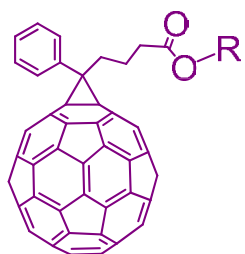


P14

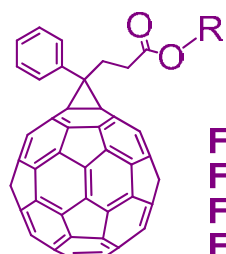
Дизайн солнечных батарей

$$\eta = (P_{\text{элек}} / P_{\text{свет}}) = [(I_{\text{max}} \cdot V_{\text{max}}) / P_{\text{свет}}] = [(I_{\text{sc}} \cdot V_{\text{oc}} \cdot FF) / P_{\text{свет}}]$$



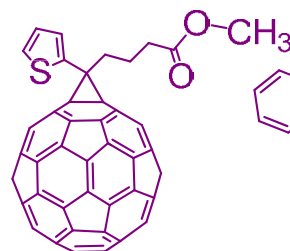


F1 R= Me [60]PCBM
F2 R= Et

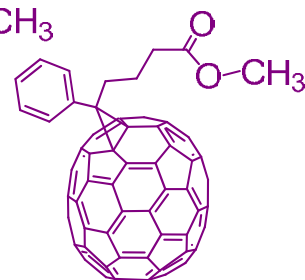


F3 R=Pr-*n*
F4 R=Bu-*n*
F5 R=Bn
F6 R=

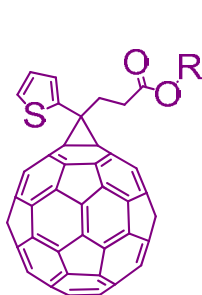
F7 R=



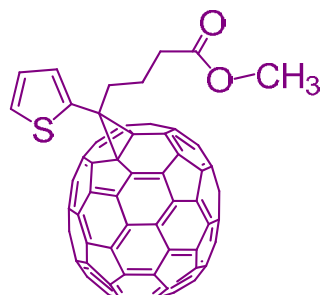
F8



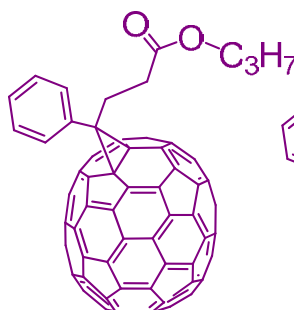
F9
 [70]PCBM



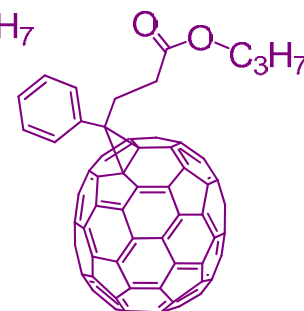
F10 R= Pr-*n*
F11 R= Bu-*n*



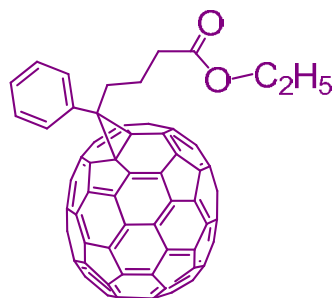
F12



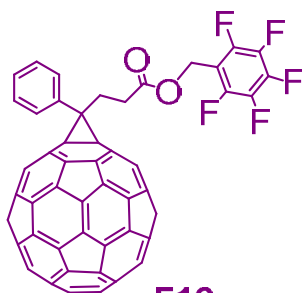
F13



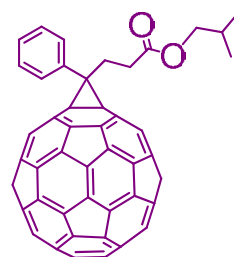
F14



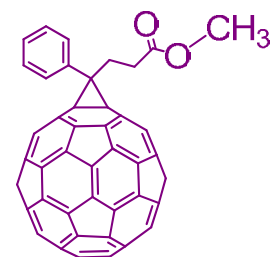
F15



F16

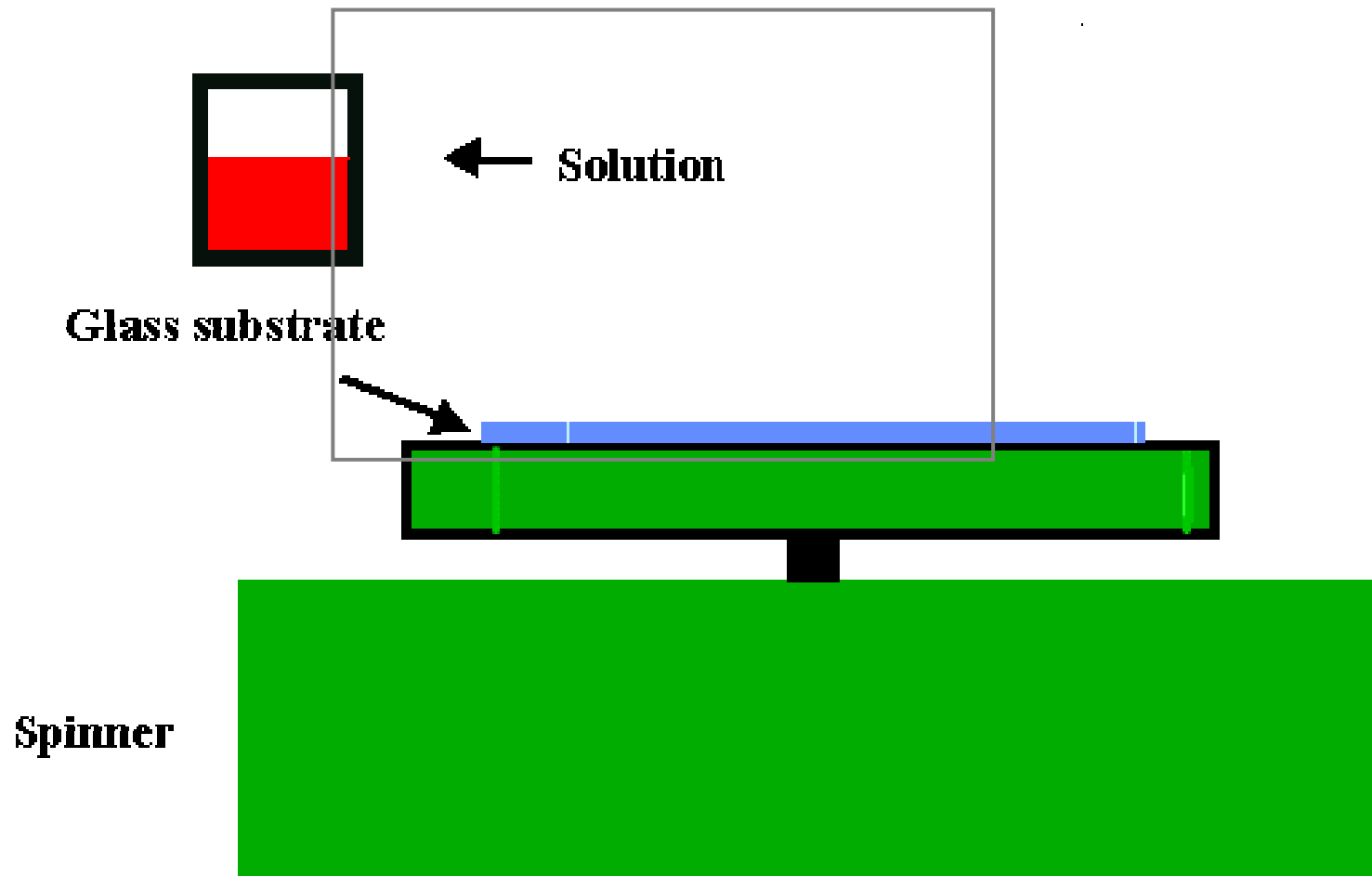


F17



F18

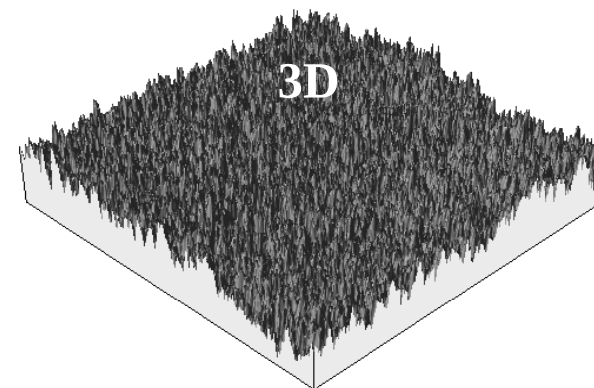
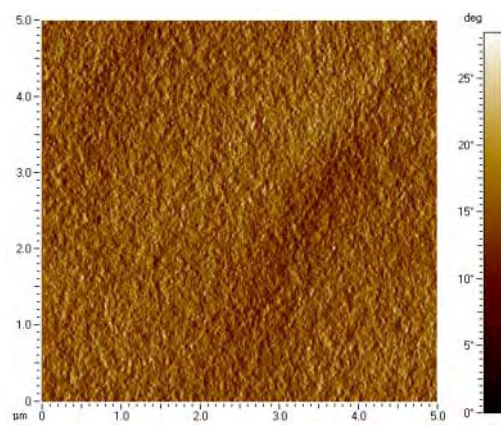
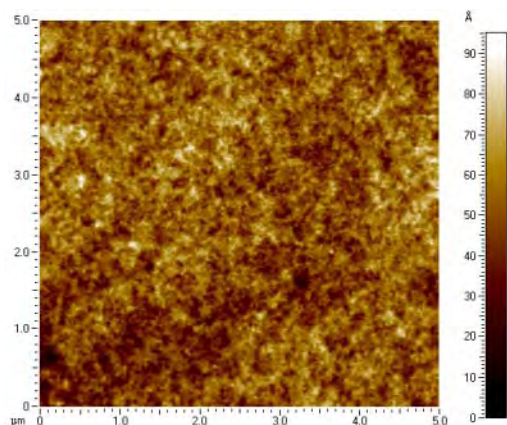
Получение тонких пленок методом «spin-coating» на стеклянной подложке



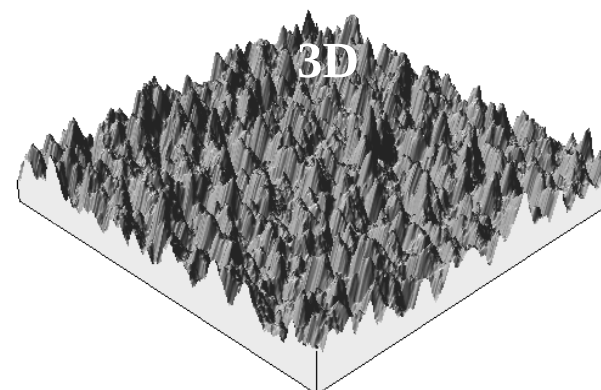
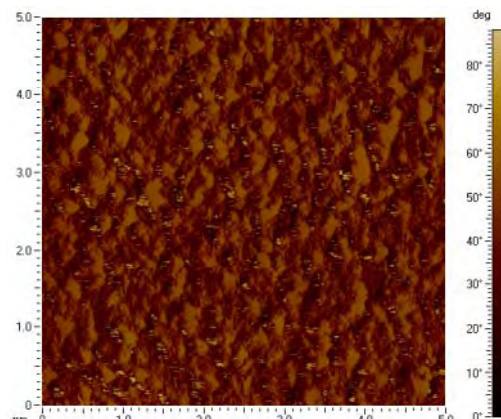
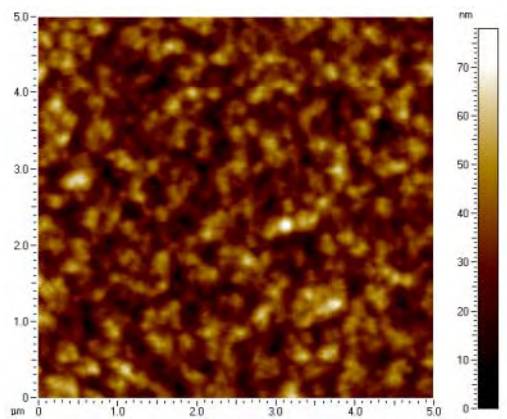
Во время вращения центробежные силы «разбрасывают» налитую суспензию ,
а вакуум притягивает подложку .не давая ей слететь.

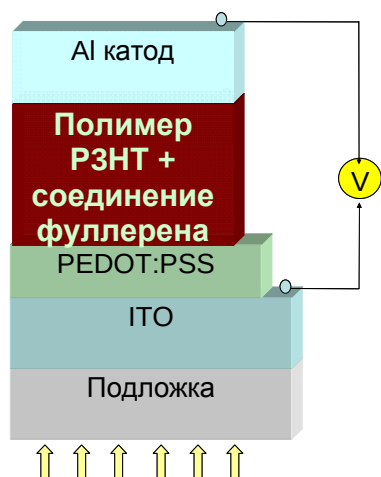
Микрофотографии фотоактивных пленок P3HT/PCBM

P3HT/C₆₀-PCBM в CDCl₃

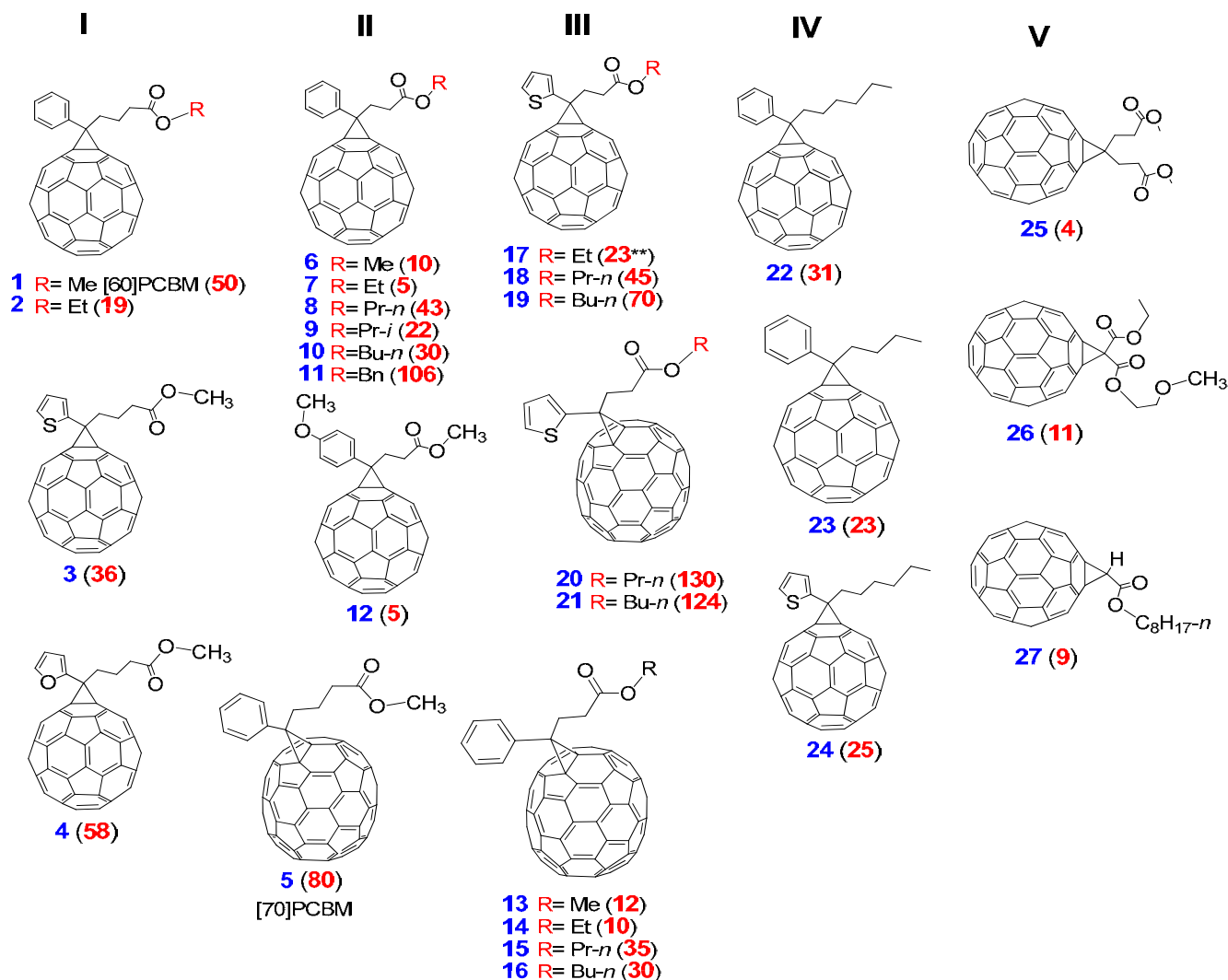


P3HT/C₆₀-PCBM в CHCl₃/ 70б.% ODT



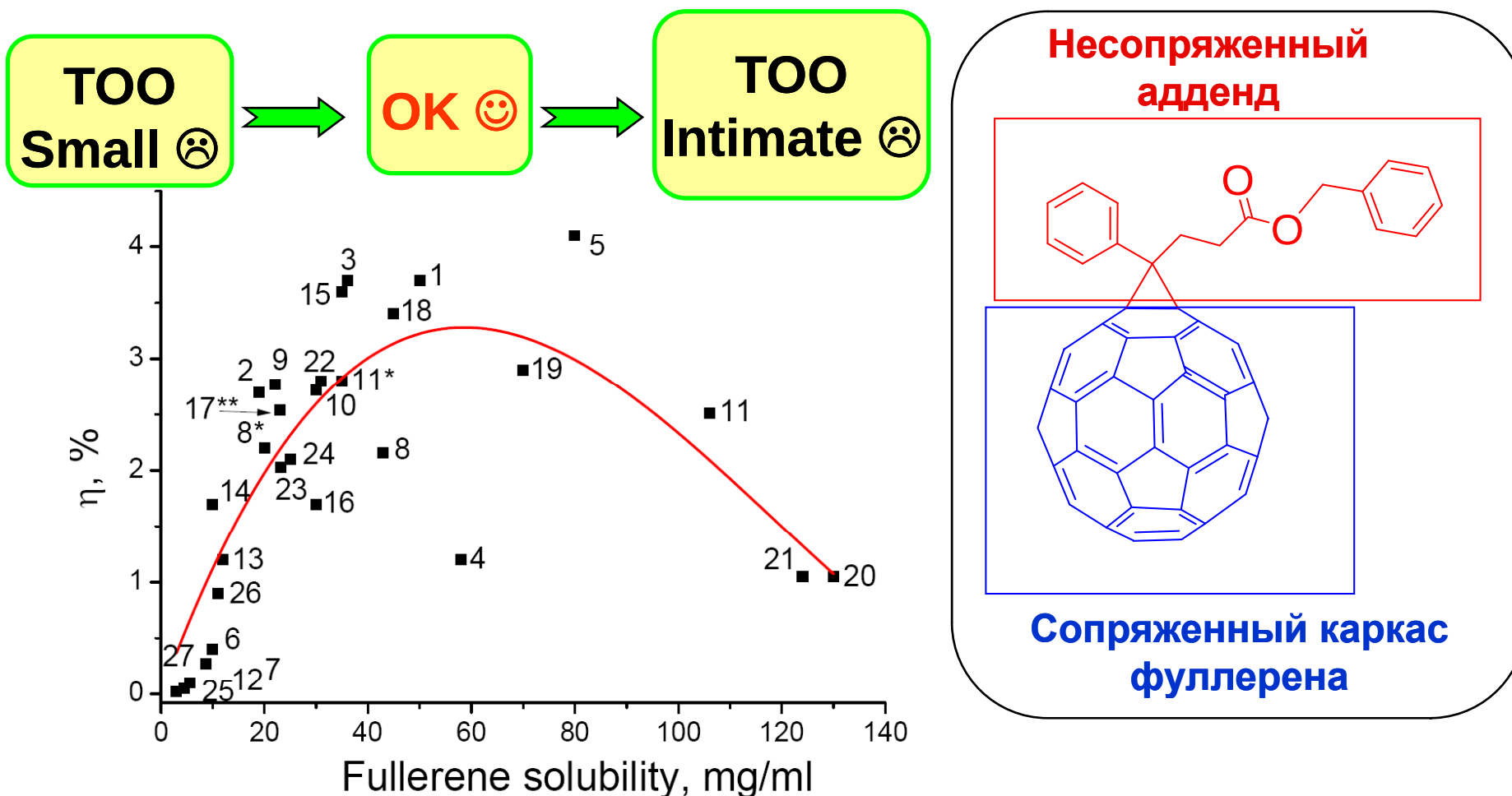


Открыт важный принцип: для достижения высоких эффективностей работы солнечных батарей необходимо использовать материалы, обладающие близкими растворимостями в растворителях, используемых для нанесения фотоактивного слоя.



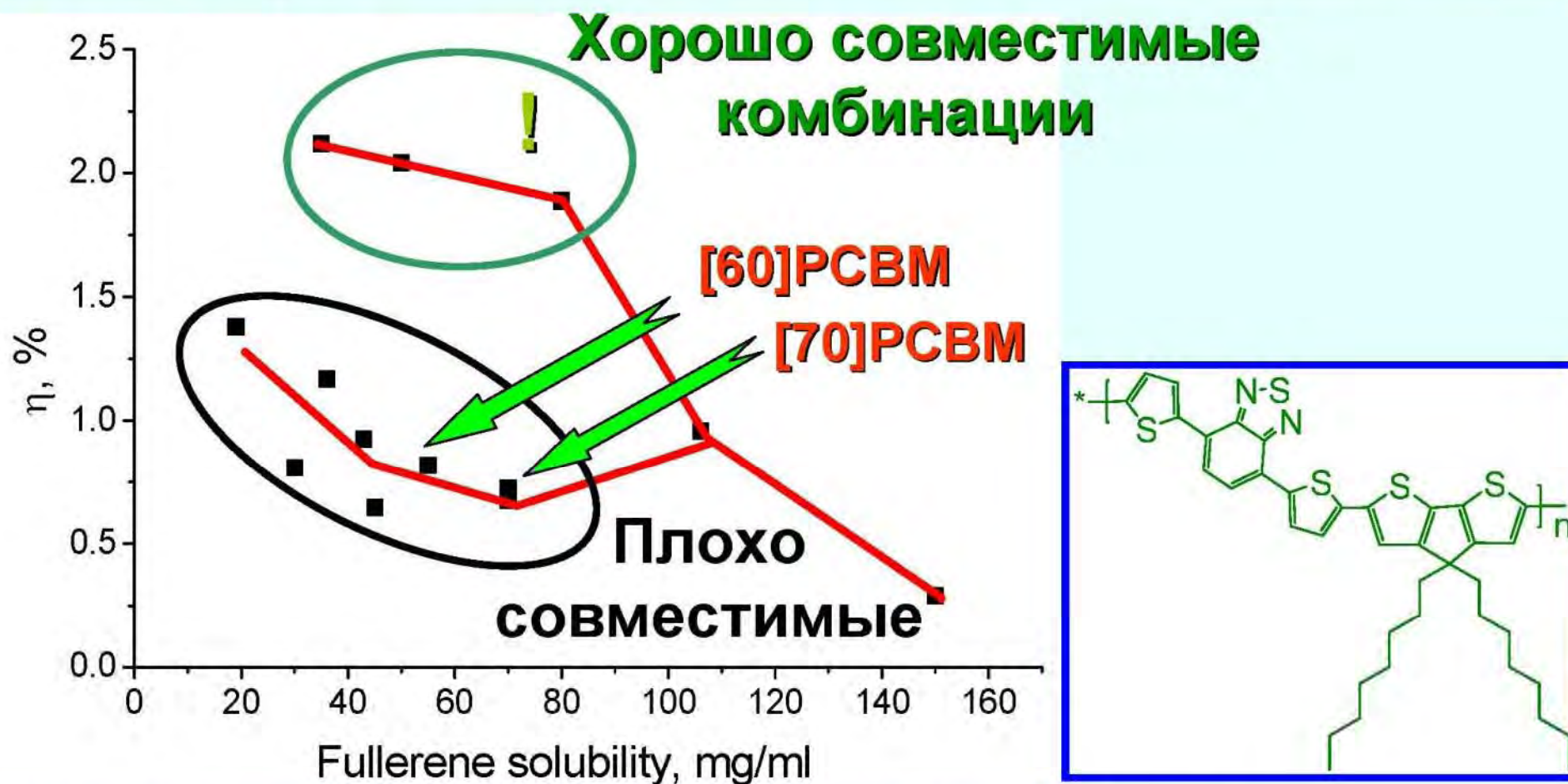
P. A. Troshin, H. Hoppe, J. Renz, M. Egginger, J. Yu. Mayorova, A. E. Goryachev, S. Peregudov, R.N. Lyubovskaya, G. Gobsch, N. S. Sariciftci, V. F. Razumov.
 Adv. Funct. Mater. 2009, 19, 779–788 Material solubility-photovoltaic performance relationship in design of novel fullerene derivatives for bulk heterojunction solar cells.

Растворимость управляет взаимным перемешиванием компонентов, что дает возможность получить максимальный КПД солнечной батареи



P. A. Troshin, H. Hoppe, J. Renz, M. Egginger, J. Yu. Mayorova, A. E. Goryachev, S. Peregudov, R.N. Lyubovskaya, G. Gobsch, N. S. Sariciftci, V. F. Razumov. Adv. Funct. Mater. 2009, 19, 779–788

Рациональный подход к разработке донорно-акцепторных комбинаций материалов для солнечных батарей



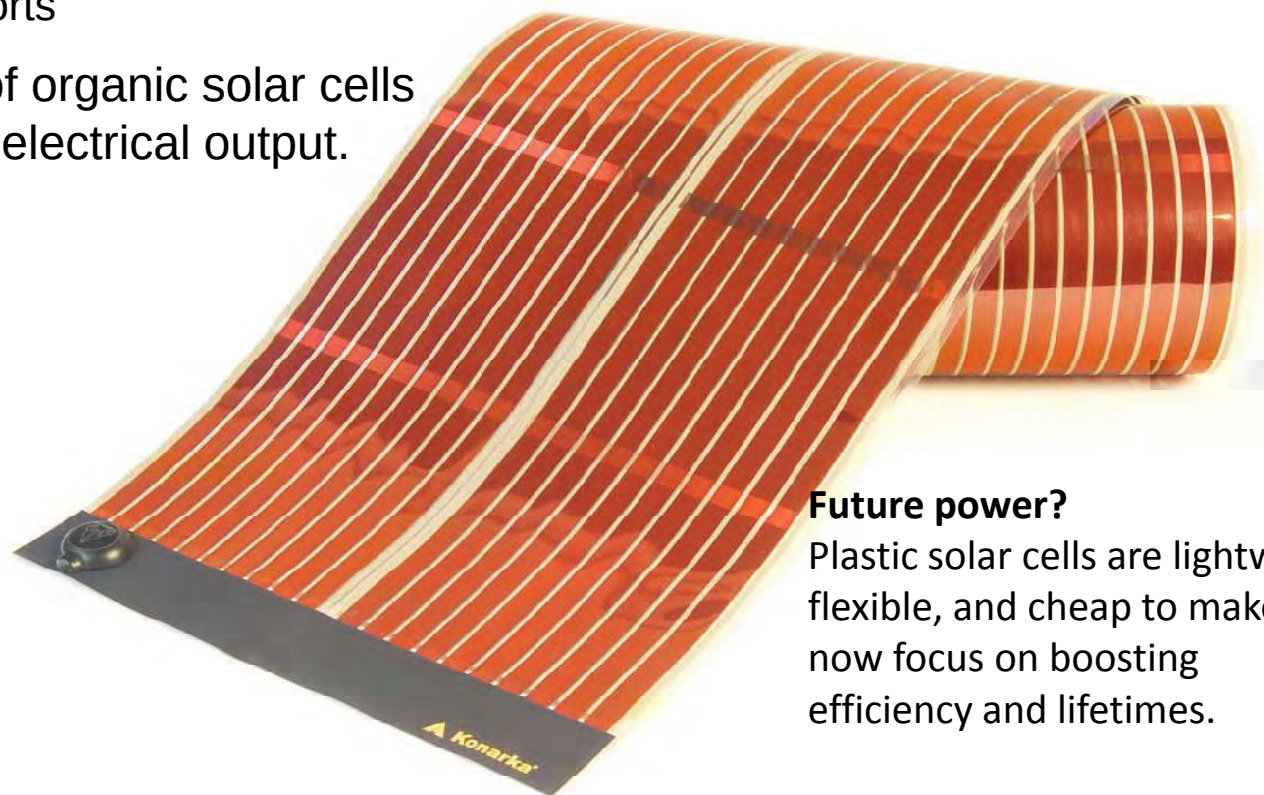
D.K. Susarova, E. A. Khakina, P. A. Troshin, D. A. M. Egbe, N. S. Sariciftci, V. F. Razumov, *J. Mater. Chem.*, **2010**, submitted

RECENT EFFICIENCY GAINS

Company	Date	Efficiency
Solarmer Energy Inc.	July 2010	8.13%
Heliatek	October 2010	8.30%
Konarka	November 2010	8.30%
Mitsubishi Chemical	April 2011	9.2%*

*According to media reports

On the rise. Makers of organic solar cells report steady gains in electrical output.



Future power?

Plastic solar cells are lightweight, flexible, and cheap to make. Efforts now focus on boosting efficiency and lifetimes.

Квантовая точка- «искусственный атом», в котором энергия электронных переходов определяется его геометрическим размером

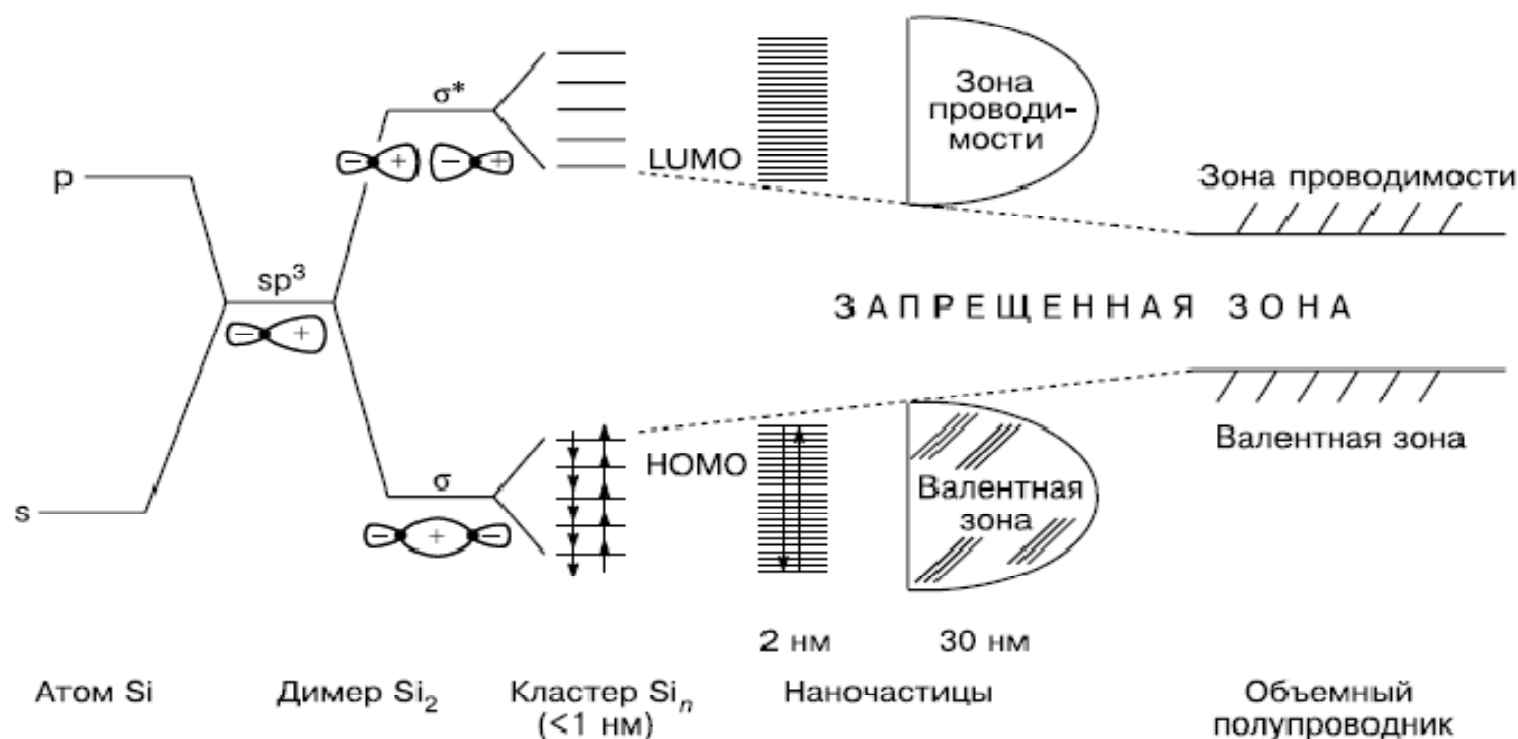
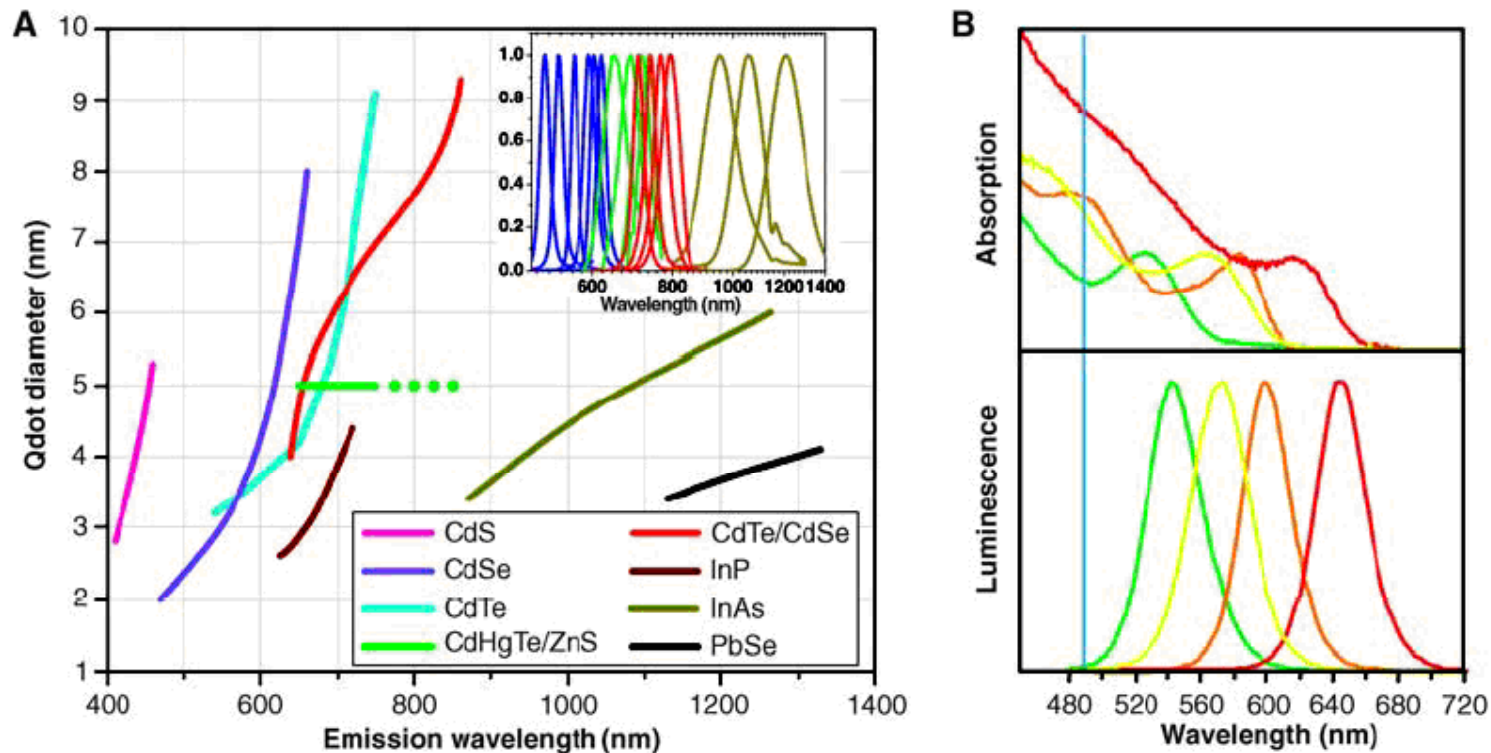


Рис. 1. Схематическое изображение изменения энергетических уровней при переходе от атома Si к кластерам Si_n , наночастицам с последовательным увеличением размера от 2 до 30 нм и объемному полупроводнику^{12,13}.

Совокупность факторов, позволяющих управлять спектрально-люминесцентными свойствами КТ

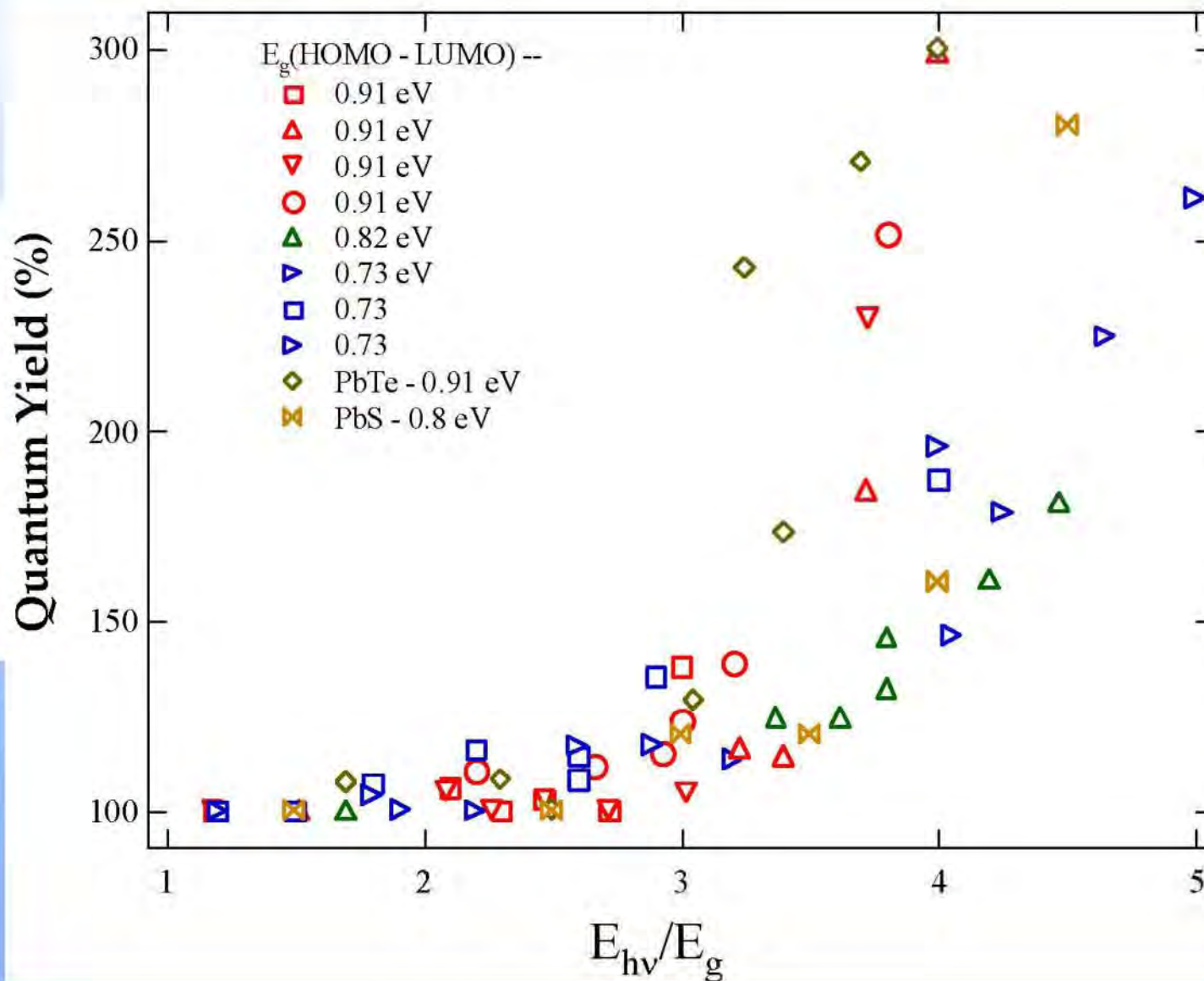


Слева: Взаимосвязь максимумов излучения и размеров КТ различного состава: (II-VI: CdS, CdSe, CdTe; III-V: InP, InAs; IV-VI: PbSe). Кривые представляют собой экспериментальные зависимости положения пика длины волны излучения от диаметра КТ. Диапазон длин волн излучения 400-1350 нм при изменении размера КТ от 2 до 9,5 нм.

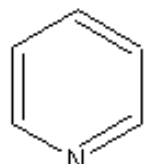
X. Michalet, F.F. Pinaud, L.A. Bentolila, J.M. Tsay, S. Doose, J.J. Li, G. Sundaresan, A.M. Wu, S.S. Gambhir, S. Weiss // Science, 2005. V.307. P.538-544



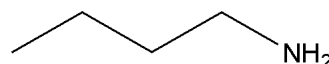
QY > 200% means 3 e-/photon are created; QY = 300% means all dots have 3 e- !!



Высокотемпературный коллоидный синтез наночастиц



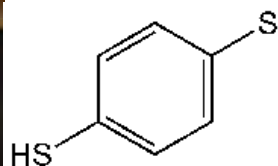
пиридин



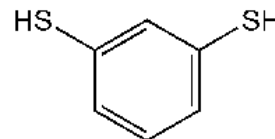
n-бутиламин



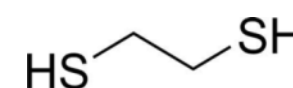
октиламин



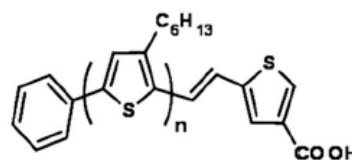
1,4-тиофенол



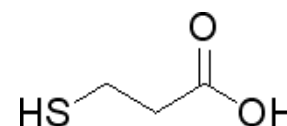
1,3-тиофенол



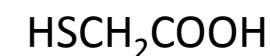
1, 2-эандитиол



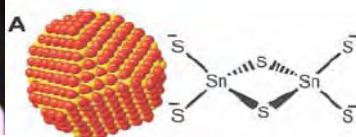
олиго-3-гексилтиофен карбоновая кислота



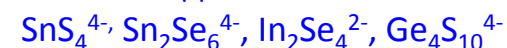
меркапто-пропионовая кислота



тиогликолиевая кислота



халькогенидные комплексы металлов

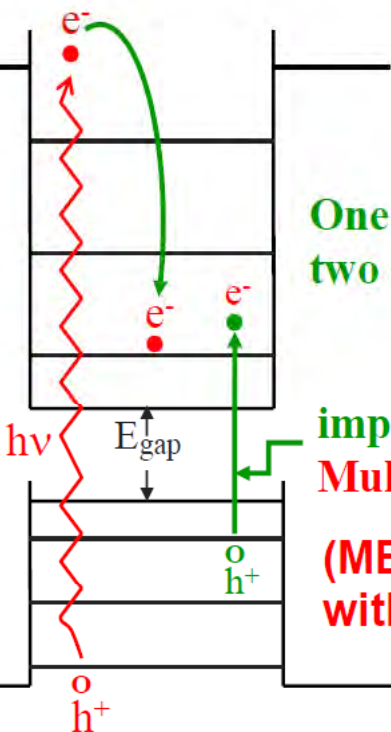
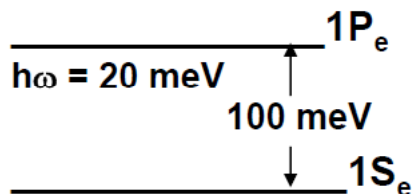




Enhanced Photovoltaic Efficiency in Quantum Dot Solar Cells by Multiple Exciton Generation (MEG)

MEG is an inverse Auger process; Auger processes are enhanced in QDs:
 $\langle 2P_e | v(r_1, r_2) | 1S_e 1S_e 1S_h \rangle$
 (crystal momentum need not be conserved (not a good quantum number))

Carrier thermalization is suppressed due to phonon bottleneck



One photon yields two e^-h^+ pairs

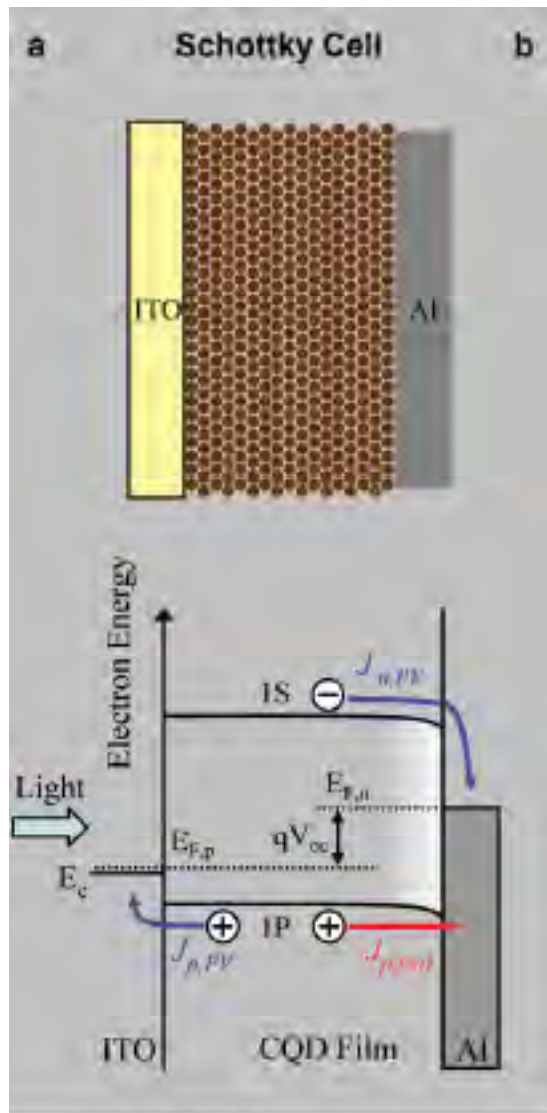
impact ionization (in QDs we call it Multiple Exciton Generation (MEG))

(MEG can compete successfully with phonon emission)

Quantum Dot

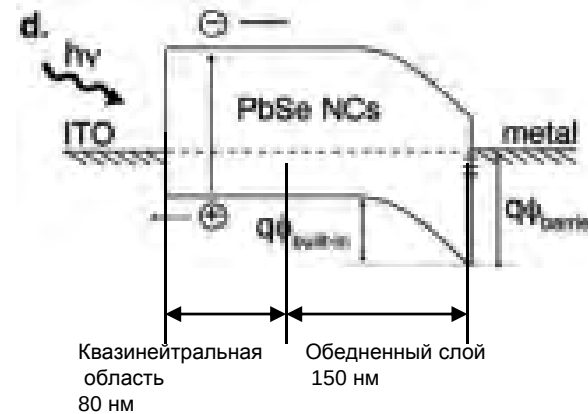
A.J. Nozik, Physica E14,115, 2002; *Ann. Rev. Phys. Chem.* 52, 193, 2001;
 in "Next Generation Photovoltaics", Marti & Luque, Eds, AIP, 2003;

Солнечные батареи на контакте Шоттки (металл-полупроводник)



$$V_{xx} \sim q\phi_B = E_g - q(\phi_M - \chi)$$

где E_g – ширина запрещенной зоны полупроводника,
 χ – сродство к электрону полупроводника,
 ϕ_M – работа выхода металла.

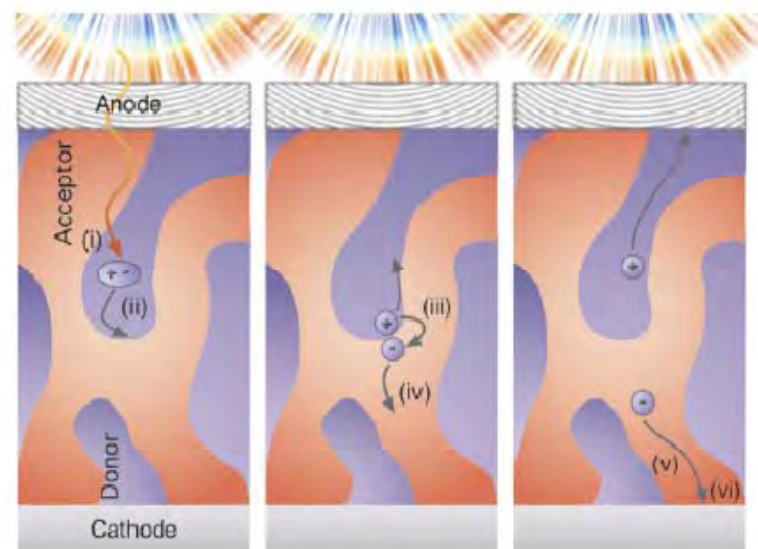
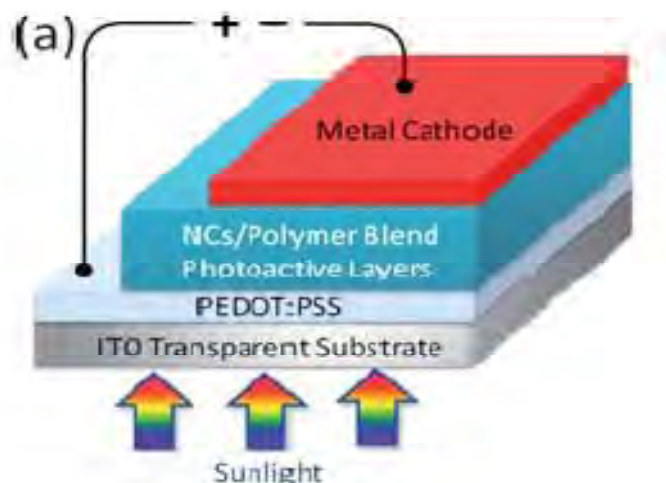


Используемые НК

PbS, PbSe, наностержни CdTe, $\text{PbS}_{0.7}\text{Se}_{0.3}$, Si

Структура солнечной ячейки	η %
glass/ITO/PbS (230 нм) /LiF(0.8нм)/Al (100нм)/Ag	3,6
ITO/PbSe(210-250 нм)/ 100 nm Mg/190 nm Ag	3,6
ITO/PbS (100_120 нм)/LiF (1 нм)/Al (120 нм)	3,8
ITO/ $\text{PbS}_{0.7}\text{Se}_{0.3}$ (100 нм)/ Al (120 нм)	3,3
ITO/наностержни CdTe/ Al	5

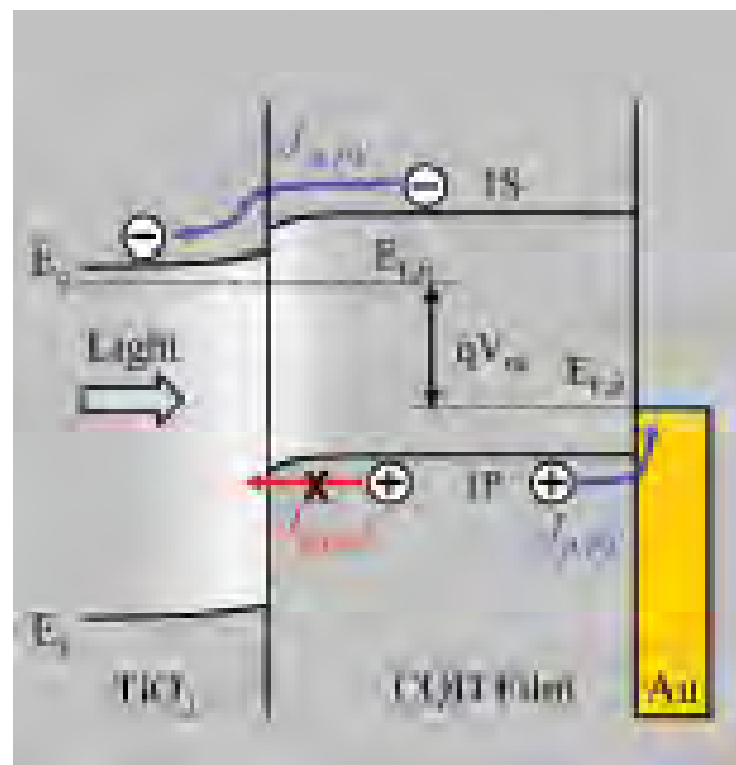
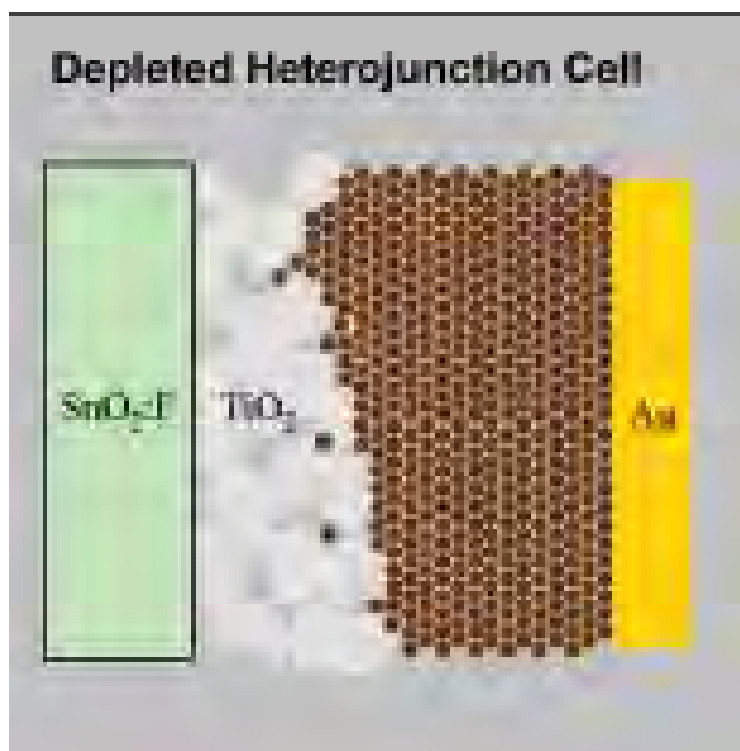
Гибридные солнечные батареи на гетеропереходе сопряженный полимер-КТ



ITO/PEDOT-PSS/КТ CdSe- PCPDTBT/Al	2,7
ITO/PEDOT-PSS/КТ PbSe- PCPDTBT/Al	0,04
ITO/PEDOT-PSS/КТ PbS- PDTPQ _x /Al	0.55
ITO/PEDOT-PSS/наностержни CdSe-РЗНТ /Al	2.65
ITO/PEDOT-PSS/тетраподы CdSe-PCPDTBT /LiF-Al	3.13
ITO/PEDOT-PSS/гиперразветвленные CdSe -РЗНТ /Al	2.2
ITO/PEDOT-PSS/тетраподы CdSe-OC ₁ C ₁₀ -PPV /LiF-Al	2.8

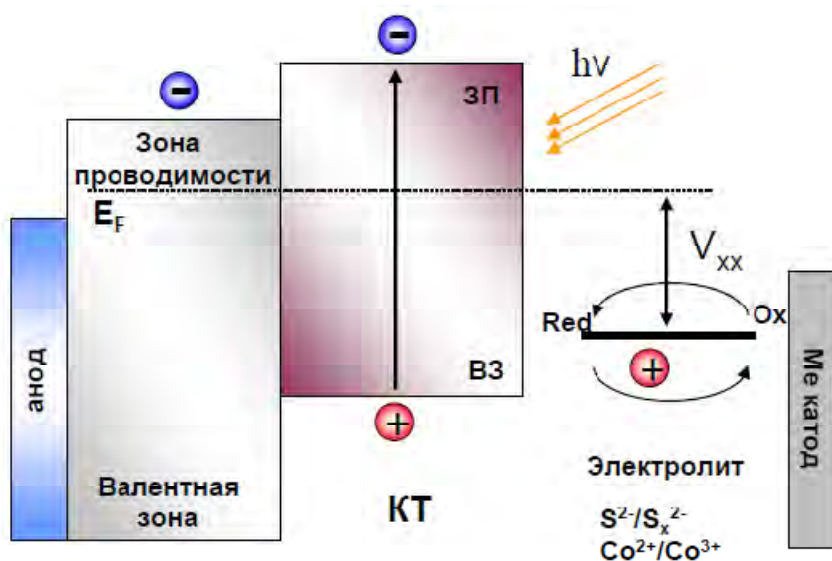
Солнечные батареи на гетеропереходе полупроводник-полупроводник

Обедненный гетеропереход

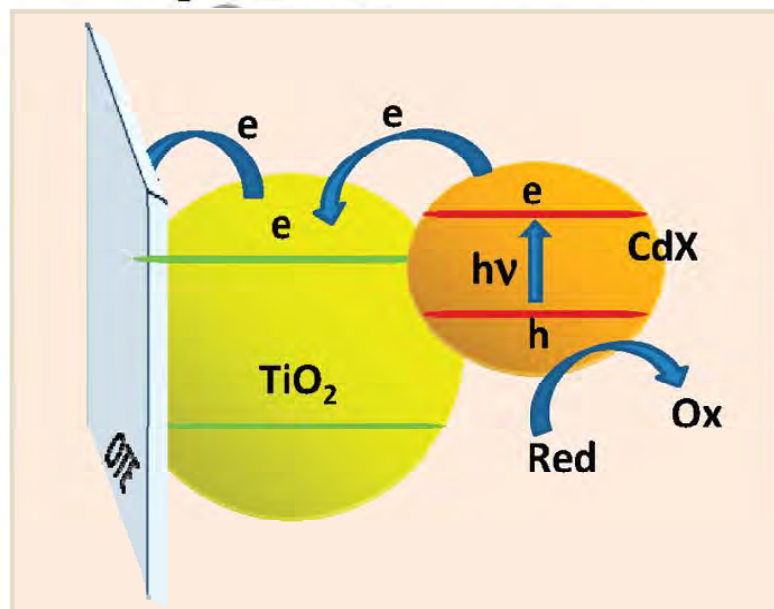


FTO/TiO ₂ /PbS/Au	DH	5.1
ITO/HK ZnO/HK PbS/Au	DH	2.94
ITO/PEDOT PSS/ HK PbSe / HK ZnO /Al	гетеропереход	3,4
FTO/TiO₂/PbS/Au	объемный DH	5,5
ITO/наностержни CdTe/наностержни CdSe/Ca-Al	гетеропереход	2,9

Солнечные батареи, сенсibilизированные КТ

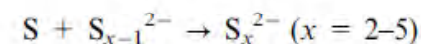
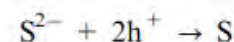


TiO₂

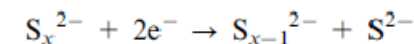


Используемые НК

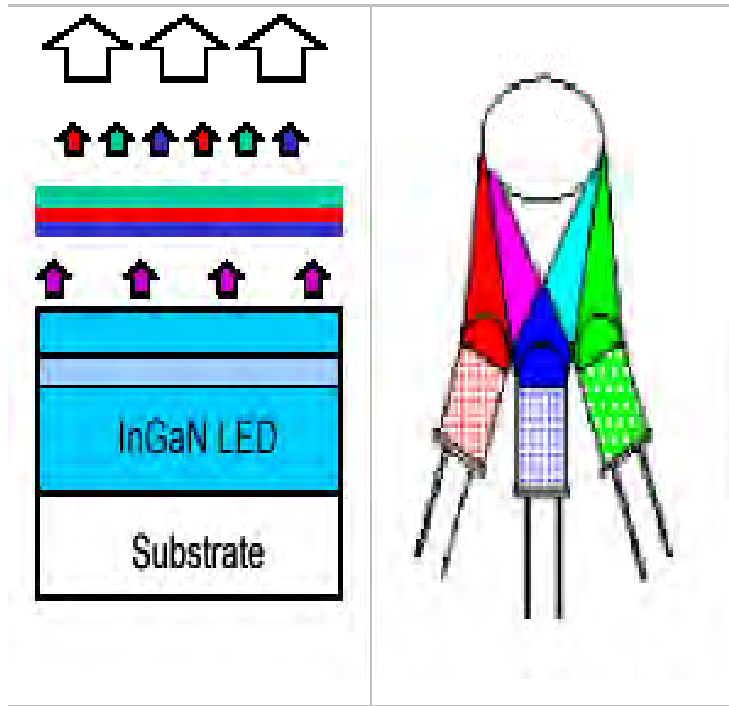
PbS, CdS, Ag₂S, CdTe, CdTe@CdS, PbS@CdS, ZnSe@CdS, CdSe, CdTe, CdHgTe, InP, InAs, Ag₂Se, SnS, CuInS₂@ZnS



Электролит



FTO/TiO ₂ /CdS-CdSe/полисульфидный электролит/ Cu ₂ S	4.92
FTO/TiO ₂ /CdTe@CdS/ полисульфидный электролит/Au	3,8
ITO- полиэтилентерфталат (гибкий электрод)/TiO ₂ /КТ CdS-CdSe/ полисульфидный электролит/Cu ₂ S	3.47
/TiO ₂ /CdSe рутениевый сенсibilизатор/кобальтовый электролит/ Pt	4.76
FTO/TiO ₂ /CdSe/ полисульфидный электролит/ Hollow core/mesoporous shell carbon	3.9

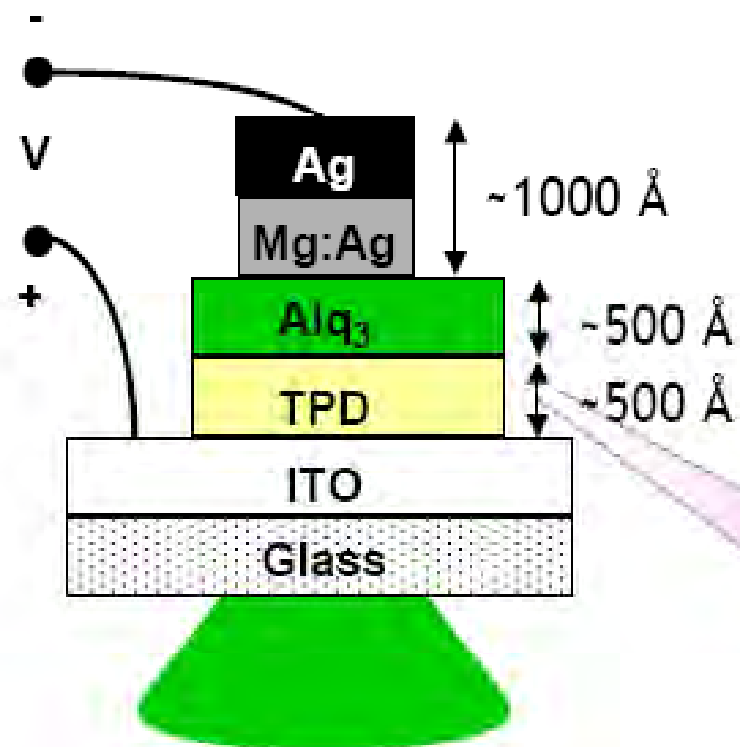


50-100 Lm/W
theory limit up to
300 Lm/W

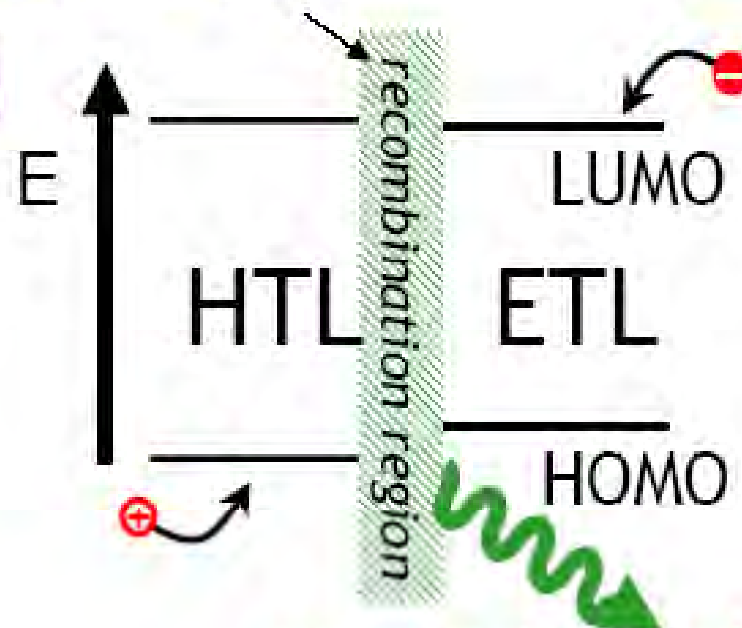
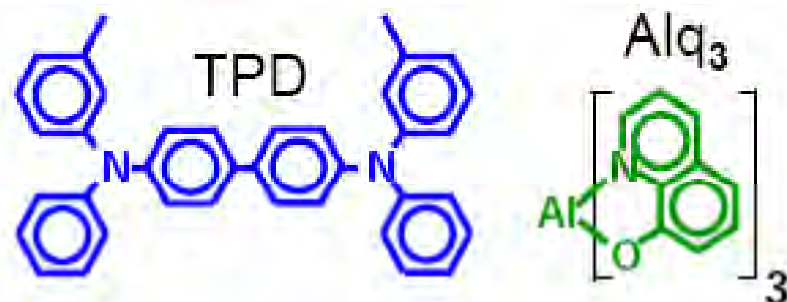
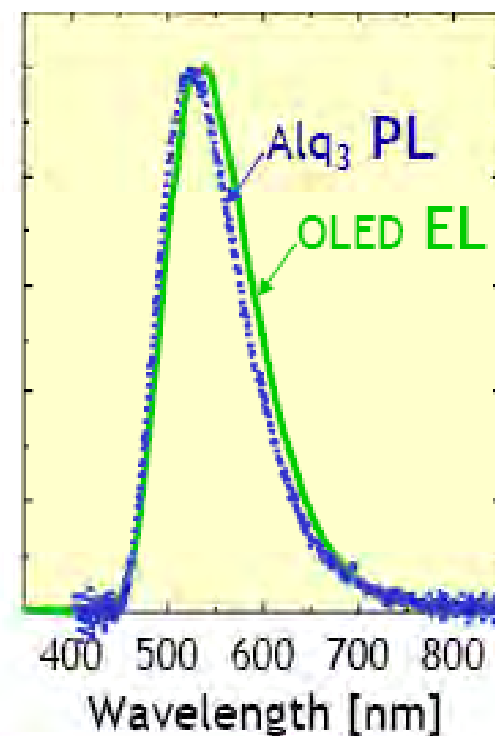


15-20 Lm/W

Why do OLEDs Glow ?

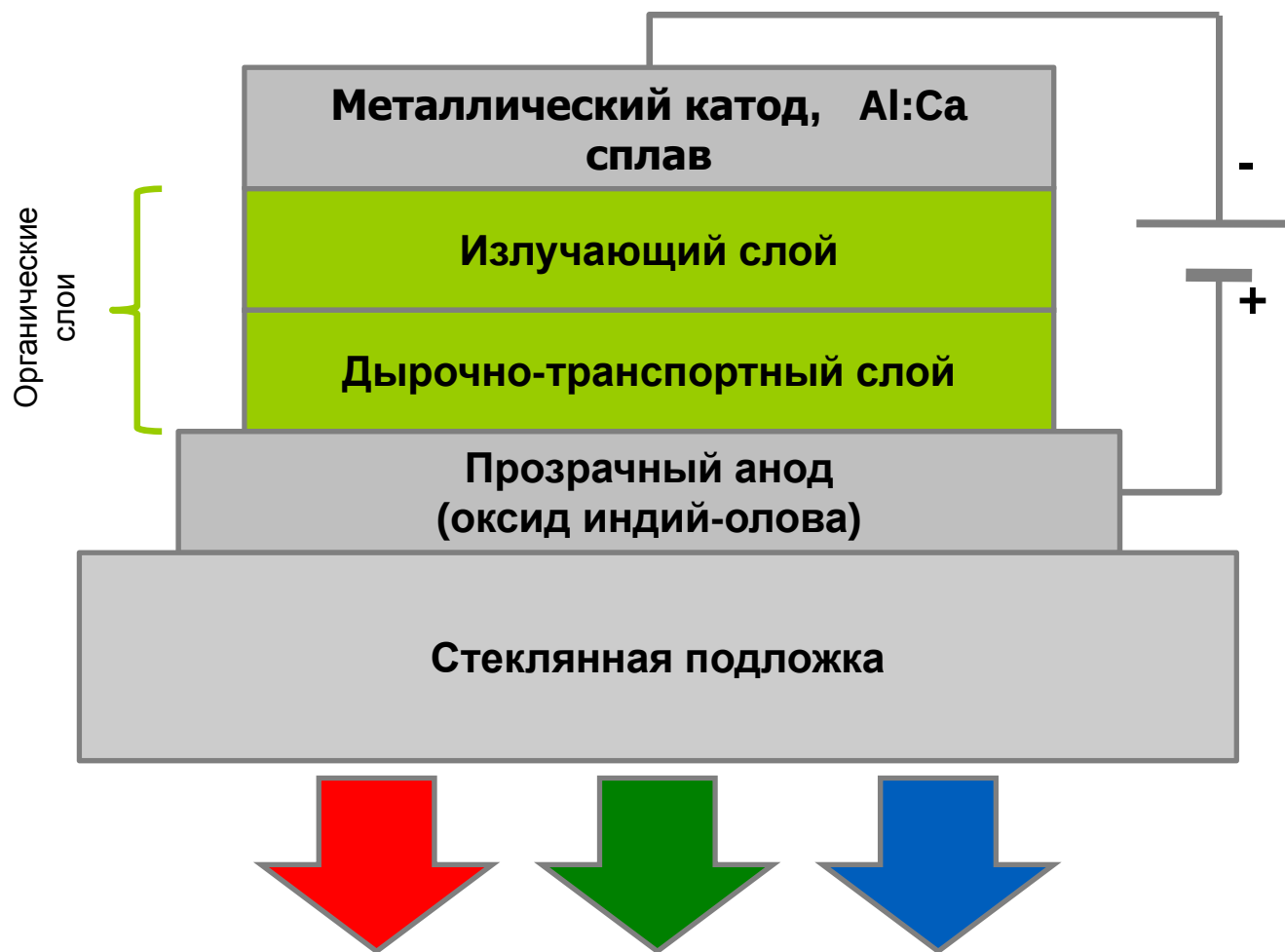


electrons and holes
form *excitons*
(bound e⁻-h⁺ pairs)



some excitons radiate

Структура органического светодиода



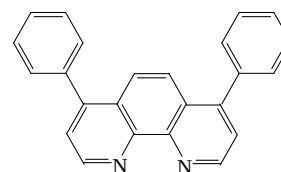
ДБМ-E1 (красный)

Alq3 (зеленый)

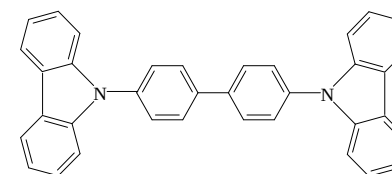
Da-BuTAZ (синий)

Последовательность слоев в гибридном синглет-триплетном OLED

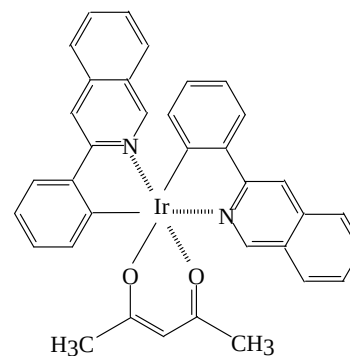
LiF/Al
1:1Bphen:Li (20nm)
Bphen (20nm)
5%BCzVBi:CBP(b2 nm)
CBP(6 nm)
5%Ir(ppy)₃:CBP(g nm)
4%PQIr:CBP(r nm)
CBP(4nm)
5%BCzVBi:CBP(b1 nm)
NPD(40nm)
ITO



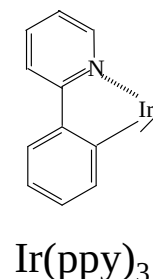
Bphen



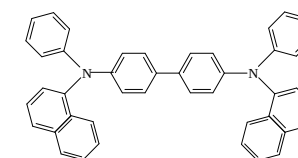
CBP



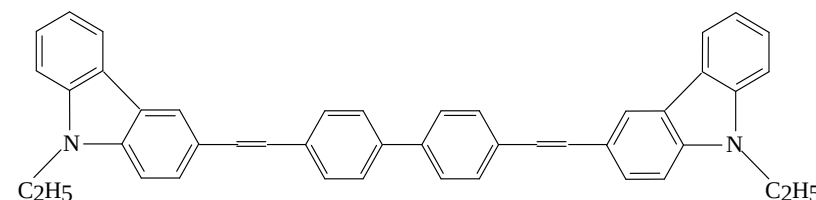
PQIr



Ir(ppy)₃



NPD



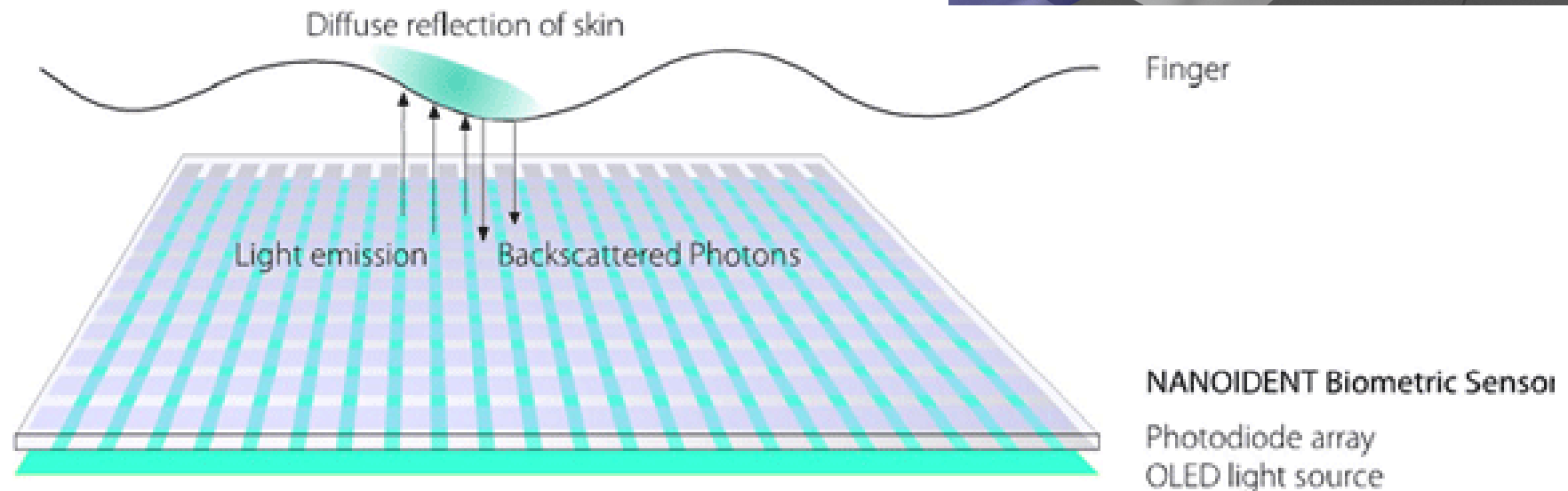
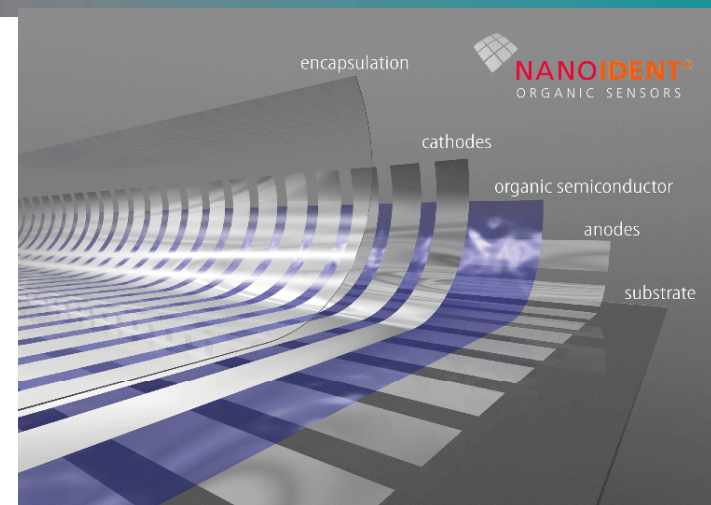
BCzVBi

$$\eta_p = 22.1 \text{ lm/W at } 500 \text{ cd/m}^2$$

Y. Sun et al. Nature, 440, 908 (2006)

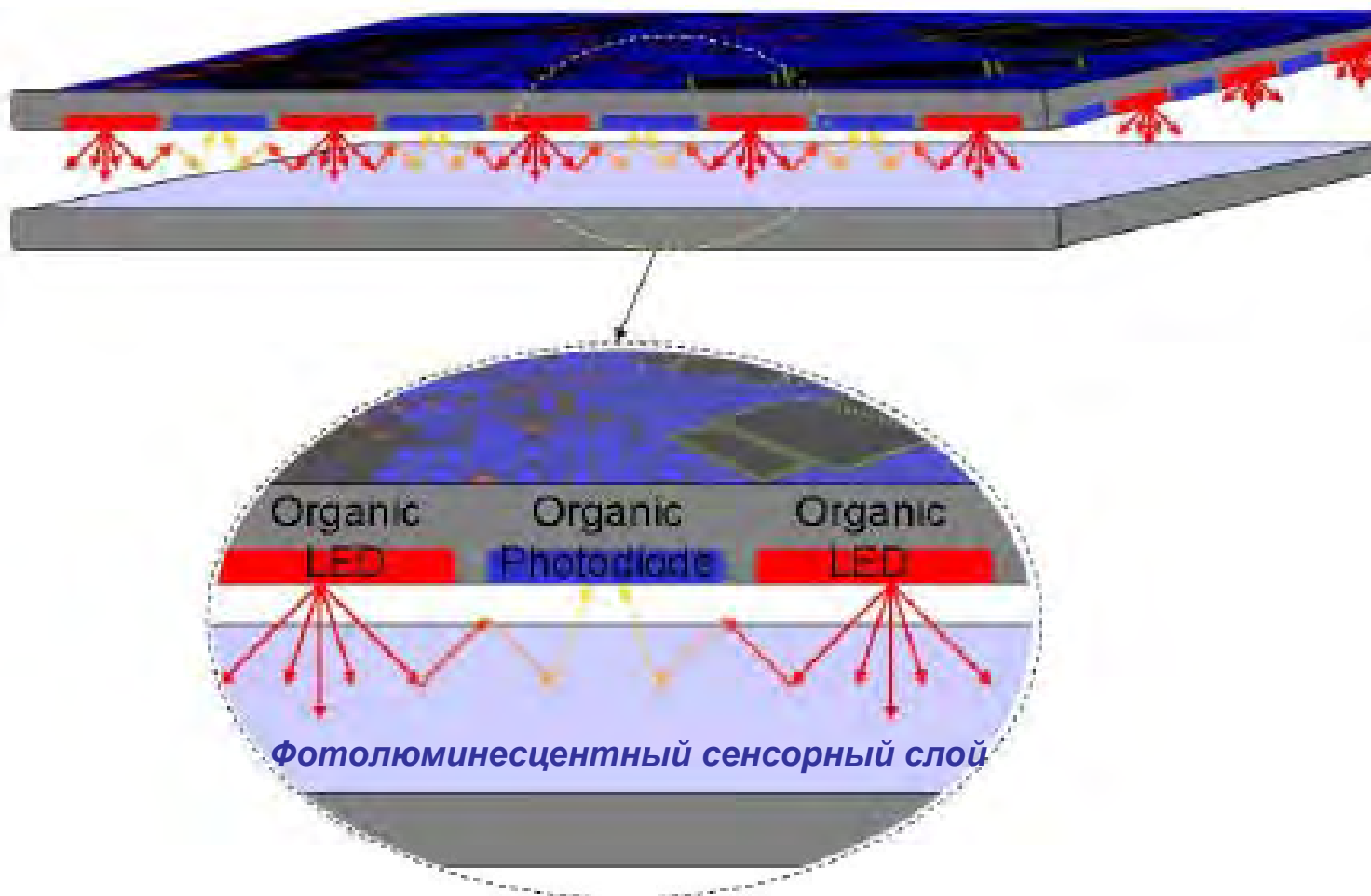
Биометрические сенсоры

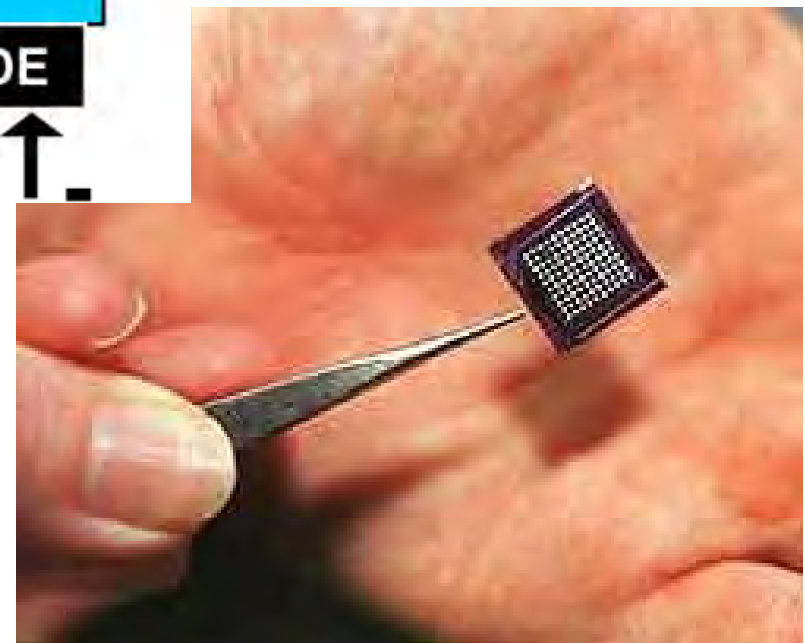
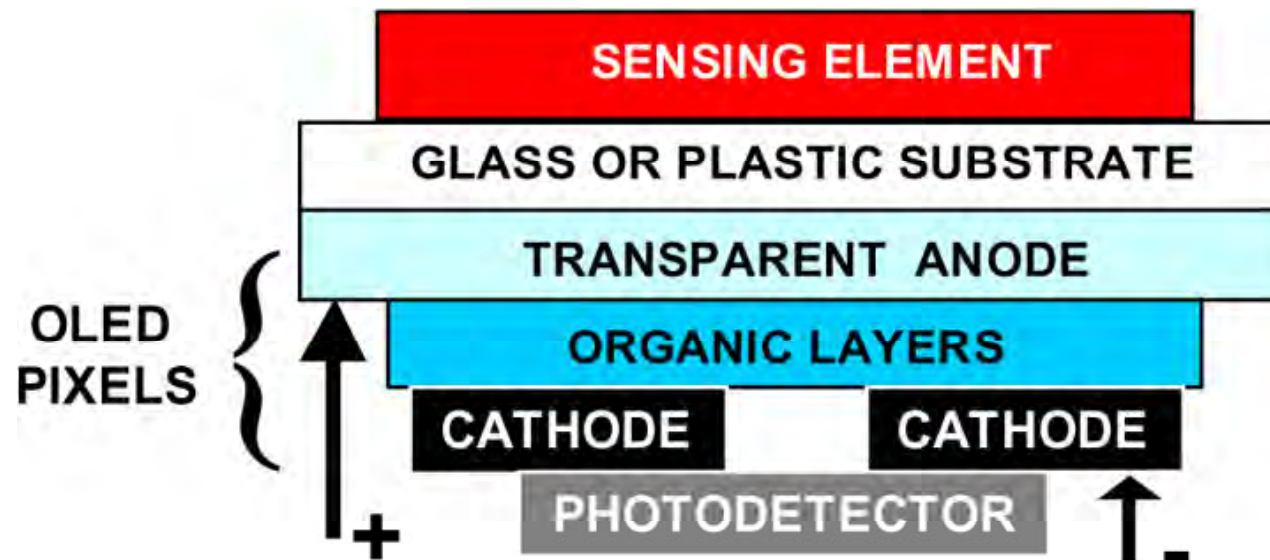
Комбинация фотодетекторов и светоизлучающих диодов



Идентификация личности – определение состава крови,
отпечатки пальцев.

Принцип работы оптохемосенсора





UT Multisensor Array Device

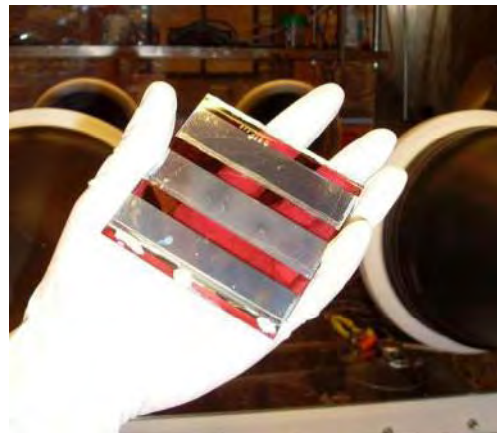
Приборная база



Устройства органической электроники: измерения



Organic electronic devices



Спасибо за внимание!