

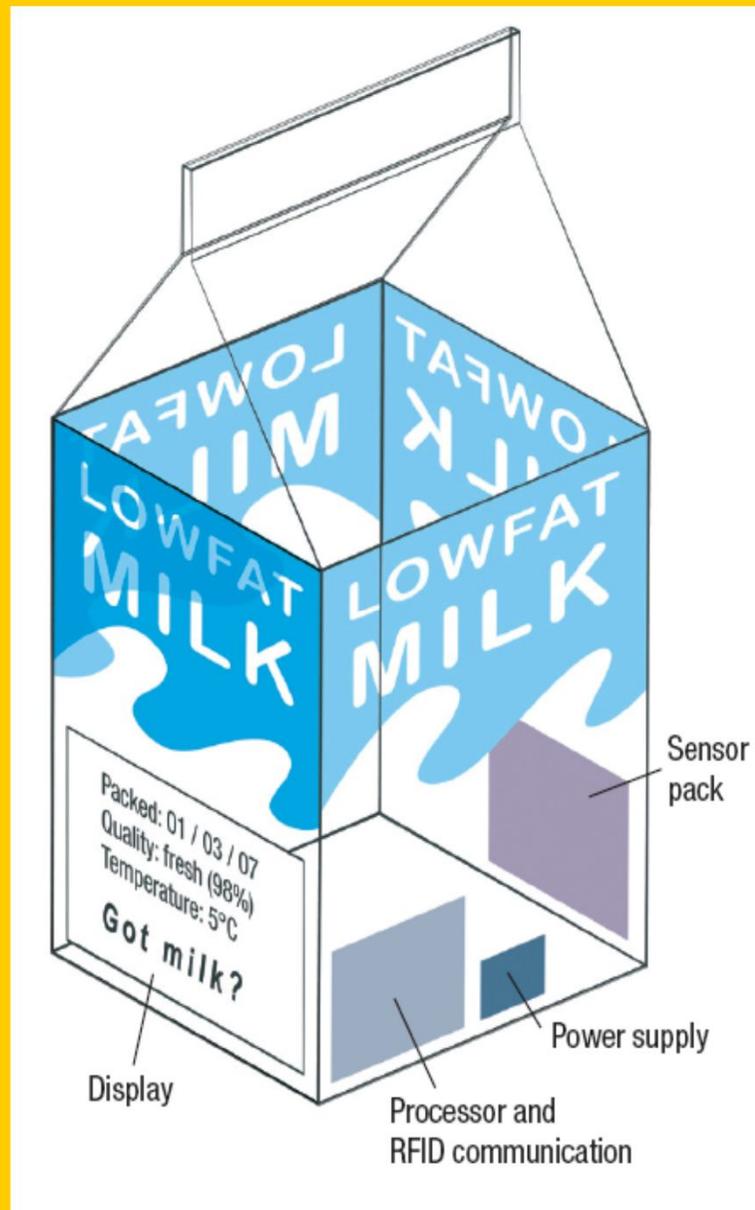
Физика органических полупроводников

Паращук Дмитрий Юрьевич

доцент физического факультета МГУ

отчетность: экзамен

Пакет молока ... из будущего



Технологии гибкой оптоэлектроники



Source/drain: offset printing
Gate: offset/flexo printing
Semiconductor: gravure printing

High-k dielectric: gravure/flexo printing
Low-k dielectric: gravure printing

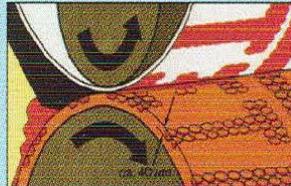
Offset
0.7-0.8 mm

Gravure
ca. 0.05 mm

Flexo
ca. 0.3 - 0.7 mm

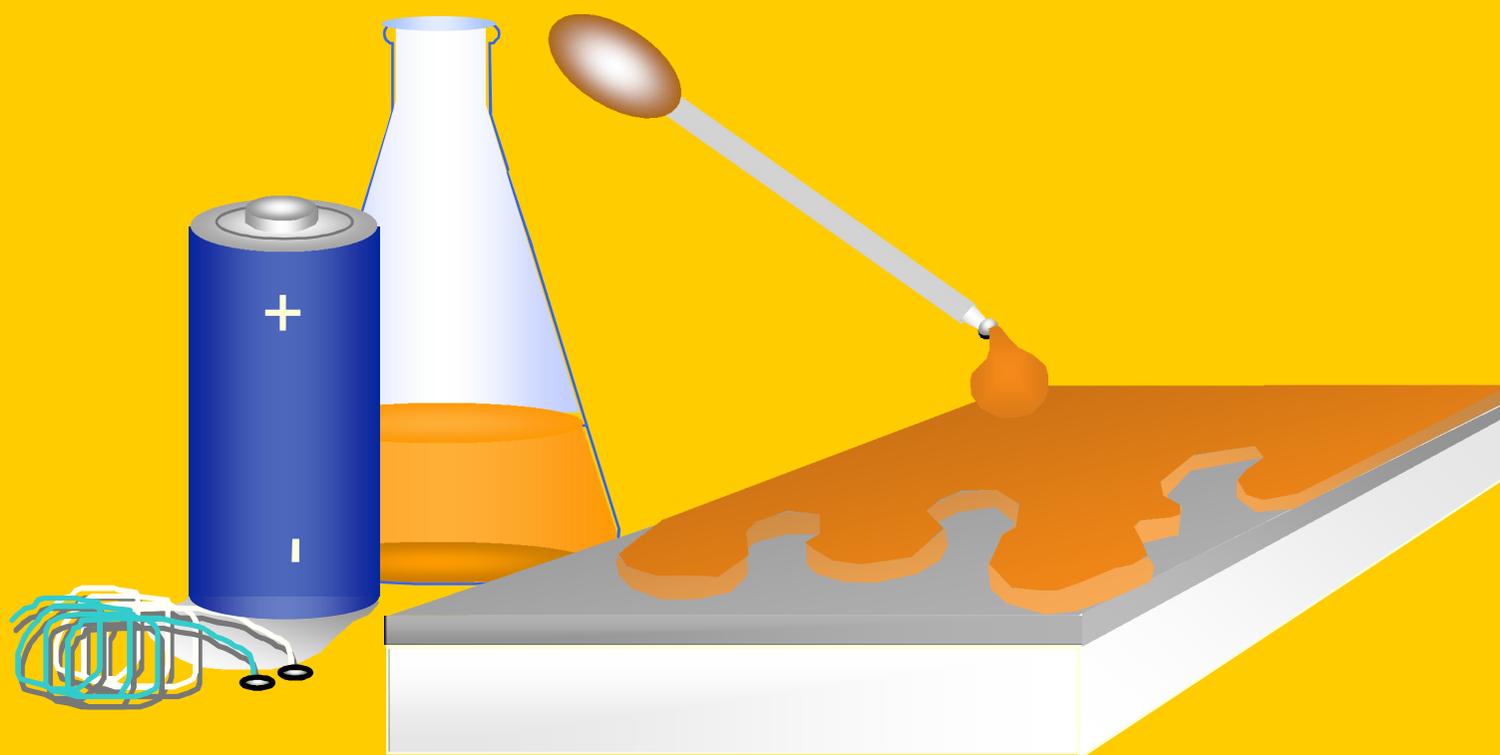
Example of offset-printed electrodes for integrated circuits

Laboratory printing machine, capable of all conventional printing techniques

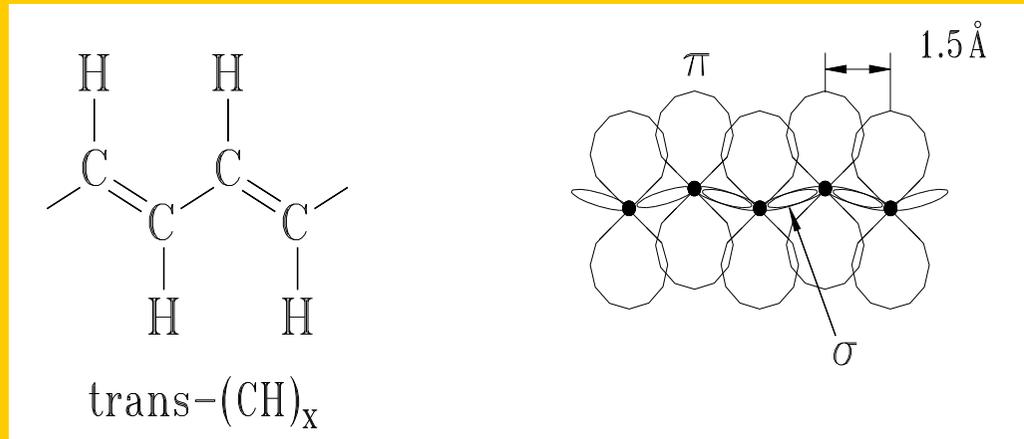


SPC 91a Page 95 (5) January 2002

«Мокрые» технологии

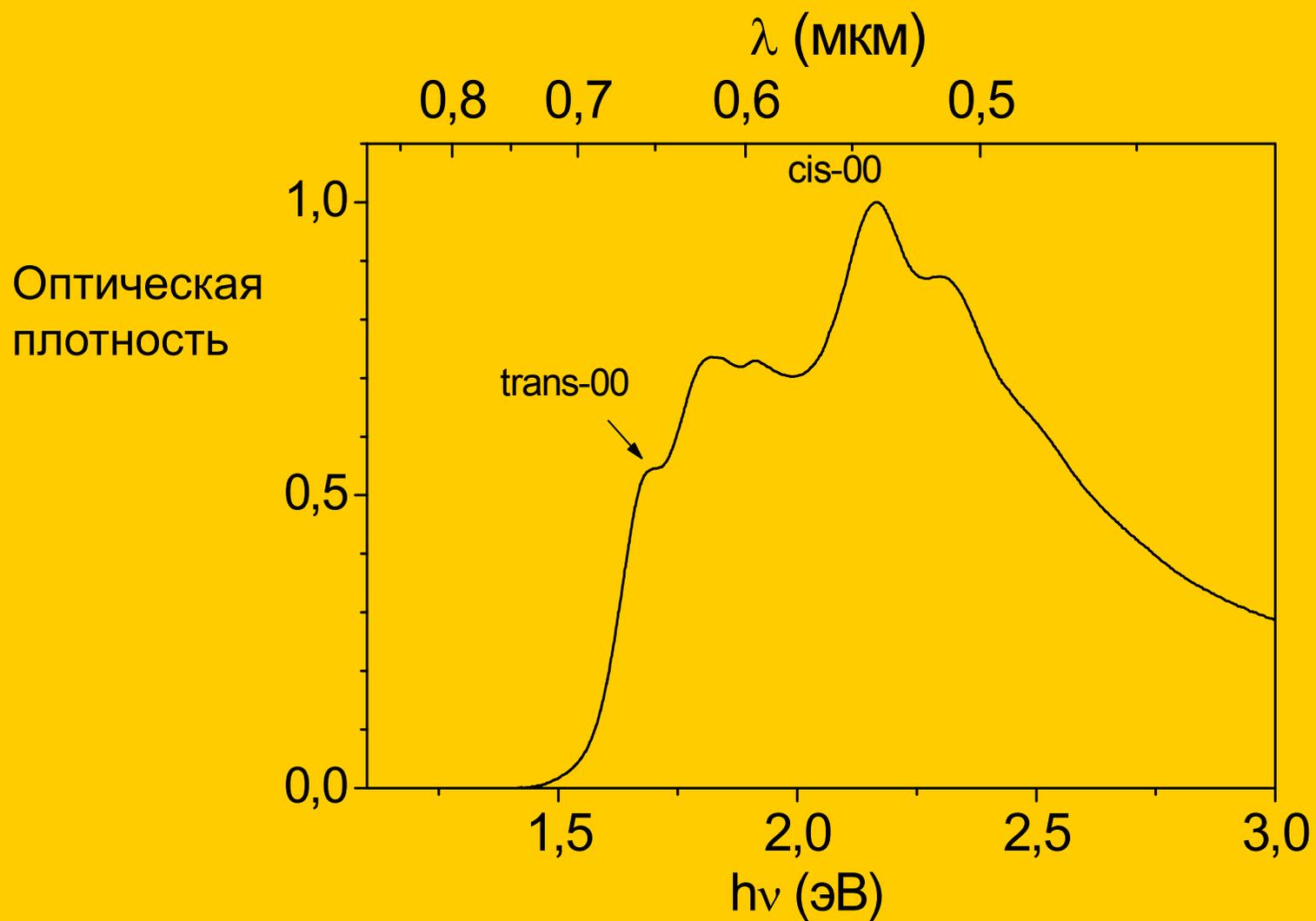


π -сопряженные полимеры

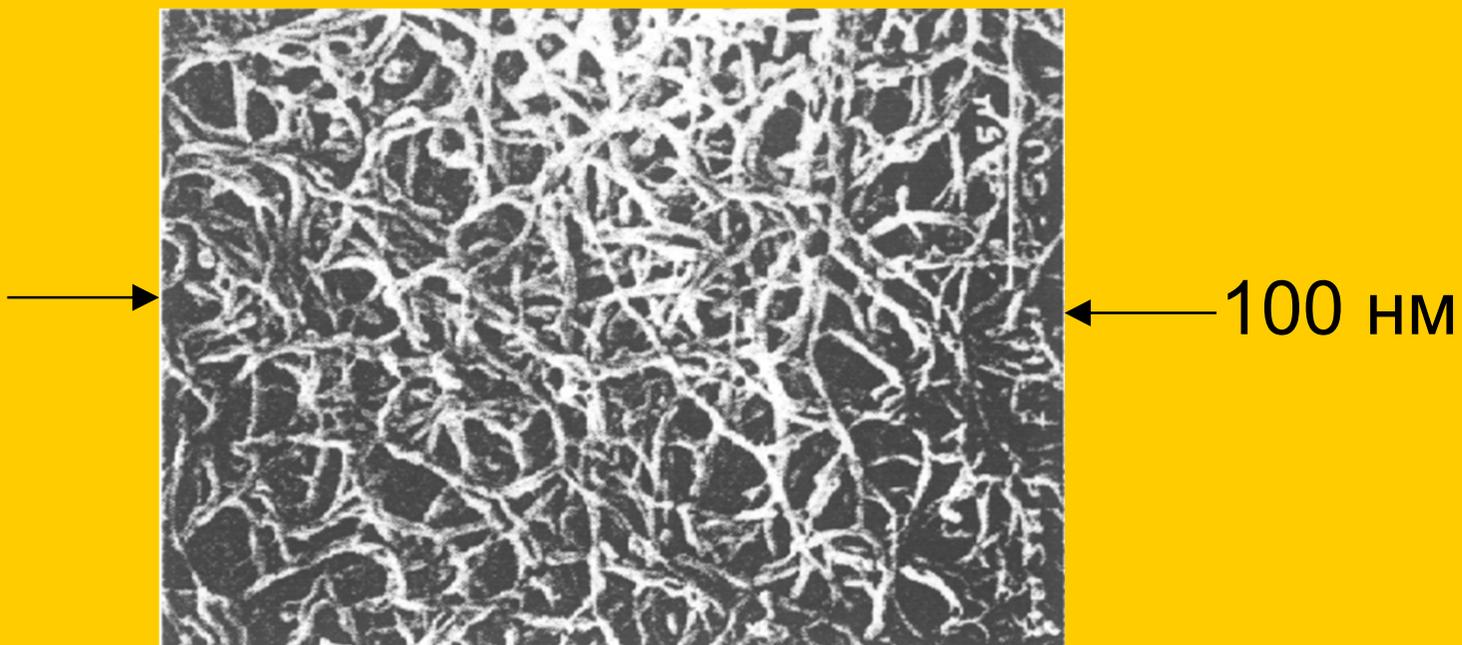


- В 70-е была открыта высокая проводимость в пленках полимеров с сопряженными связями.
- Сопряженные полимеры сочетают свойства пластиков и полупроводников

Спектр поглощения нанополиацетилена



$(\text{CN})_x$ Ширакавы: фибриллярная морфология



Electron micrograph
from Shirakawa and Ikeda, 1979/1980

π -сопряженные полимеры

Нобелевская премия по химии 2000:

*"for the discovery and development
of conductive polymers"*

Люминесцирующие:
светодиоды, дисплеи,
лазеры

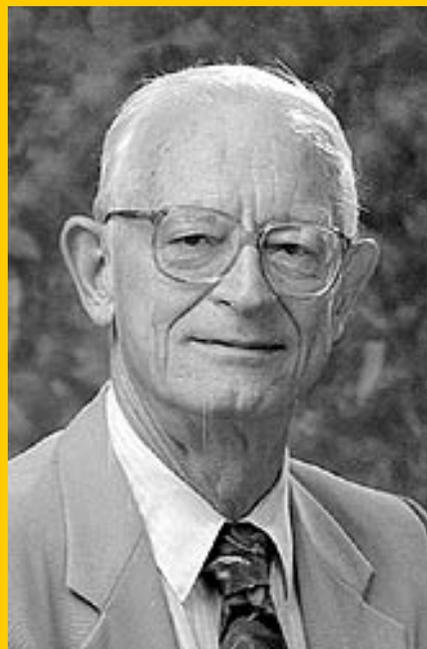
Проводящие:
TFT, пластиковые чипы

Нелюминесцирующие:
нелинейная оптика,
фотоэлементы

Нобелевская премия по химии за 2000 г.



Алан Хигер
(Alan J. Heeger), р. 1936



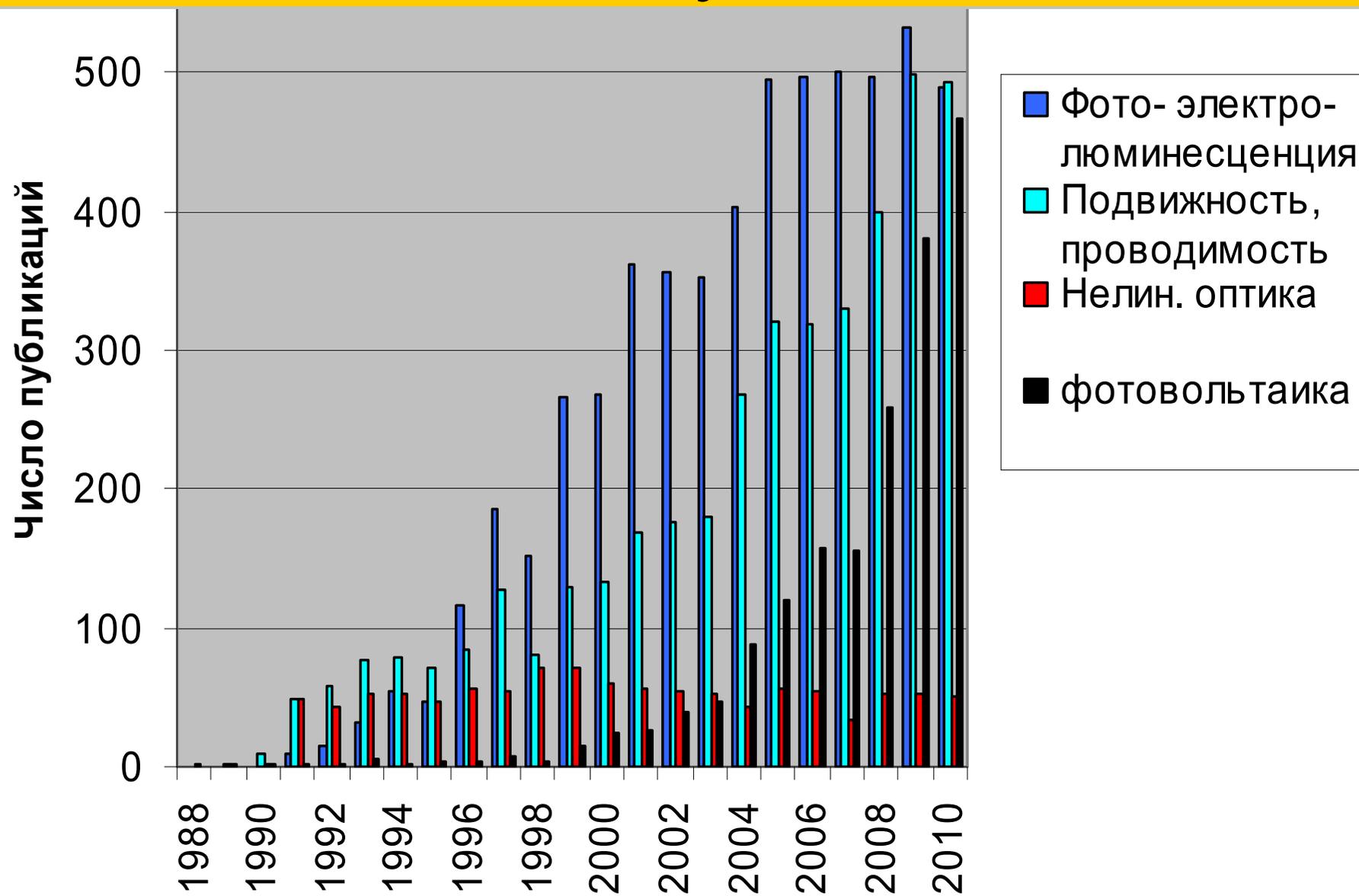
Алан Мак-Диармид
(Alan G. MacDiarmid)
1927 - 2007



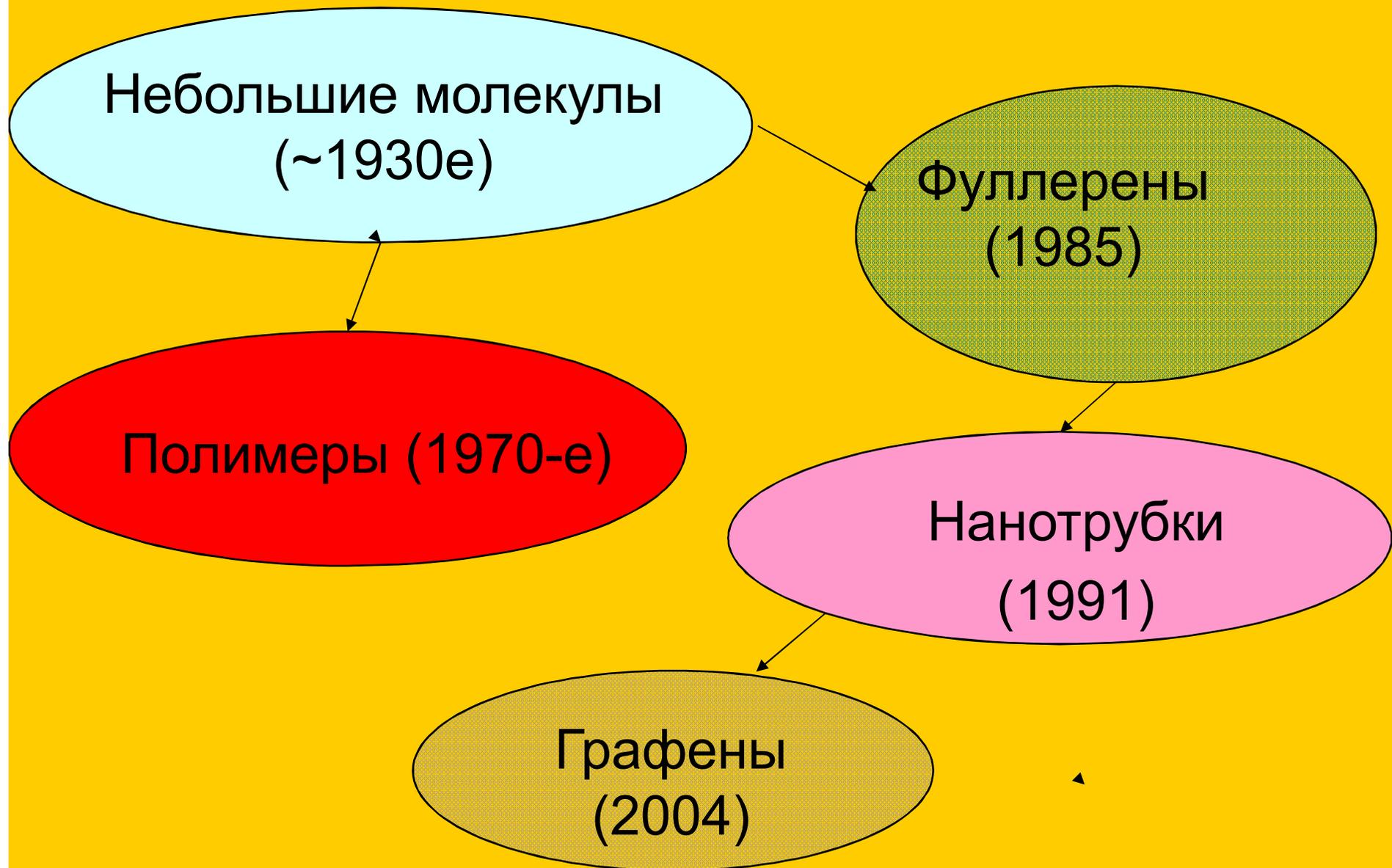
Хидеки Ширакава
(Hideki Shirakawa), р. 1936

за “открытие и развитие проводящих полимеров”

π -сопряженные полимеры: динамика публикаций

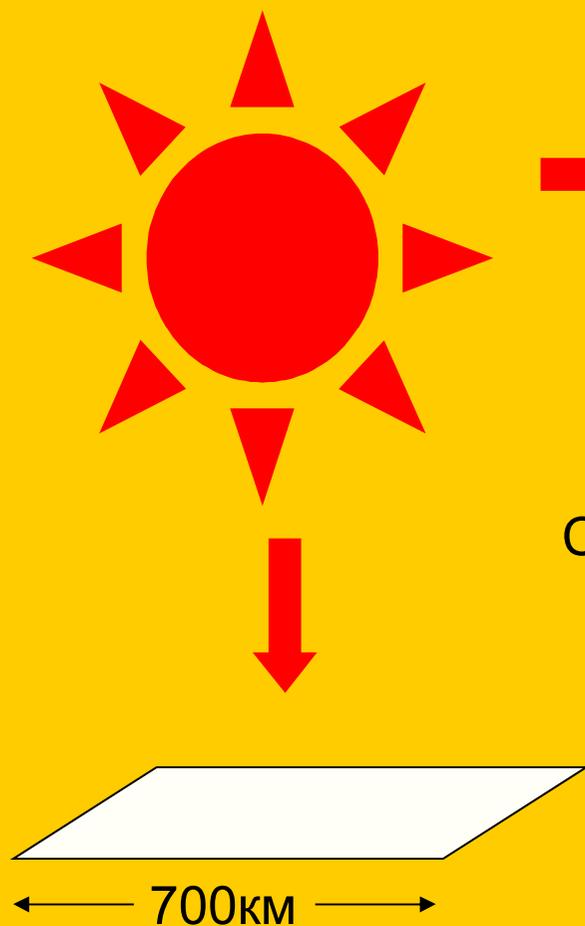


«Строительные блоки» π -сопряженных материалов



Перспективы применения π -сопряженных материалов

Глобальная энергетическая проблема и солнечная фотоэнергетика



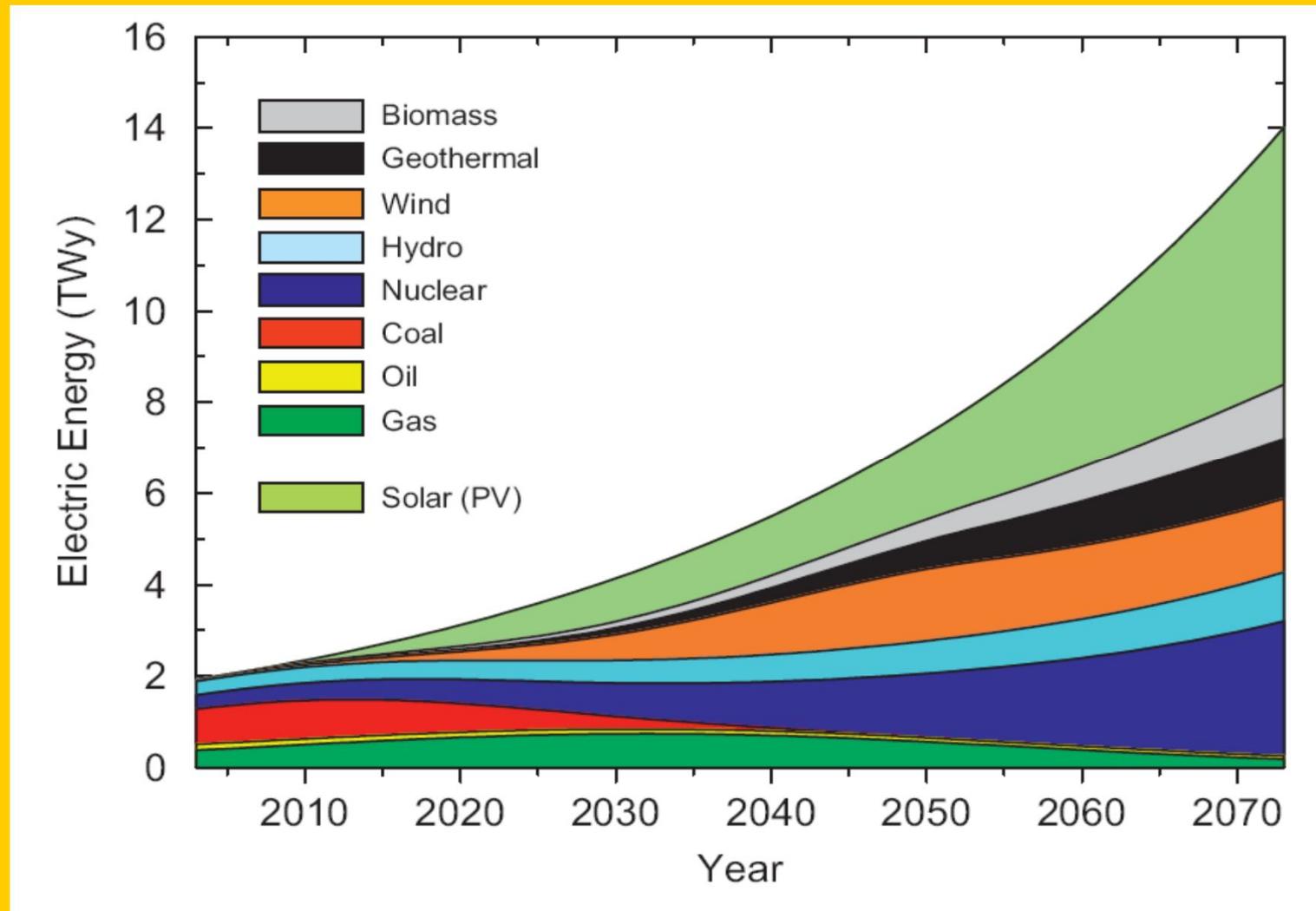
→ $3 \cdot 10^{24}$ Дж в год на Землю, 100 ПВт

Сейчас надо на 4 порядка меньше:

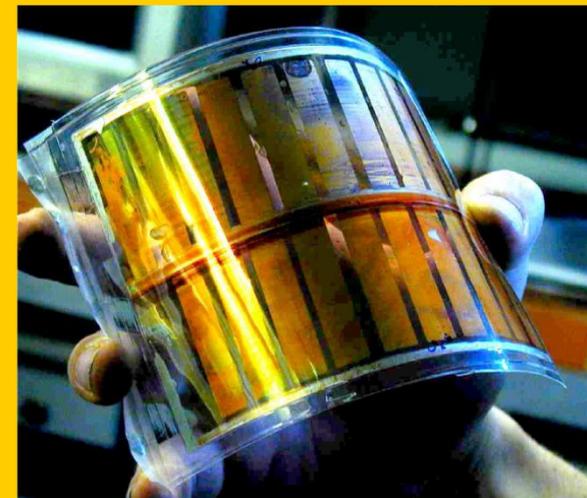
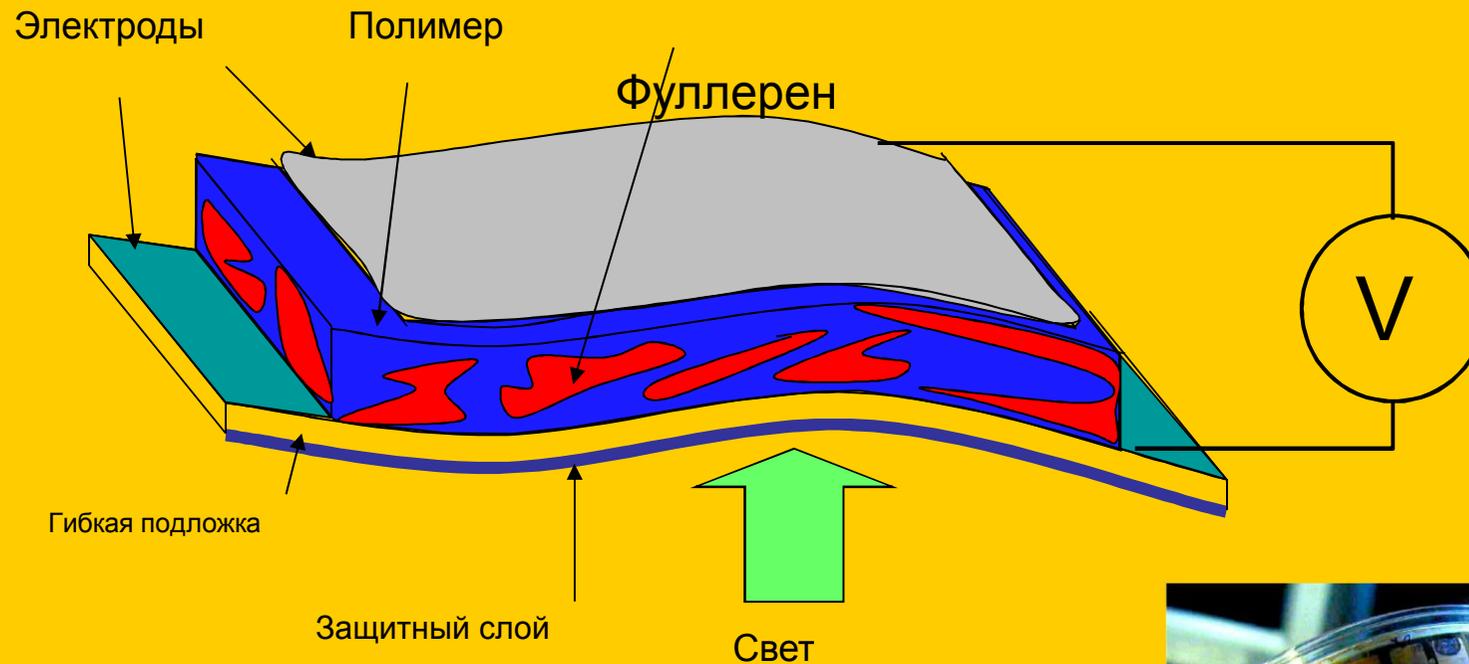
- 10 ТВт
- Необходимо покрытие 0.1% поверхности Земли ячейками с 10% эффективностью

Фотоэнергетика сегодня: 1 ГВт

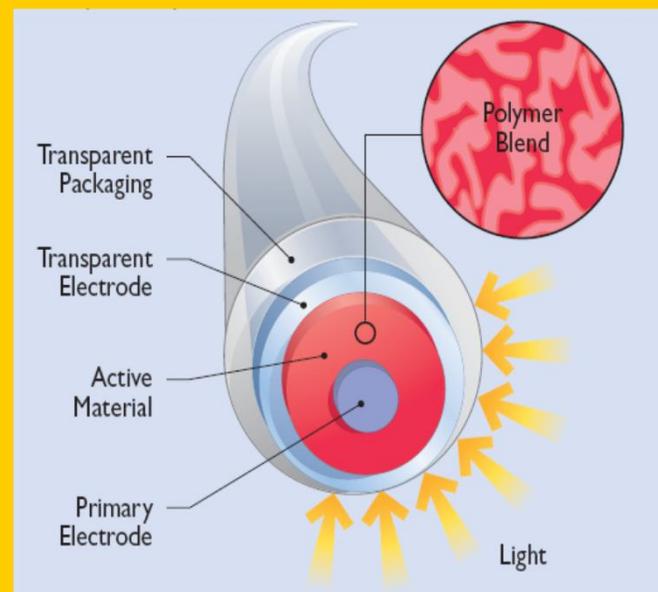
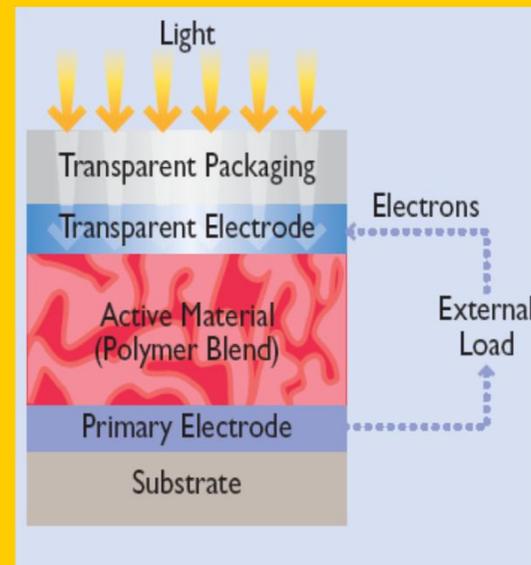
Ожидаемое мировое производство электроэнергии



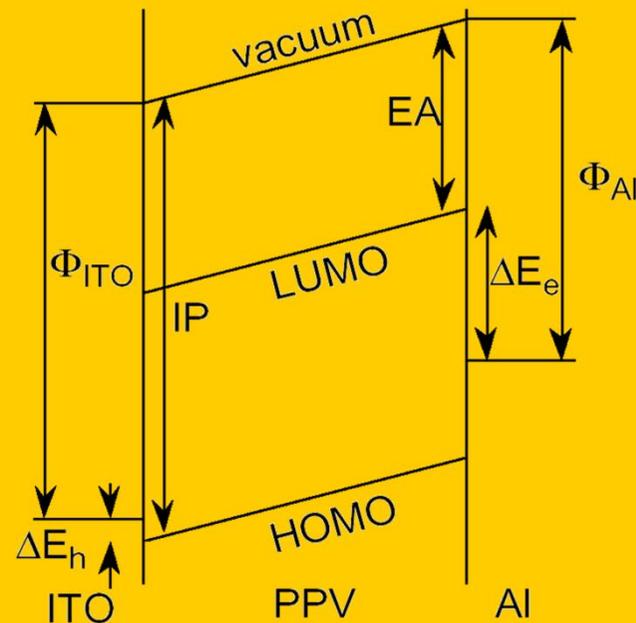
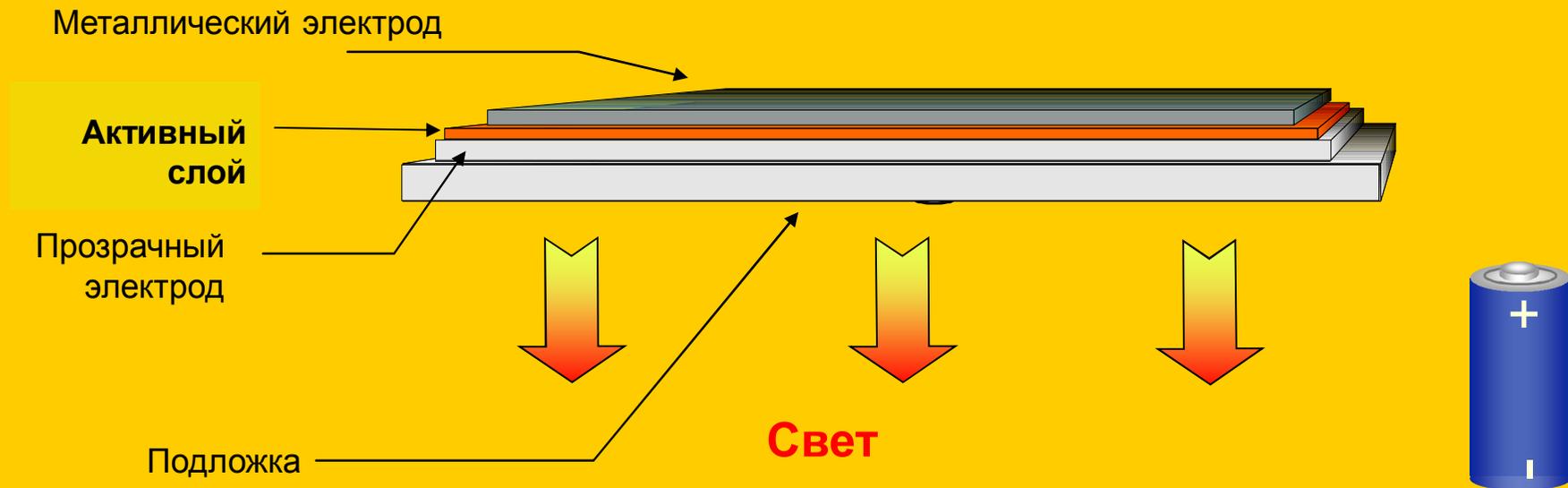
Фотоэлектрический эффект: полимерные фотоэлементы



Гибкие солнечные фотоэлементы



Явление электролюминесценции: органический светодиод



Материалы для органических светодиодов

сопряженные
полимеры

«мокрые» технологии

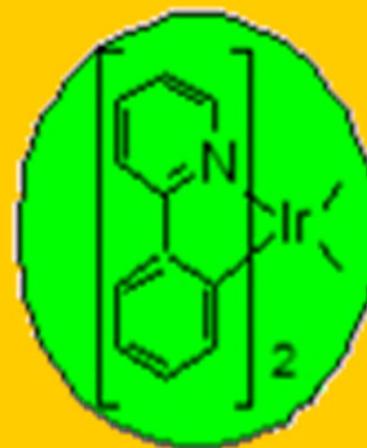
низкомолекулярные
(металлорганические
комплексы)

вакуумное напыление

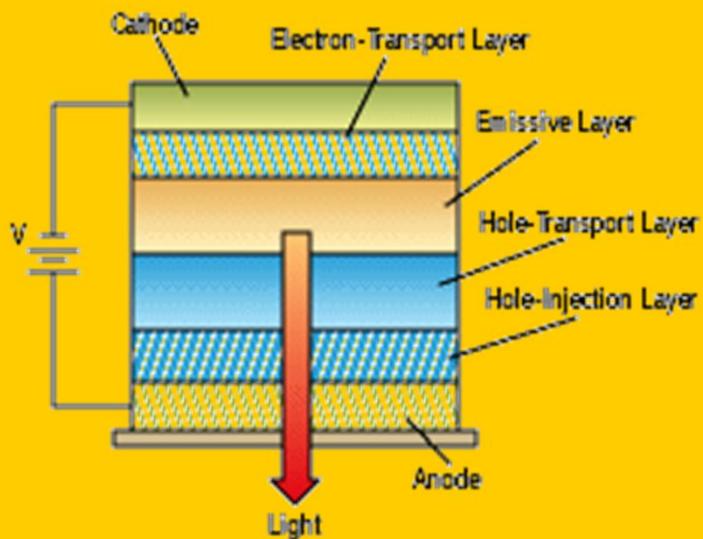
Материалы для низкомолекулярных ОСД



Гидроксихинолят Al (Alq3)
Кодак, ~1986



Комплекс иридия

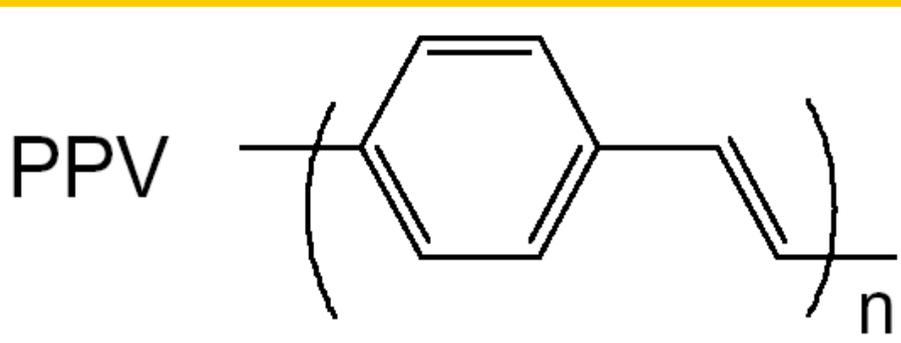


Открытие электролюминесценции в сопряженном полимере

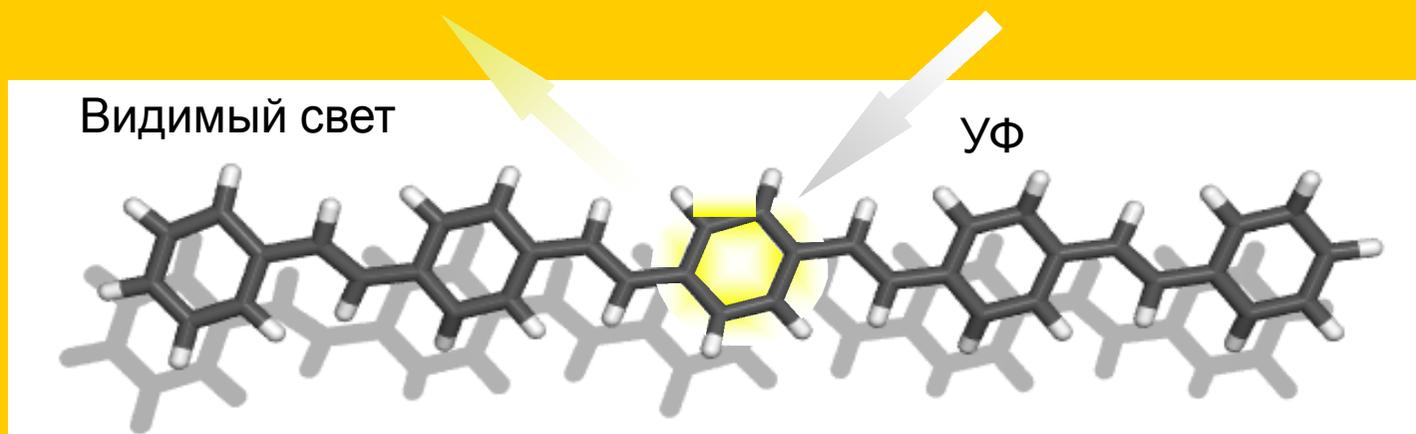


Сэр Ричард Френд

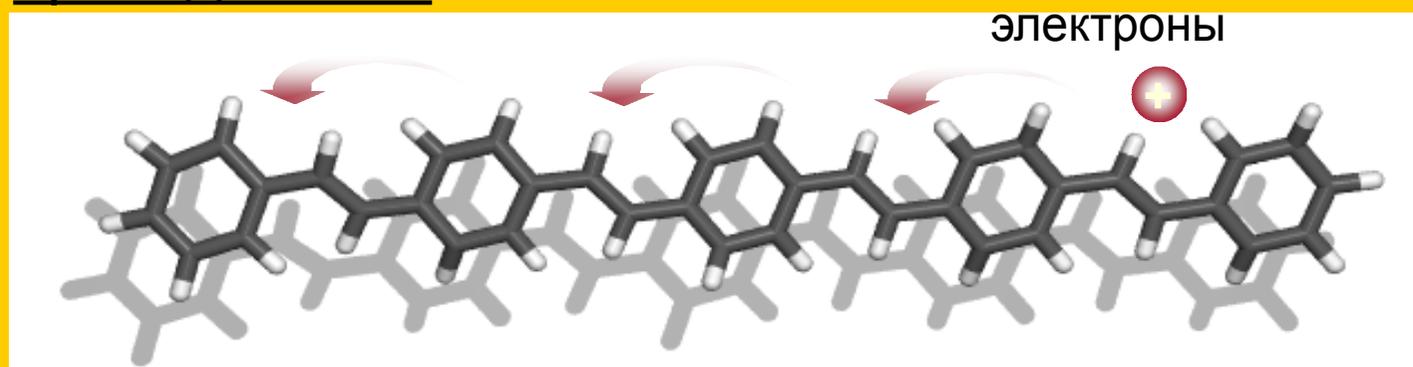
Burroughes, J.H. *et al.* Light-emitting diodes based on conjugated polymers. *Nature* **347**, 539-41 (1990).



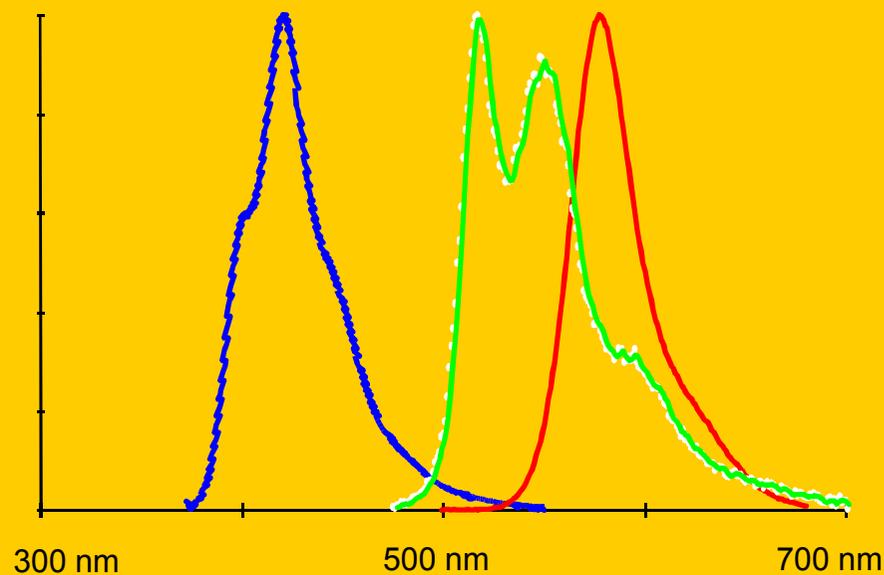
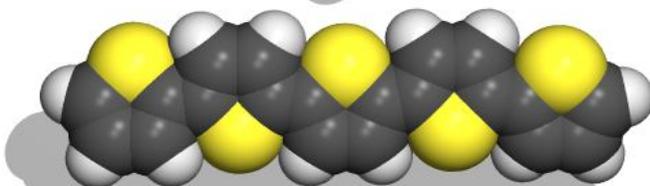
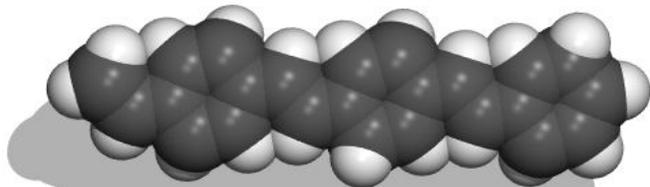
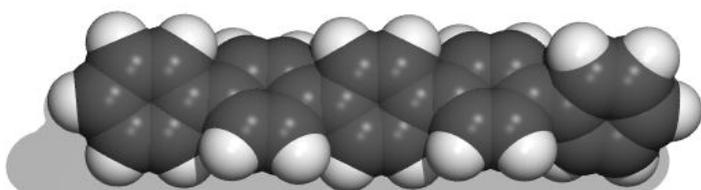
Полимер должен люминесцировать



и проводить ток



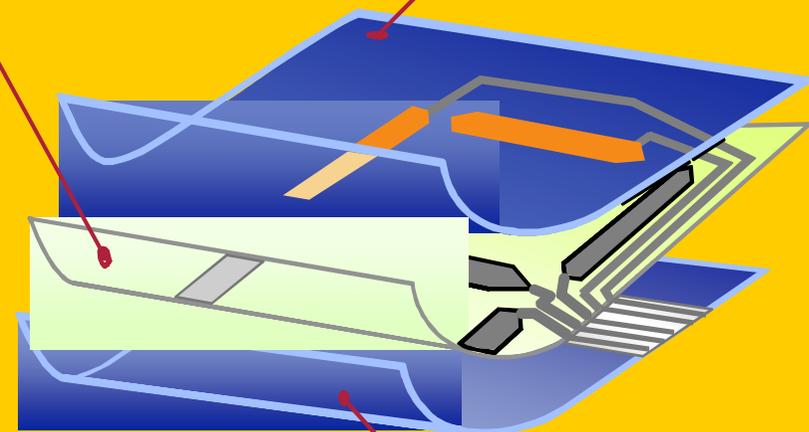
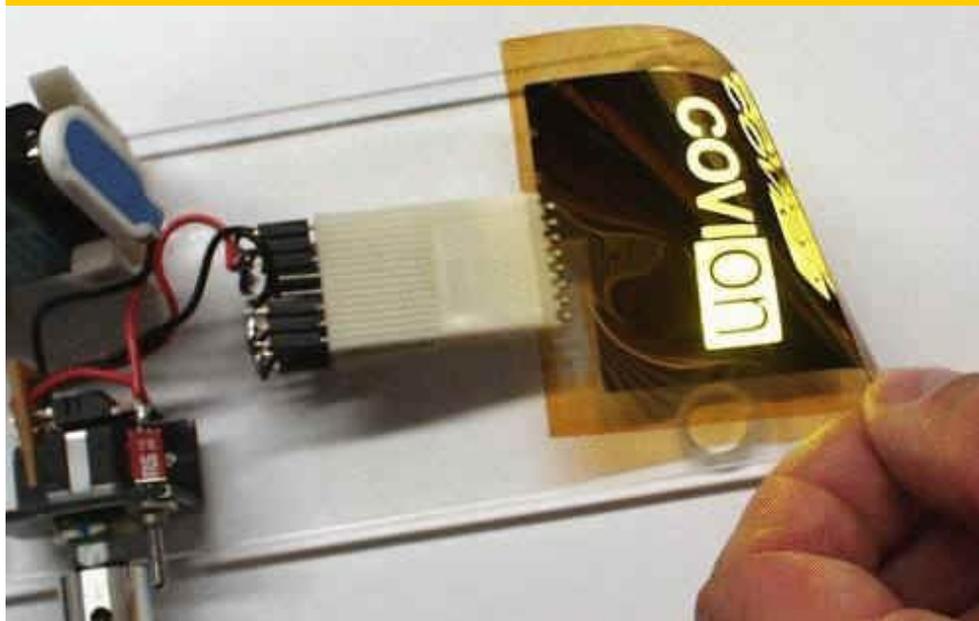
Модификация полимера – другой цвет



На пути к гибким дисплеям

Светоизлучающая пленка

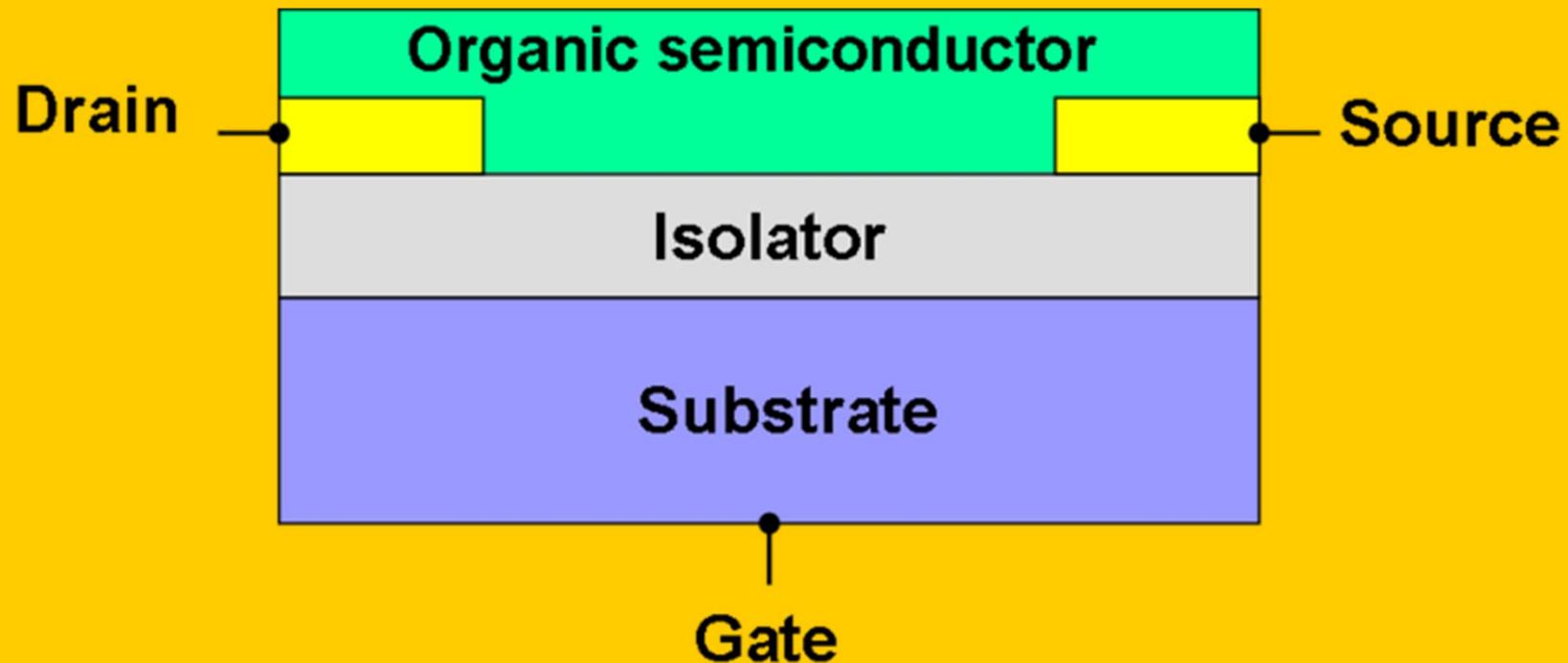
Прозрачный
защитный слой



Защитный слой

Органические полевые транзисторы

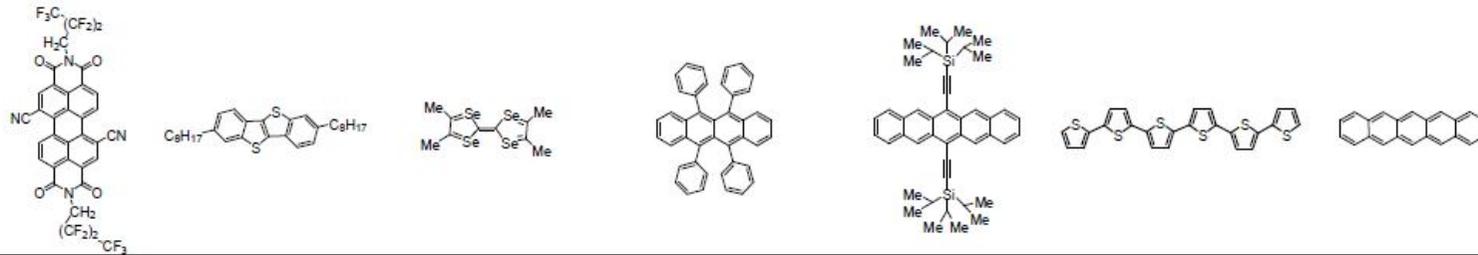
первый транзистор 1987 г.



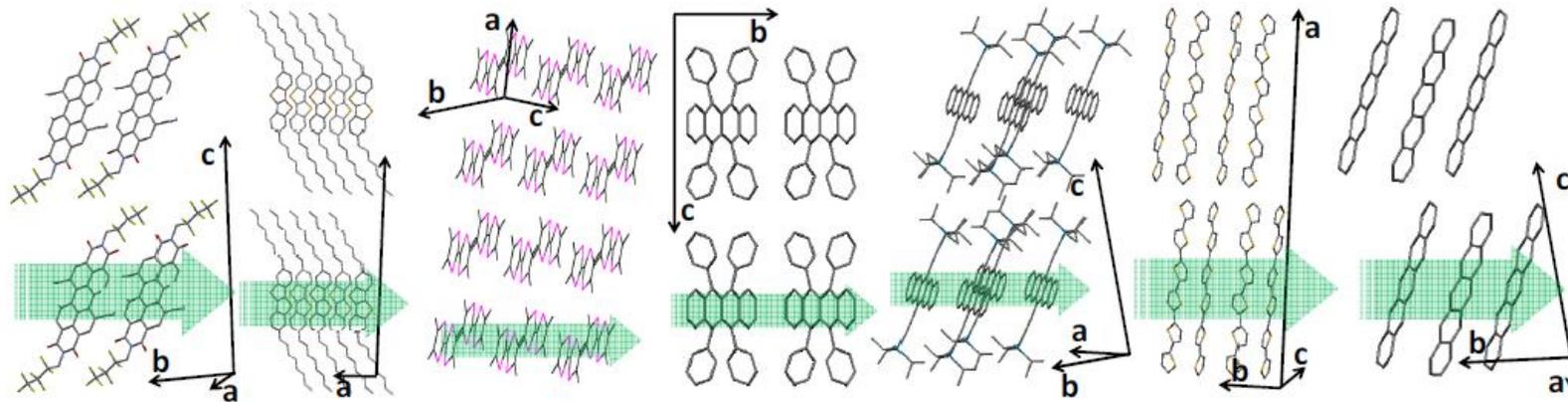
- Подвижность, лучше до $20 \text{ cm}^2/\text{V s}$
- On/off отношение
- пороговое напряжение, частота

Лучшие материалы для ОПТ

Molecular Structure



Crystal Structure



Maximum Single-Crystal FET Mobility (cm^2/Vs)

HT	6.0	9.1	4.0	20	1.8	0.13	2-3
LT	10.8	11.0	6.0	35	6.0	-	-

Молекула фуллерена C_{60} , 1985

• 1996 г. Г. Крото, Р. Смолли, Р. Керл Нобелевская премия по химии

162

LETTERS TO NATURE

NATURE VOL. 318 14 NOVEMBER 1985

C_{60} : Buckminsterfullerene

H. W. Kroto^{*}, J. R. Heath, S. C. O'Brien, R. F. Curl
& R. E. Smalley

Rice Quantum Institute and Departments of Chemistry and Electrical Engineering, Rice University, Houston, Texas 77251, USA

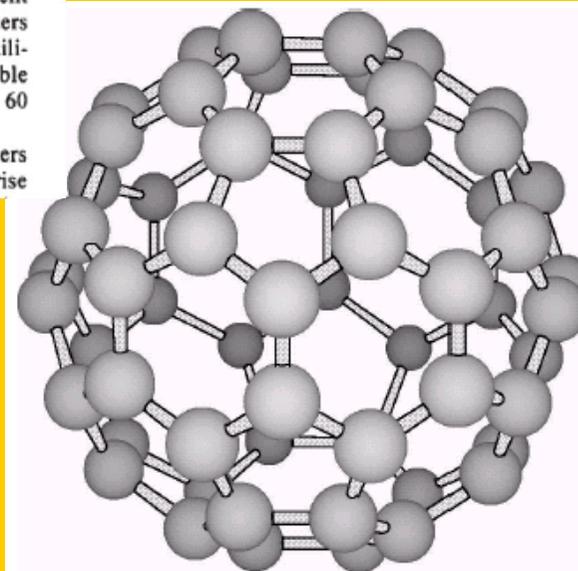
During experiments aimed at understanding the mechanisms by which long-chain carbon molecules are formed in interstellar space and circumstellar shells¹, graphite has been vaporized by laser irradiation, producing a remarkably stable cluster consisting of 60 carbon atoms. Concerning the question of what kind of 60-carbon atom structure might give rise to a superstable species, we suggest a truncated icosahedron, a polygon with 60 vertices and 32 faces, 12 of which are pentagonal and 20 hexagonal. This object is commonly encountered as the football shown in Fig. 1. The C_{60} molecule which results when a carbon atom is placed at each vertex of this structure has all valences satisfied by two single bonds and one double bond, has many resonance structures, and appears to be aromatic.

Fig. 1 A football (in the United States, a soccerball) on Texas grass. The C_{60} molecule featured in this letter is suggested to have the truncated icosahedral structure formed by replacing each vertex on the seams of such a ball by a carbon atom.



graphite fused six-membered ring structure. We believe that the distribution in Fig. 3c is fairly representative of the nascent distribution of larger ring fragments. When these hot ring clusters are left in contact with high-density helium, the clusters equilibrate by two- and three-body collisions towards the most stable species, which appears to be a unique cluster containing 60 atoms.

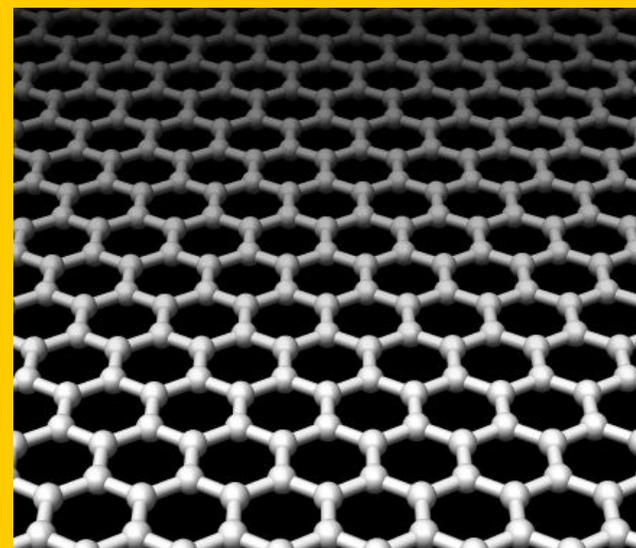
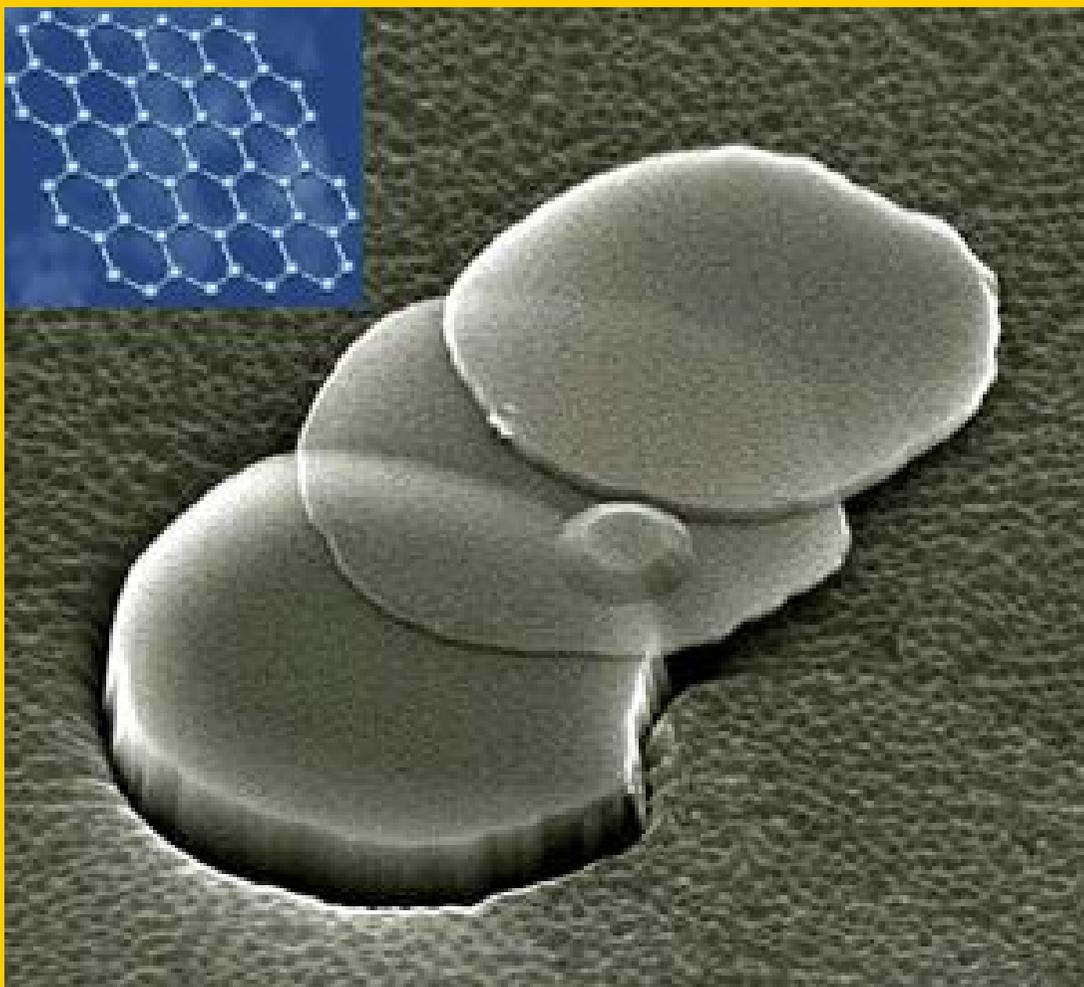
When one thinks in terms of the many fused-ring isomers with unsatisfied valences at the edges that would naturally arise



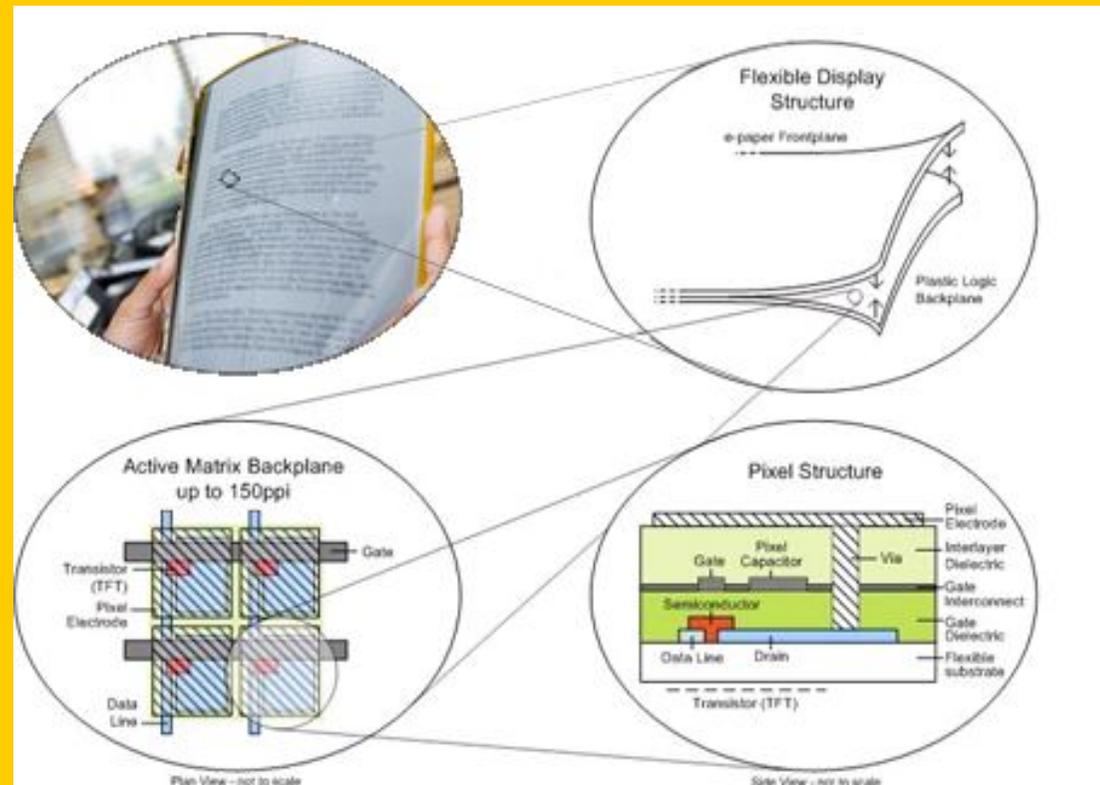
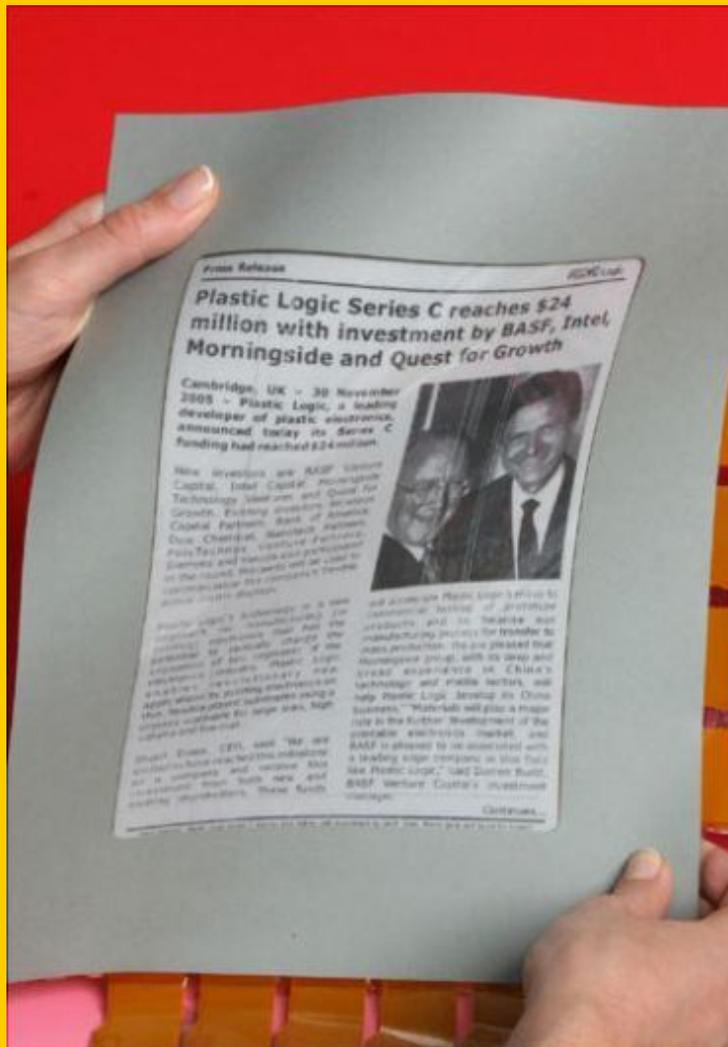
Графен – графитовый монослой

Гейм А.К. Новоселов К.С. Science, 2004

Нобелевская премия по физике 2010 г.



Электронная бумага



PlasticLogic

Полимерные лазеры

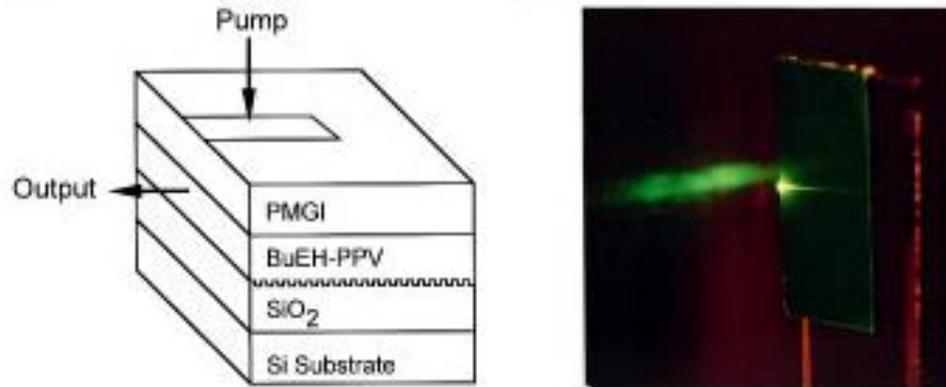
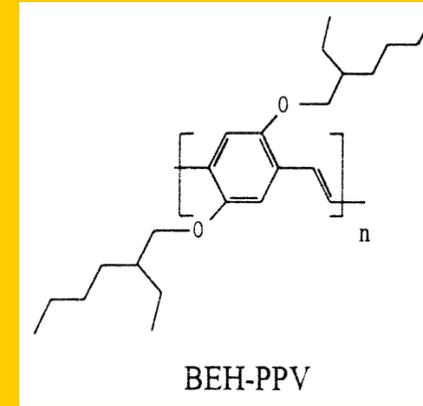
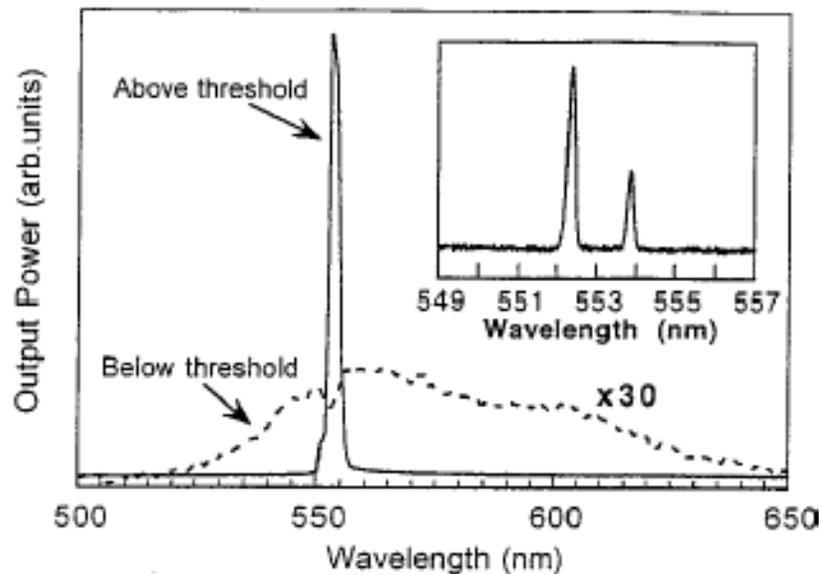


FIG. 1. (a) Schematic of the DFB laser structure and pumping configuration. The width of the pump stripe was 0.2 mm. The length of the pump stripe was typically between 0.5 and 2 mm. The thicknesses of the PMGI, BuEH-PPV, and SiO₂ layers were 1 μm, 0.15–0.35 μm, and 1 μm, respectively.



$$\text{DFB: } \lambda_{\text{Bragg}} = 2n_{\text{eff}}\Lambda$$

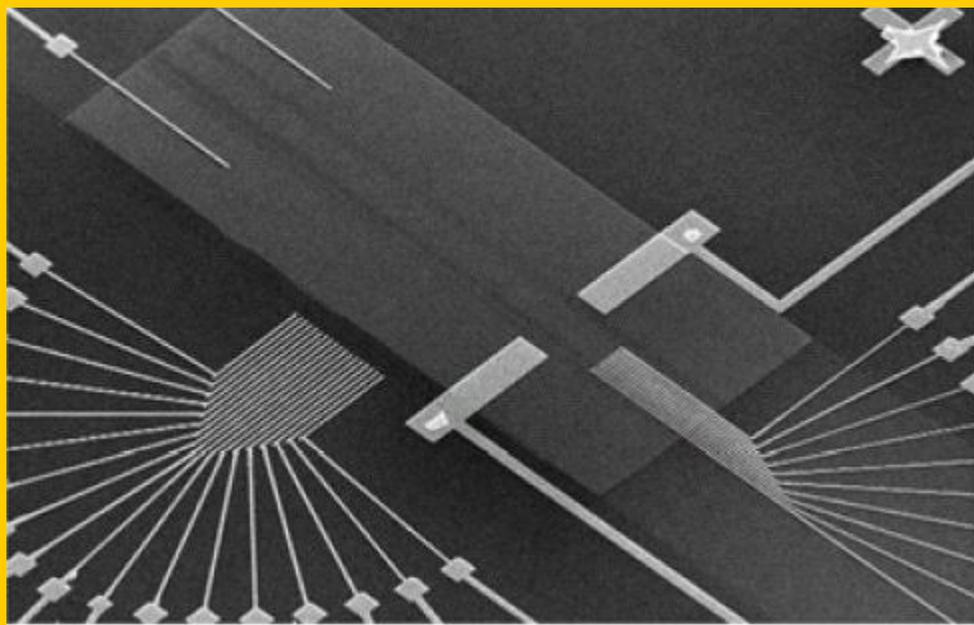
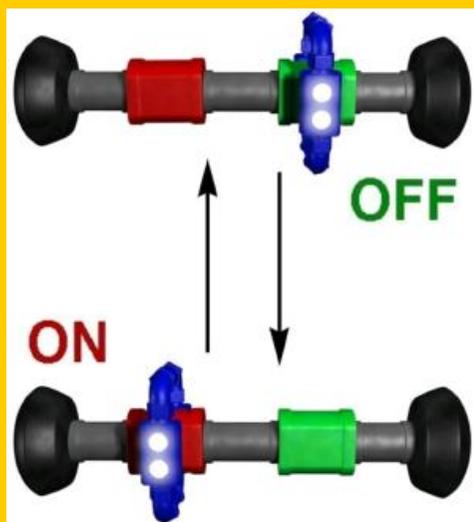


Накачка: 435нм, 10нс,
~1кВт/см², 100нДж

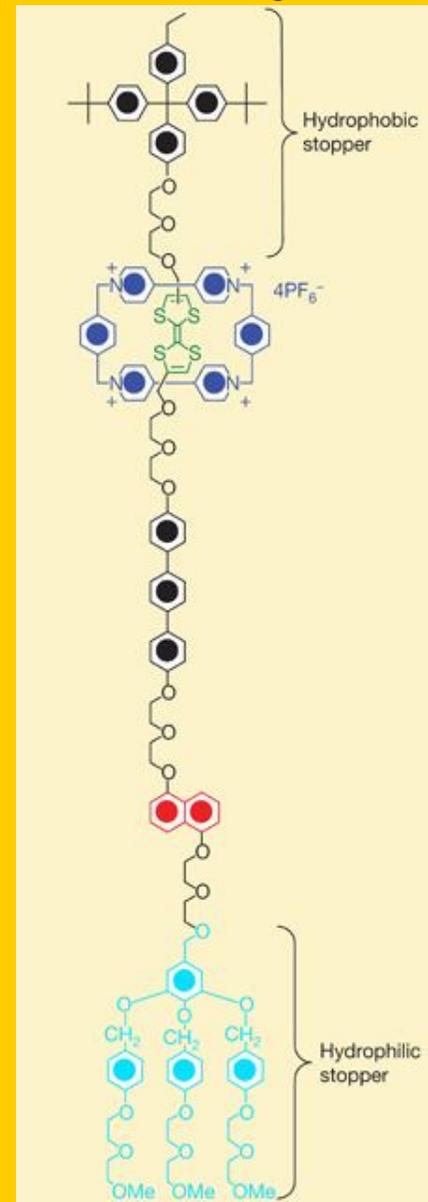
$$\Delta\lambda = 0.2 \text{ нм}$$

APL 72 1536 (1998)

Память на органических молекулах: 100Гбит/см²



400x400 Si/Ti проводов, шаг 30нм, 20кб



10x18 бит

Nature. 2007. V. 445, P. 414–417.