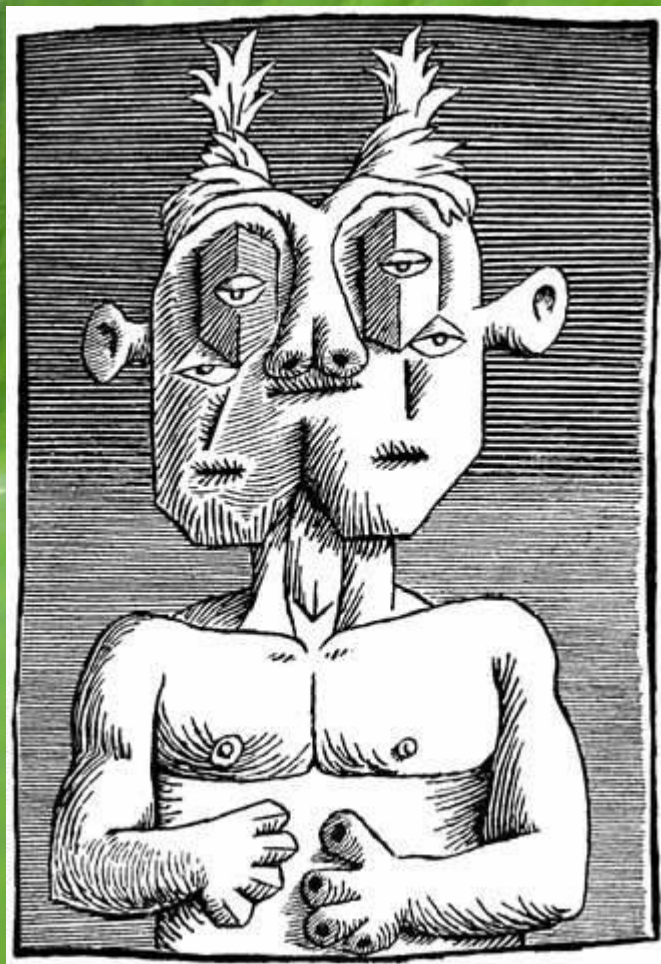


Co to są półprzewodniki?



Jak TO działa? <http://www.fuw.edu.pl/~szczytko/>

Firefox

Jacek Szczytko homepage

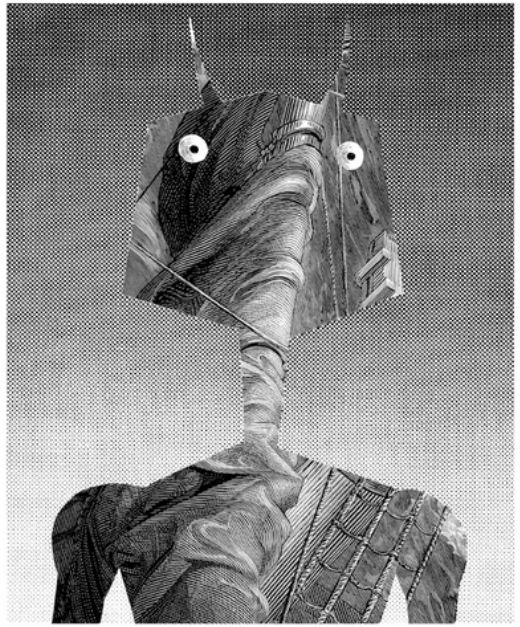
[www.fuw.edu.pl/~szczytko/index_JTD.html](#)

Google

Jacek Szczytko Faculty of Physics, University of Warsaw

home research publications **teaching** students career

Jak TO działa? Urządzenia kwantowe. 1100-3JTD (3 ECTS)



W semestrze zimowym 2013/14 serdecznie zapraszam na wykład z doświadczeniami pt. "Jak TO działa? Urządzenia kwantowe."

Atutem Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego jest nie tylko wysokiej klasy kadra naukowa, ale także unikatowe możliwości demonstrowania różnego rodzaju zjawisk fizycznych. Kontakt studentów z prawdziwym eksperymentem przeprowadzanym na ich oczach w czasie wykładu pozwala zrozumieć sens praw fizyki zapisanych w języku matematyki, wyrabia intuicję, ćwiczy zdrowy rozsądek i zapada w pamięć.

wykład będący uzupełnieniem wykładu z fizyki kwantowej, Elektrodynamiki kwantowej itp. o pokazy i III roku Wydziału Fizyki. Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego specjalności mogłoby na własnym wykładzie kwantowe będące podstawą dla wielu dziedzin fizyki. Jest to o tyle ważne, że urządzenia działające dzięki efektom kwantowej (diody półprzewodnikowe, pamięci półprzewodnikowe, baterie, detektory promieniowania itp.) znajdują się w wielu dziedzinach techniki jesteśmy blisko osiągnięcia

limitu kwantowego miniaturyzacji (tranzystory w procesorach, rozmiar bitów na dysku twardym), wraz z rozwojem nanotechnologii

Teaching in Polish

- [Jak TO działa?](#)
- [Nowe technologie](#)
- [Wstęp do optyki i fizyki materii skondensowanej R](#)
- [Fizyka materii skondensowanej](#)
- [Fizyka materii skondensowanej II](#)
- [Fizyka we współczesnym świecie](#)

Google: Jacek Szczytko
Login: student
Hasło: *****

[Students Scientific Society](#)

Jak TO działa? <https://kampus-student2.ckc.uw.edu.pl>





Strona główna » 1100-JTD-OG, 1100-3JTD_2020/21Z

Włącz tryb edycji

Jak TO działa? Urządzenia kwantowe (1100-JTD-OG, 1100-3JTD) (semestr zimowy 2020/21)

Forum aktualności

Wykłady środy 17:15-18:45 na platformie Zoom

<https://us02web.zoom.us/j/83742912392?pwd=SEhySm5ZbU1nTUU5QmNNW9UVEp4UT09>

Meeting ID: 837 4291 2392

hasło: jtd

Wykład 1 - Technologie 'disruptive', czyli ciężkie życie futurologa

- Wykład 1 - Technologie 'disruptive', czyli ciężkie życie futurologa
- Test 1 - Disruptive technologies
- Wykład 1 - Czat
- Wykład 1 - Nagranie

ADMINISTRACJA

- Administracja kursem
 - Włącz tryb edycji
 - Edytuj ustawienia
 - Użytkownicy
 - Filtry
 - Raporty
- Oceny
- Efekty kształcenia
- Odzniki
- Import
- Reset
 - Baza pytań
- Repozytoria
- Kosz
- Ustawienia dodatkowe

Zmień rolę na...

NAJNOWSZE WIADOMOŚCI

Dodaj nowy temat...

Zoom do wykładu
21 paź, 00:35 Jacek Szczytko

Wykład 1 - Technologie 'disruptive', czyli ciężkie życie futurologa
21 paź, 00:34 Jacek Szczytko

Starsze tematy ...

Our World
in Data

Moore's law describes the empirical regularity that the number of transistors on integrated circuits doubles approximately every two years. This advancement is important as other aspects of technological progress – such as processing speed or the price of electronic products – are linked to Moore's law.



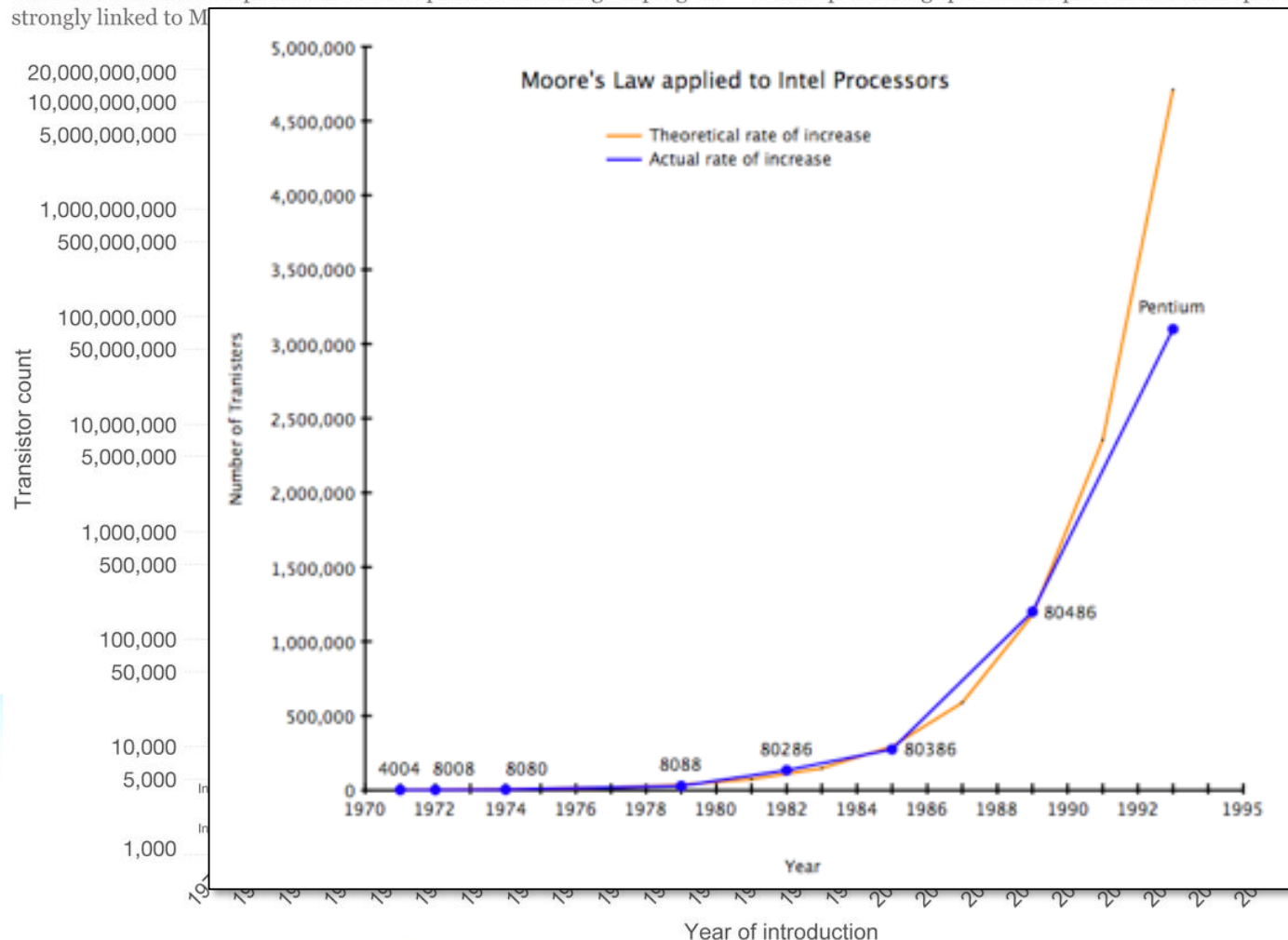
Licensed under [CC-BY-SA](#) by the author Max Roser.

TRENDY: Prawo Moore'a

Moore's Law – The number of transistors on integrated circuit chips (1971-2016)

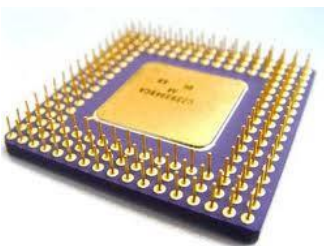
Our World
in Data

Moore's law describes the empirical regularity that the number of transistors on integrated circuits doubles approximately every two years. This advancement is important as other aspects of technological progress – such as processing speed or the price of electronic products – are strongly linked to M



Core i7
Core Xeon Broadwell-E5
Core i7 Ivy Bridge-EX
Core i7-core ARM64 "mobile SoC")
Core i7 Haswell-E
Core i7 + GPU Iris Core i7 Broadwell-E
Core i7 + GPU GT2 Core i7 Skylake K
Core i7 GPU Core i7 Haswell
Core i7-core ARM64 "mobile SoC")

Ilość komponentów (tranzystory, połączenia, izolacje itd.) w IC podwaja się co około 18 miesięcy.



Data source: Wikipedia (https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor_count)

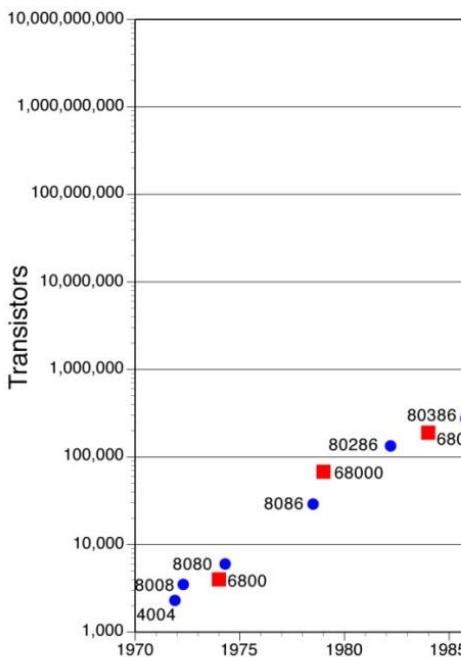
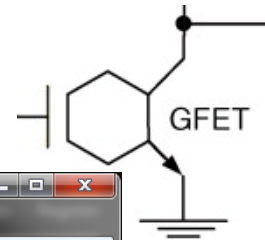
The data visualization is available at OurWorldinData.org. There you find more visualizations and research on this topic.

Licensed under CC-BY-SA by the author Max Roser.

TRENDY: Prawo Moore'a



nanotechnologia,
memrystory



Firefox

Carbon nanotube computer: Nature: N...

www.nature.com/nature/journal/v501/n7468/full/nature12502.html

nature.com : Publications A-Z index

Search Go

Home | News & Comment | Research | Careers & Jobs | Current Issue | Archive | Audio & Video | For Authors

Archive > Volume 501 > Issue 7468 > Letters > Article

ARTICLE PREVIEW

view full access options

NATURE | LETTER

日本語要約

Carbon nanotube computer

Max M. Shulaker, Gage Hills, Nishant Patil, Hai Wei, Hong-Yu Chen, H.-S. Philip Wong & Subhasish Mitra

Affiliations | Contributions | Corresponding author

Nature **501**, 526–530 (26 September 2013) | doi:10.1038/nature12502

Received 12 May 2013 | Accepted 24 July 2013 | Published online 25 September 2013

Citation | Reprints | Rights & permissions | Article metrics

The miniaturization of electronic devices has been the principal driving force behind the semiconductor industry, and has brought about major improvements in computational power

Editor's summary

Carbon nanotubes have long been touted as promising building blocks for computers based on carbon rather than silicon. A main motivation towards this goal is the potential for circuits using carbon na...

Associated links

News & Views

Electronics: The carbon-nanotube computer has arrived

by Kreupl

Editors' pick

The case of the missing heat: why the

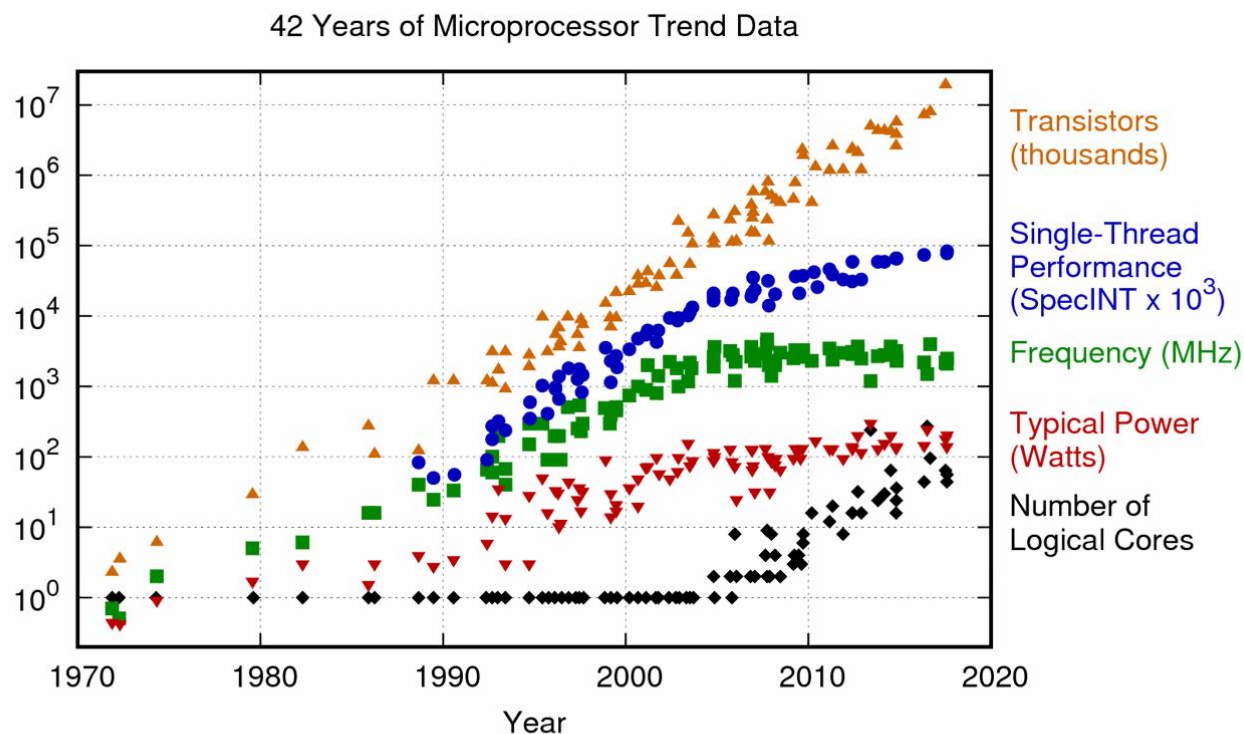
zne



TRENDY: Prawo Moore'a



Breakdown of Dennard scaling



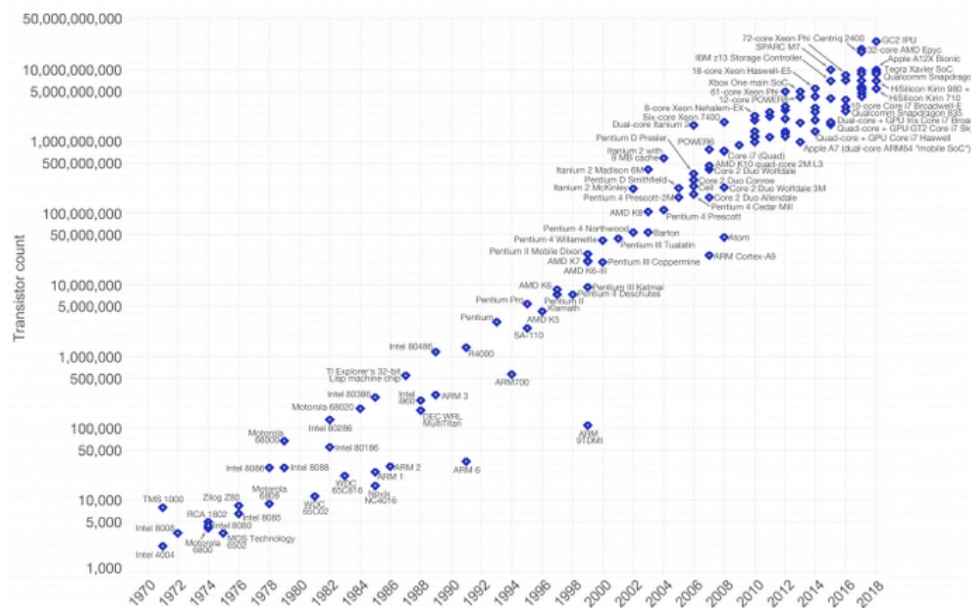
Original data up to the year 2010 collected and plotted by M. Horowitz, F. Labonte, O. Shacham, K. Olukotun, L. Hammond, and C. Batten
New plot and data collected for 2010-2017 by K. Rupp

Rainer Mahrt - rfm@zurich.ibm.com

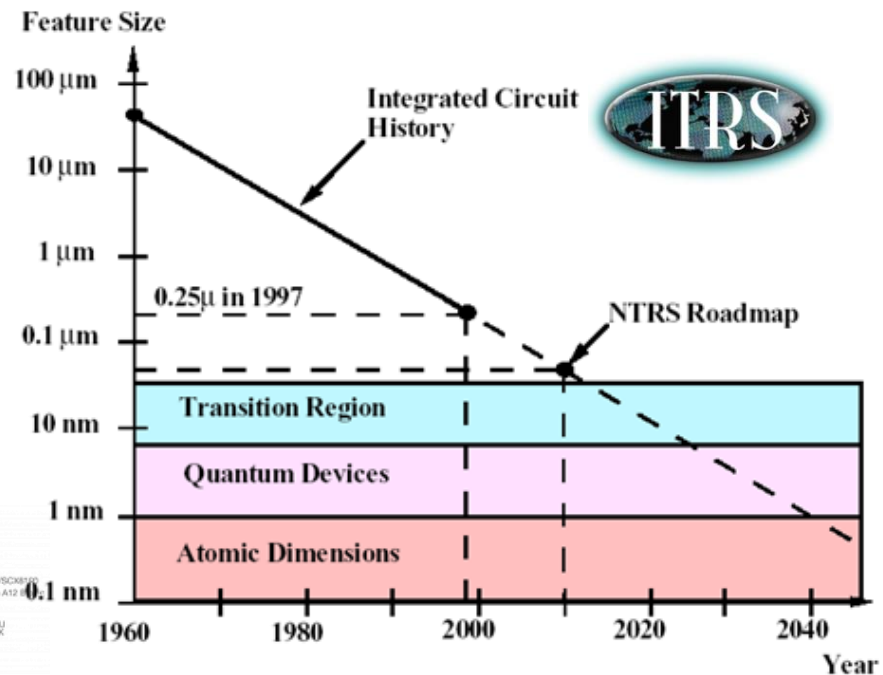
© 2019 IBM Corporation

TRENDY: Prawo Moore'a

Ilość komponentów (tranzystory, połączenia, izolacje itd.) w IC podwaja się co około 18 miesięcy. Rozmiar liniowy komponentów również zmniejsza się wykładniczo w czasie.



Źródło: Our World in Data

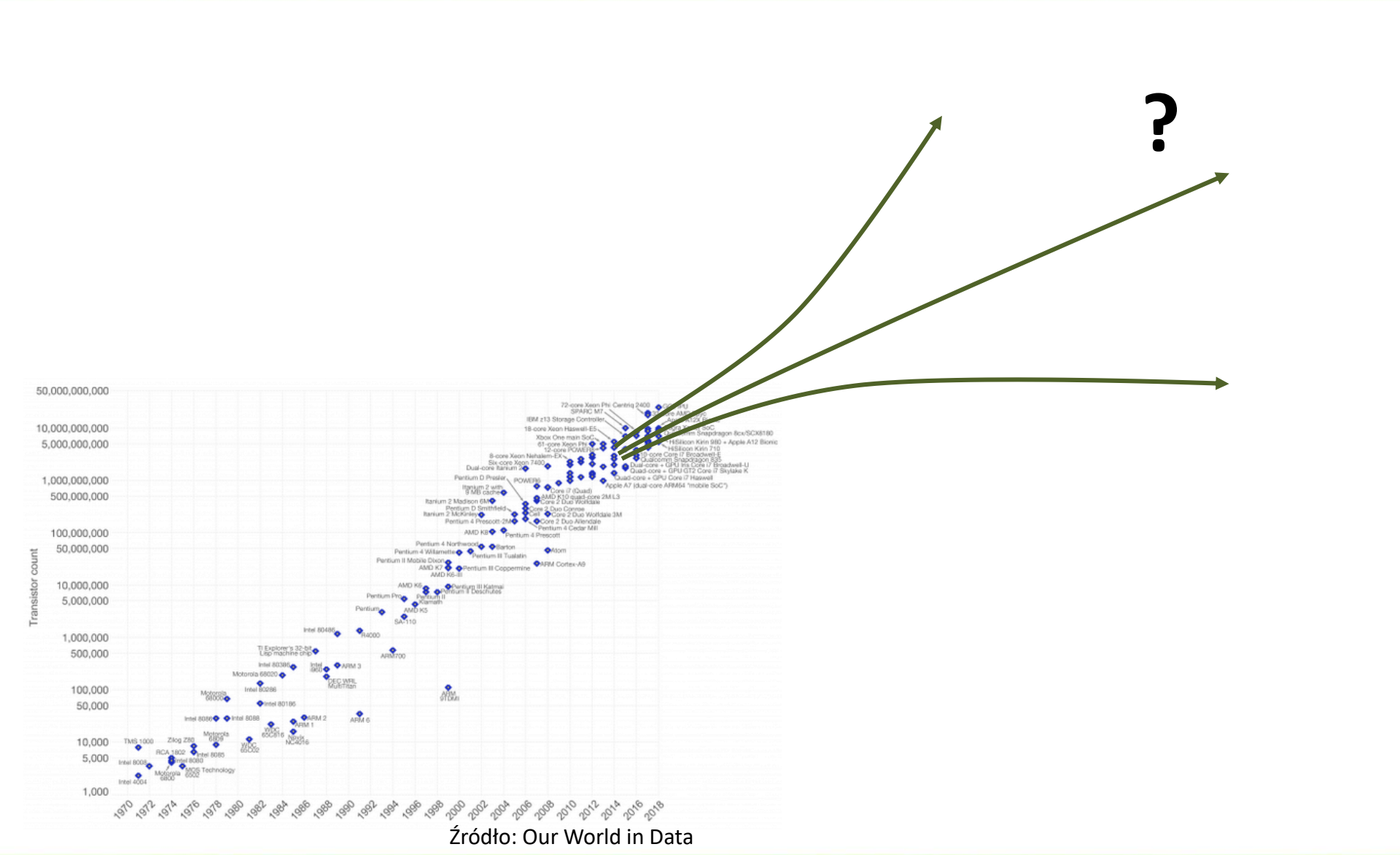


Źródło: Intel

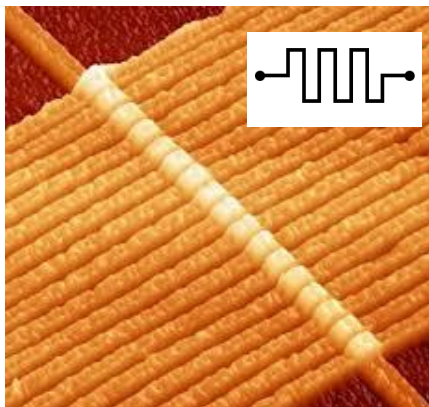
Te trendy nie mogą być kontynuowane w nieskończoność.

- Co zastąpi technologię Si?
- Z czego będzie wynikała ta zmiana technologii?

TRENDY: Prawo Moore'a

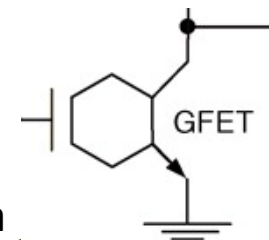


TRENDY: Prawo Moore'a



nanotechnologia,
memrystory
komputery kwantowe

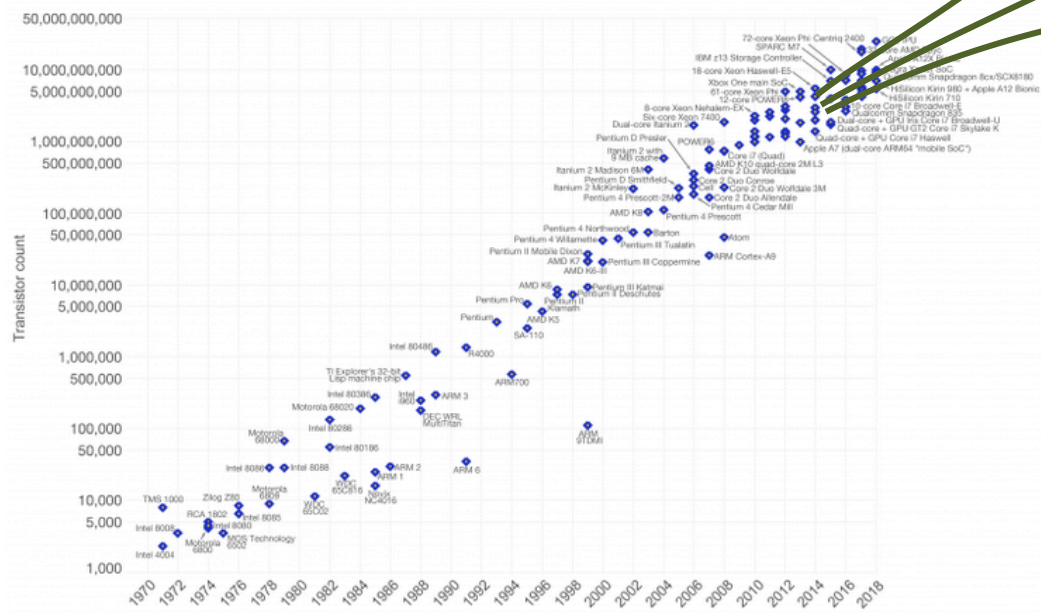
HP



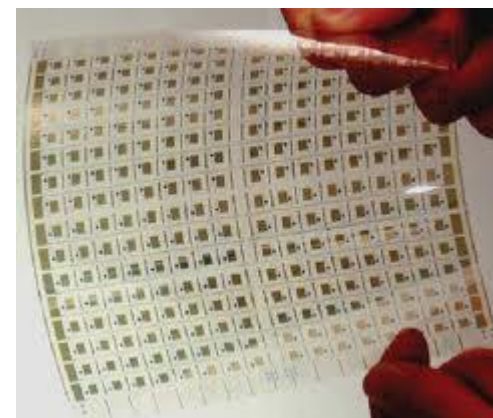
nanotechnologia
grafen

materiały organiczne

koniec prawa Moore'a



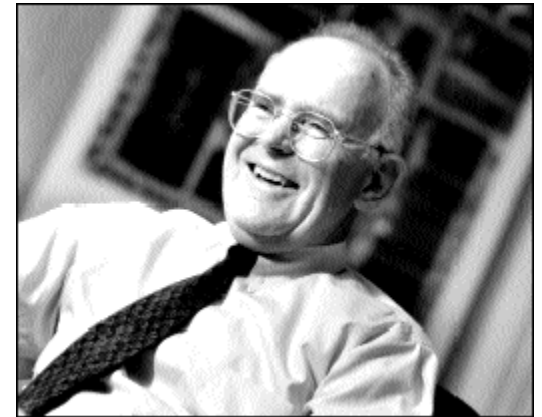
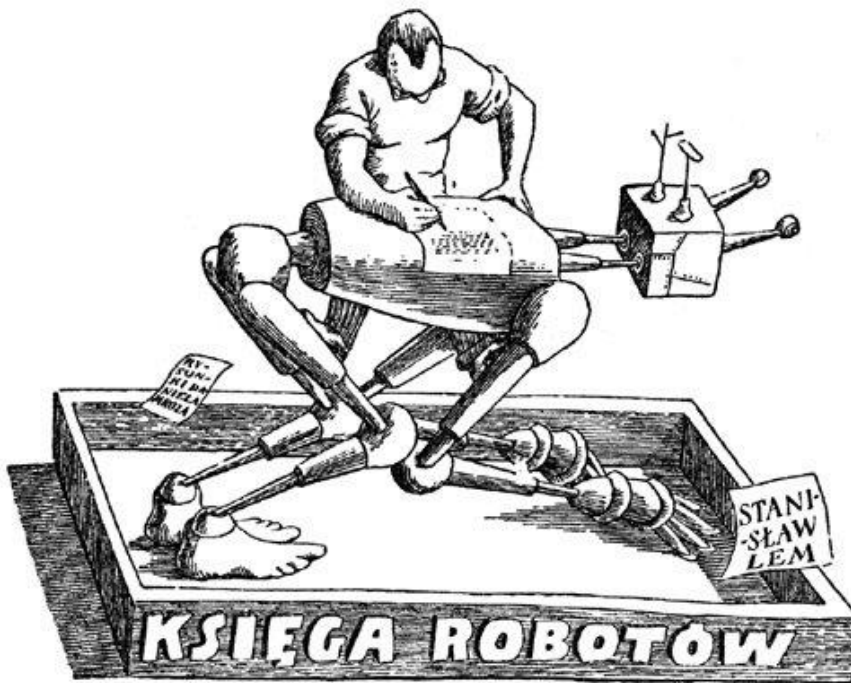
Źródło: Our World in Data



TRENDY: Prawo Moore'a

NO EXPONENTIAL IS FOREVER...
BUT WE CAN DELAY „FOREVER”

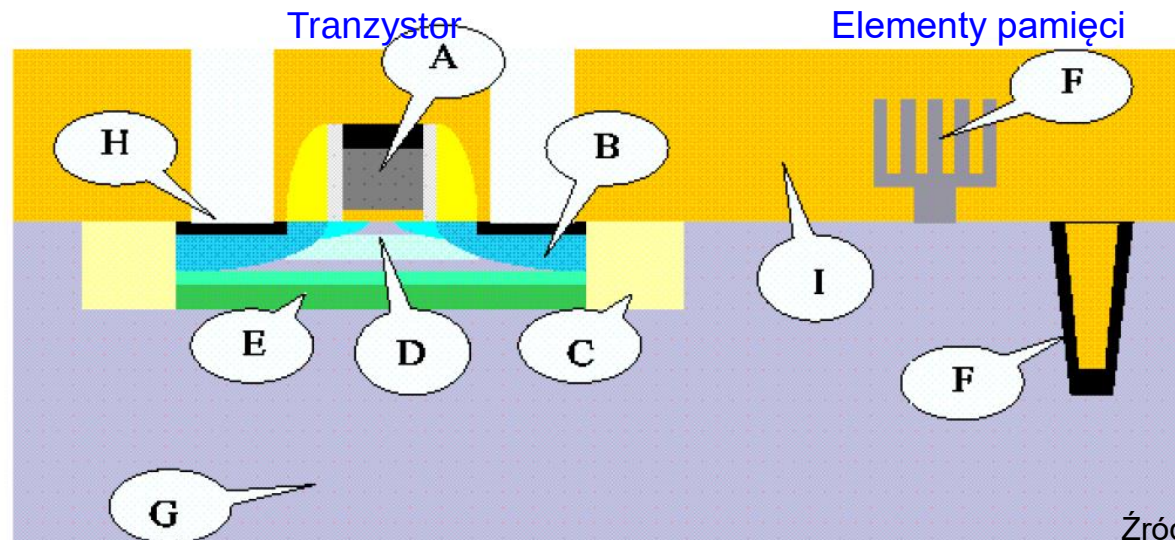
Gordon Moore, 2003



International Technology Roadmap for Semicond.

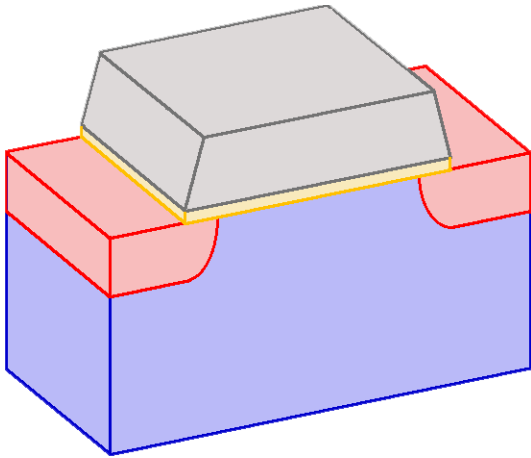


SEMATECH: międzynarodowe konsorcjum producentów półprzewodników – określa cele, opłaca badania nad rozwiązaniem problemów dotyczących „wszystkich”, w jego skład wchodzi: AMD, Agere Systems, Hewlett-Packard, Hynix, Infineon Technologies, IBM, Intel, Motorola, Philips, STMicroelectronics, Texas Instruments
Stara się zdefiniować “wyzwania technologiczne”, określić dalsze cele i przewidzieć ich specyfikację, koszt, wydajność, czas wdrożenia itp.

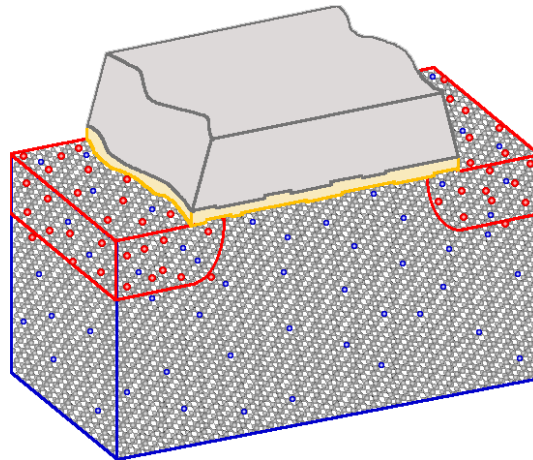


Źródło: Intel, Sematech

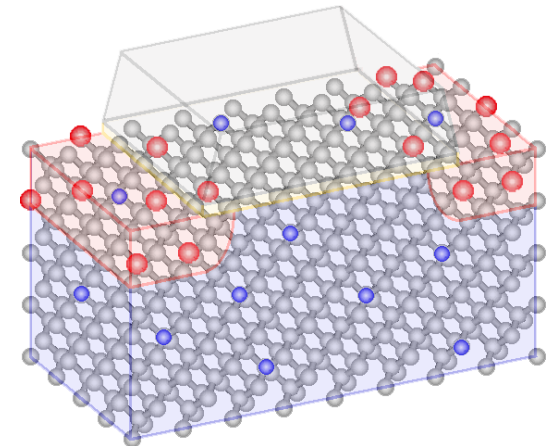
Granice miniaturyzacji



Myślimy, że tranzystor
jest zbudowany tak.



25 nm MOSFET
Produkcja od 2008



4,2 nm MOSFET
Produkcja ???

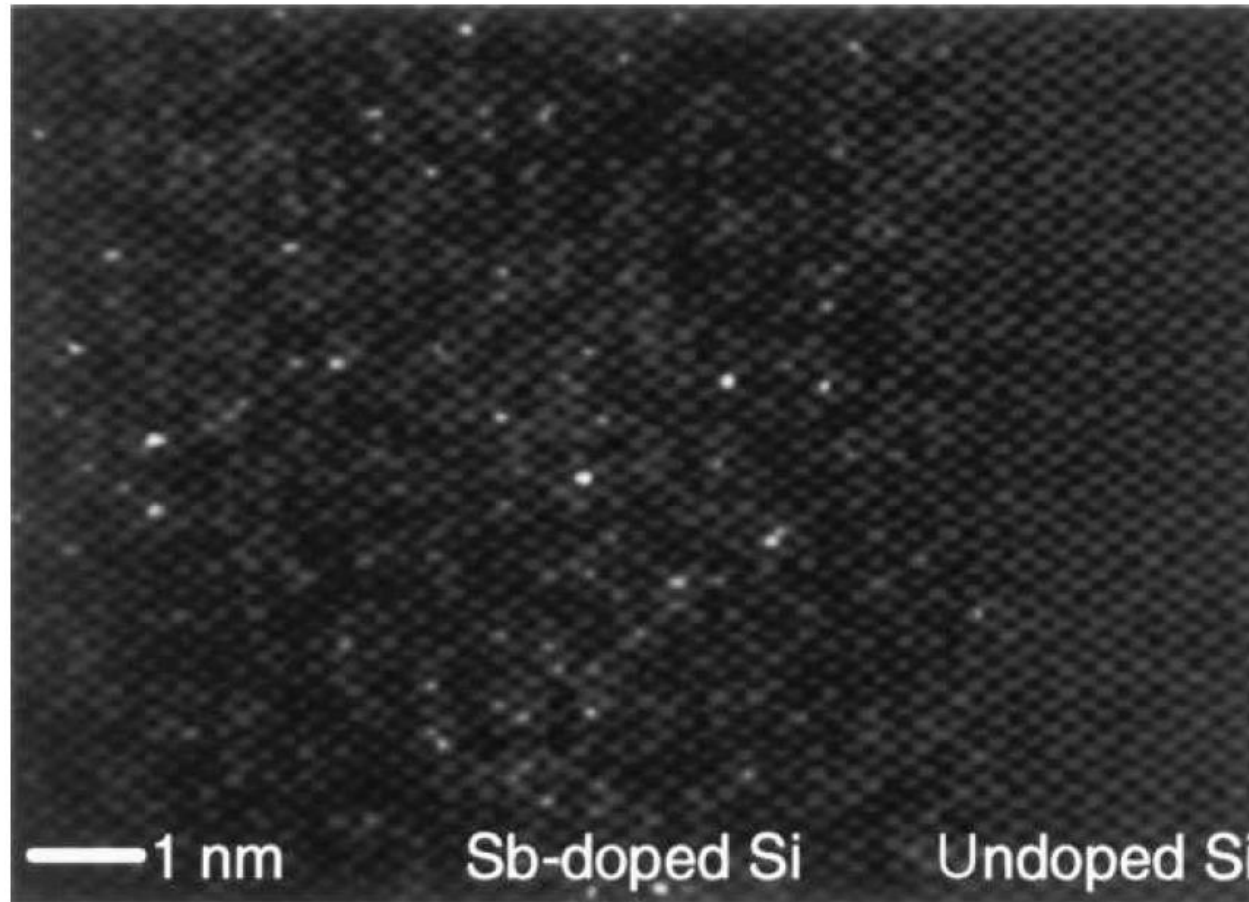
Asen Asenov, Glasgow

David Williams *Hitachi-Cambridge*

IEEE Trans Electron Dev 50(9), 1837 (2003)

PROBLEM: Statystyka domieszek

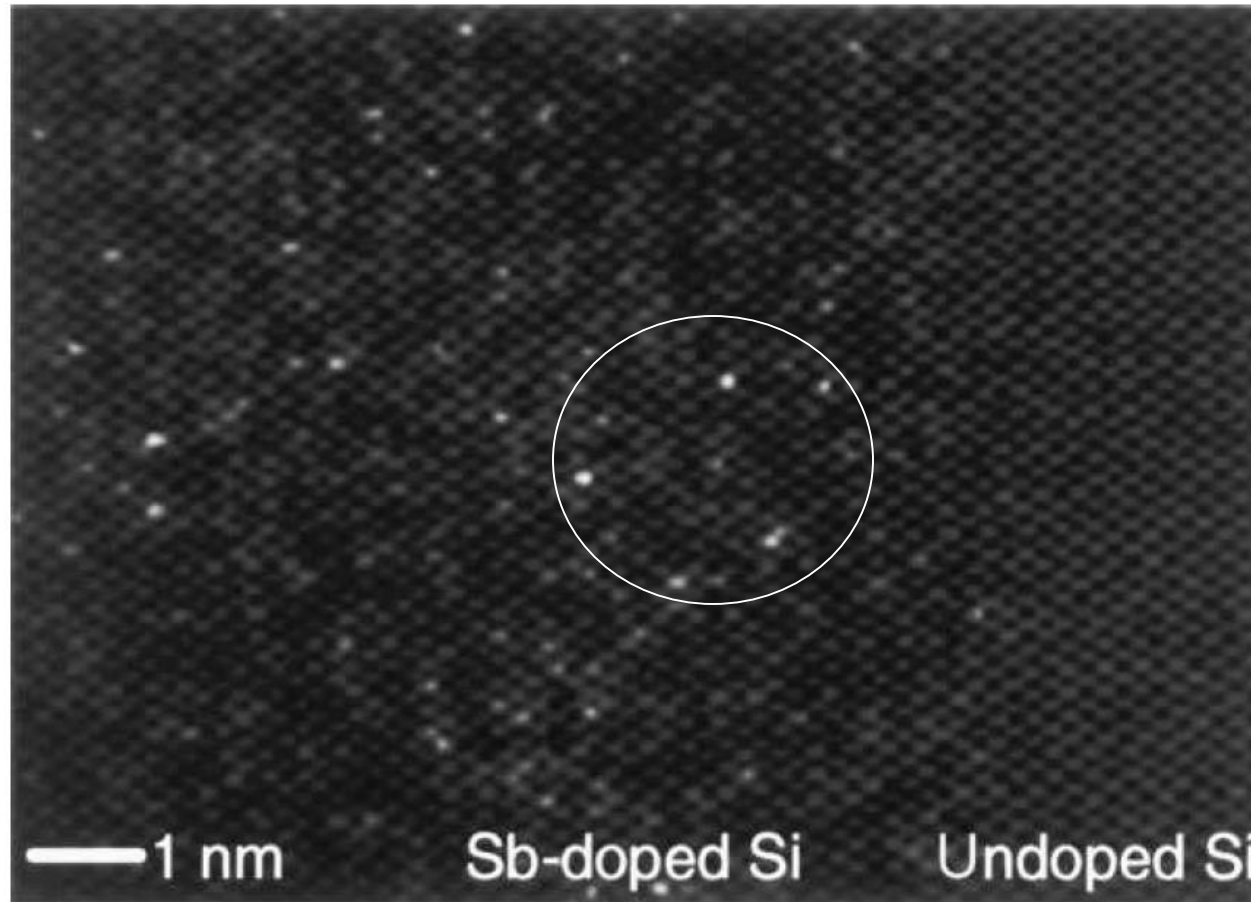
Voyles, P. M. *et al.* *Nature* **416**, 826-829 (2002)



10^{22} atomów Si
 10^{17} domieszek
Rozmiar tranzystora 50 nm
Średnia ilość domieszek 12.5

PROBLEM: Statystyka domieszek

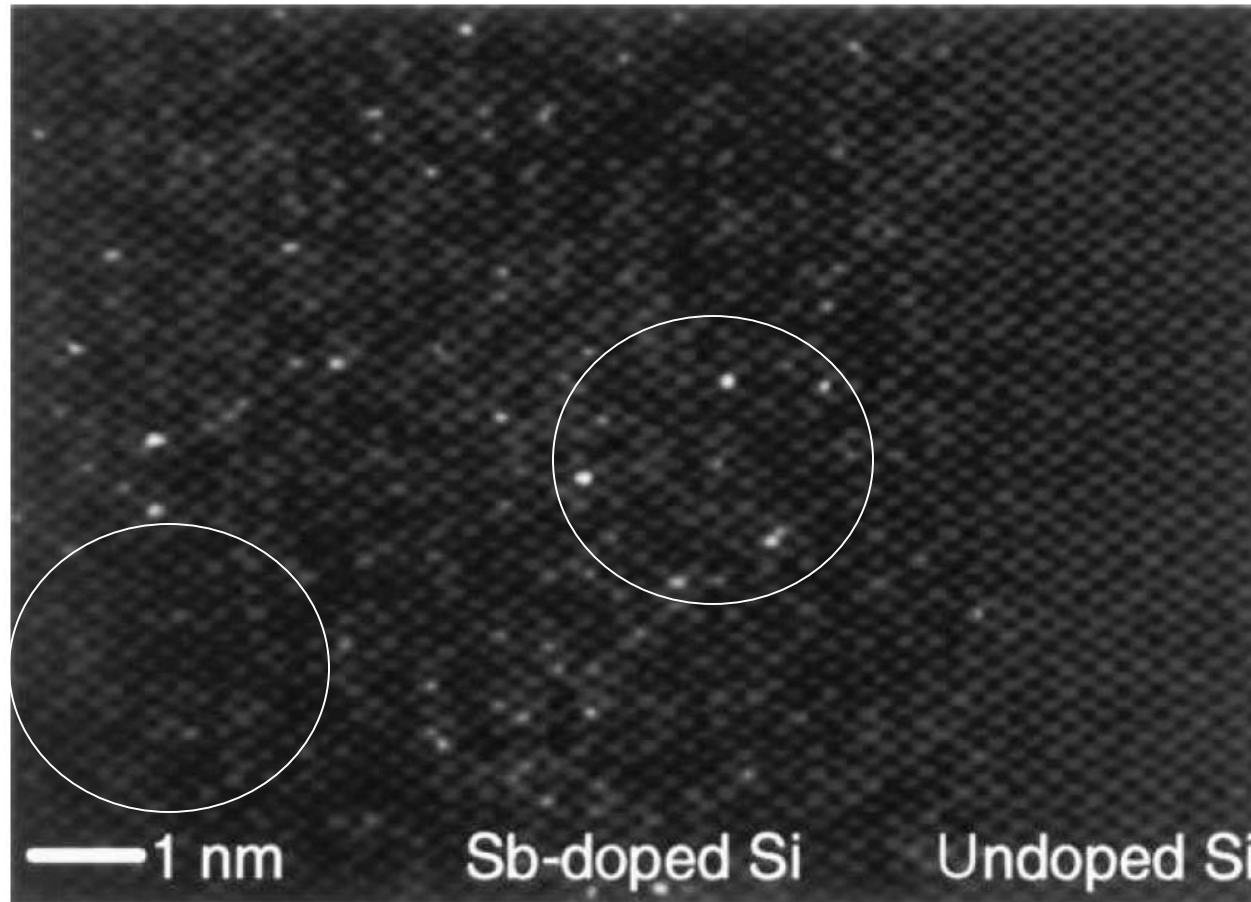
Voyles, P. M. *et al.* *Nature* **416**, 826-829 (2002)



10^{22} atomów Si
 10^{17} domieszek
Rozmiar tranzystora 50 nm
Średnia ilość domieszek 12.5

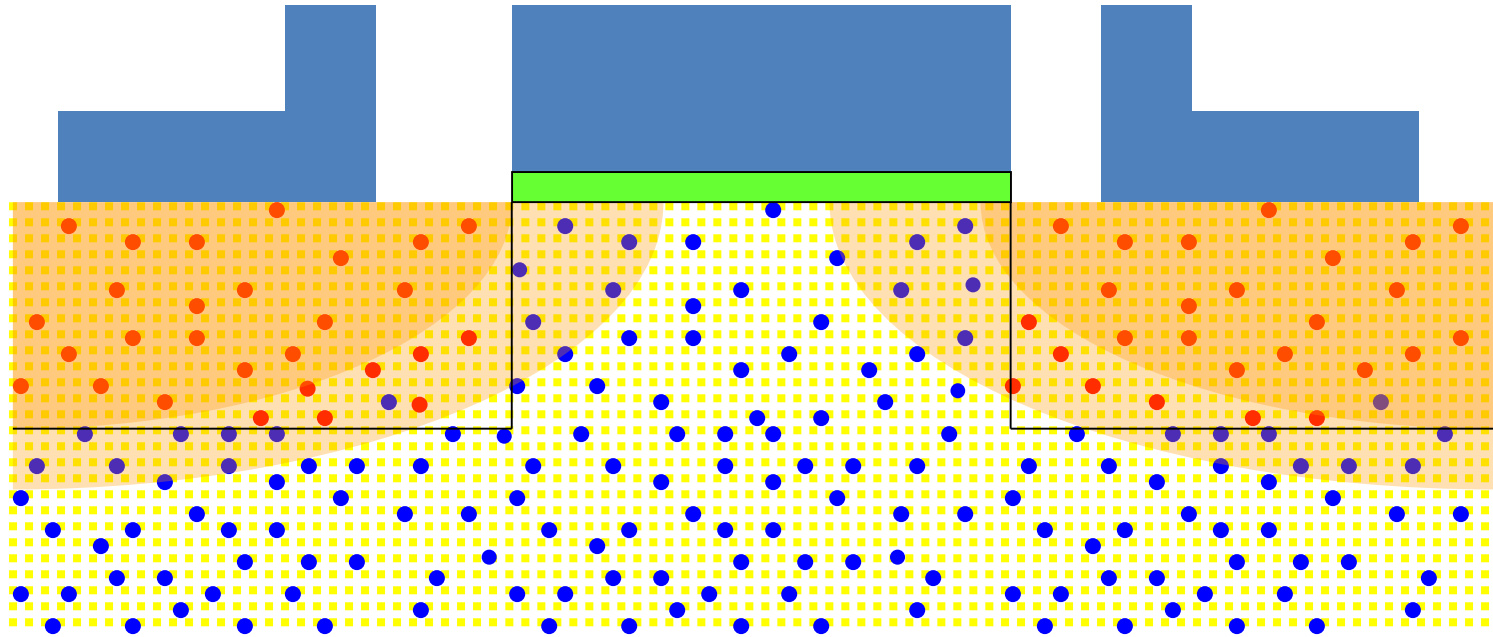
PROBLEM: Statystyka domieszek

Voyles, P. M. *et al.* *Nature* **416**, 826-829 (2002)

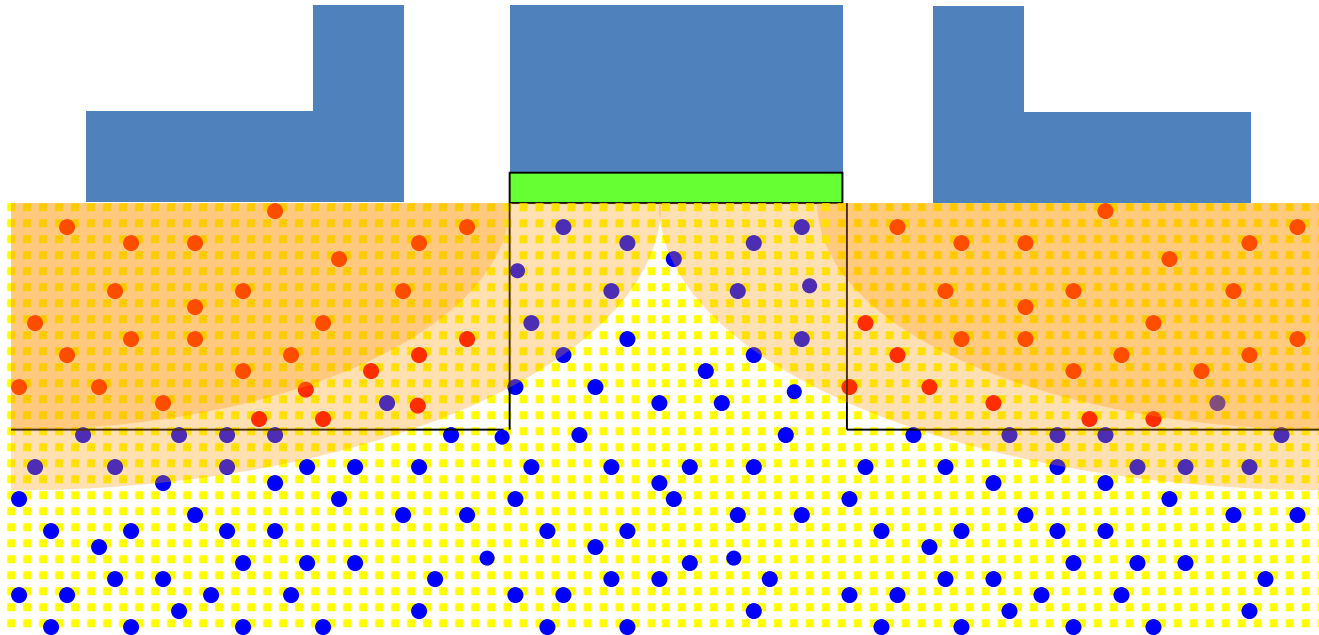


10^{22} atomów Si
 10^{17} domieszek
Rozmiar tranzystora 50 nm
Średnia ilość domieszek 12.5

PROBLEM: Tunelowanie

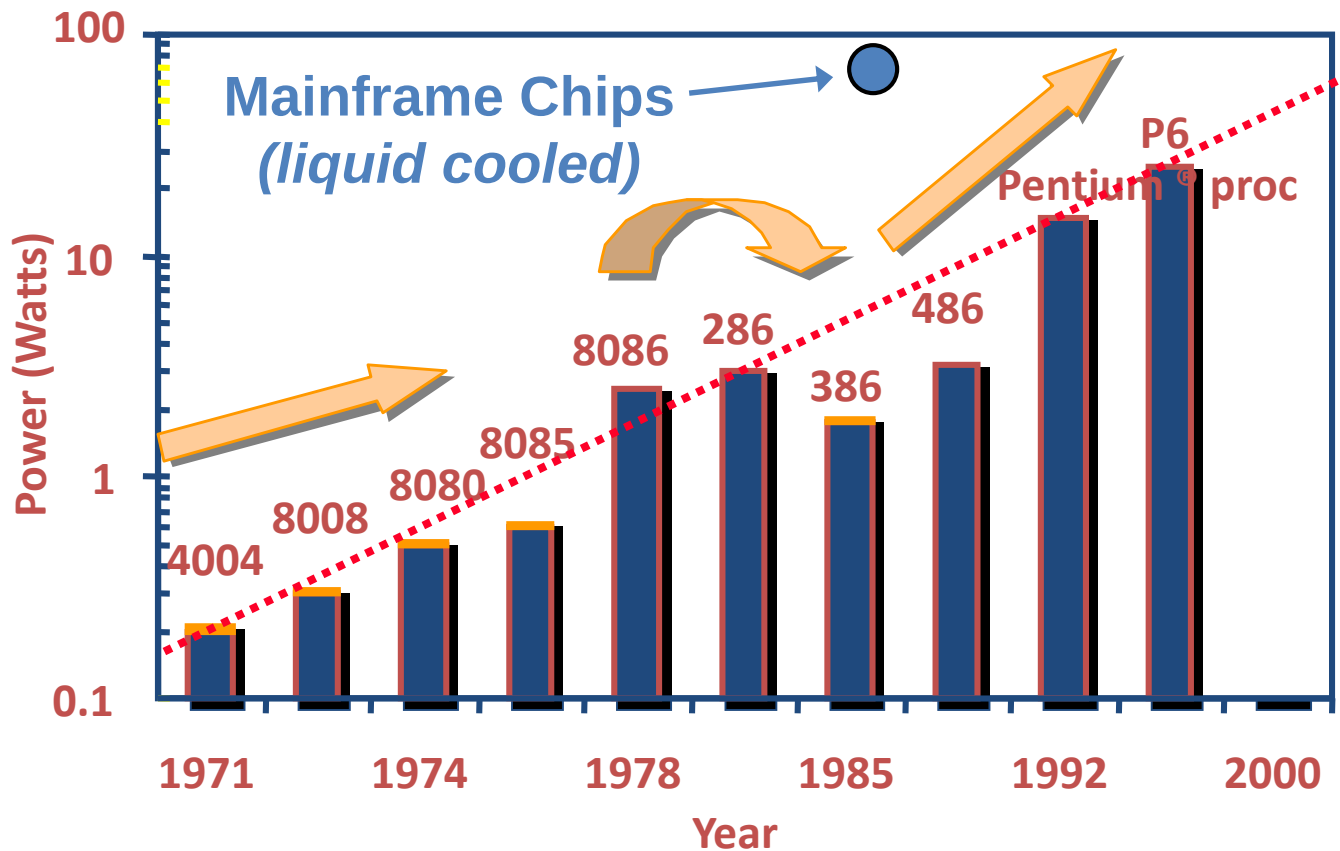


PROBLEM: Tunelowanie



PROBLEM: Chłodzenie

Z roku na rok układy wymagają większej mocy do wykonywania operacji logicznych.

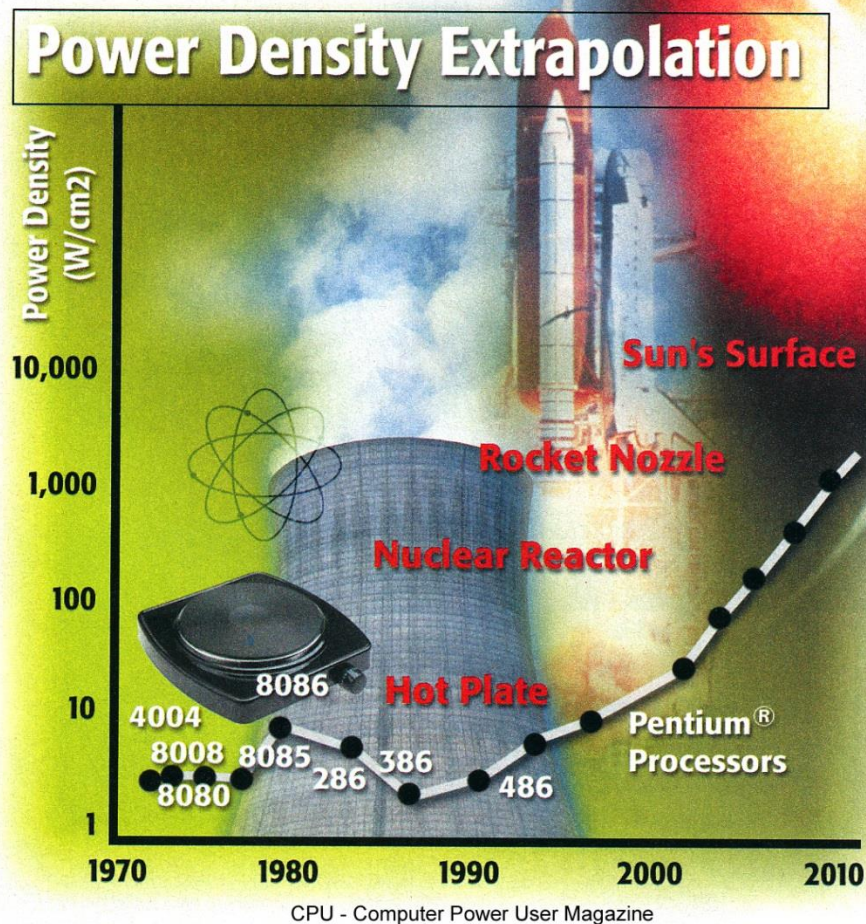


PROBLEM: Chłodzenie

Gęstość mocy rośnie dramatycznie.

10^7 tranzystorów pracujących z częstotliwością 1.5 GHz zużywa 130 W. Zakładając, że na tej samej powierzchni za jakiś czas będzie pracować 10^8 tranzystorów z częstotliwością 10 GHz otrzymamy gęstość mocy na poziomie 10 kW/cm² (porównywalną gęstość mocy ma silnik rakietowy!)

[Film](#)

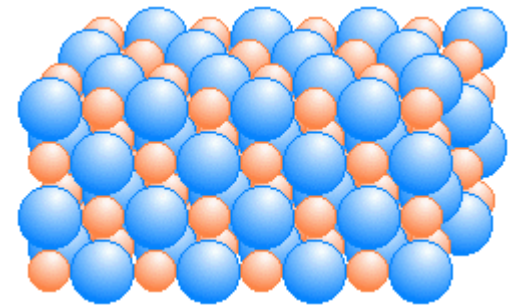


Jak TO działa?

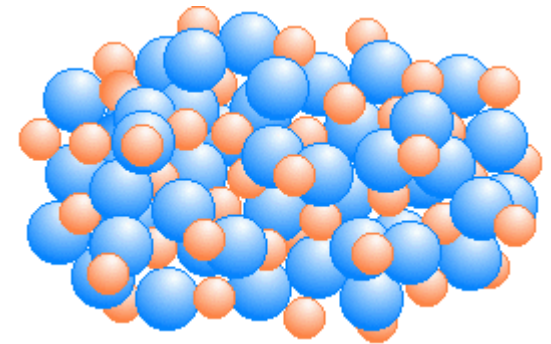
- Przeprojektowanie CMOS (np. wertykalne, FIN, MOSFET z podwójną bramką)
- Urządzenia alternatywne (np. na pojedynczych elektronach)
- Urządzenia hybrydowe (np. FET z nanorurek)
- Nowe architektury (np. samonaprawiające się, defect-tolerance, automaty komórkowe)
- Zupełnie nowe architektury (np. komputery molekularne, komputery kwantowe)



Czy dwa półprzewodniki dadzą cały przewodnik?



Kryształ



Ciało amorficzne



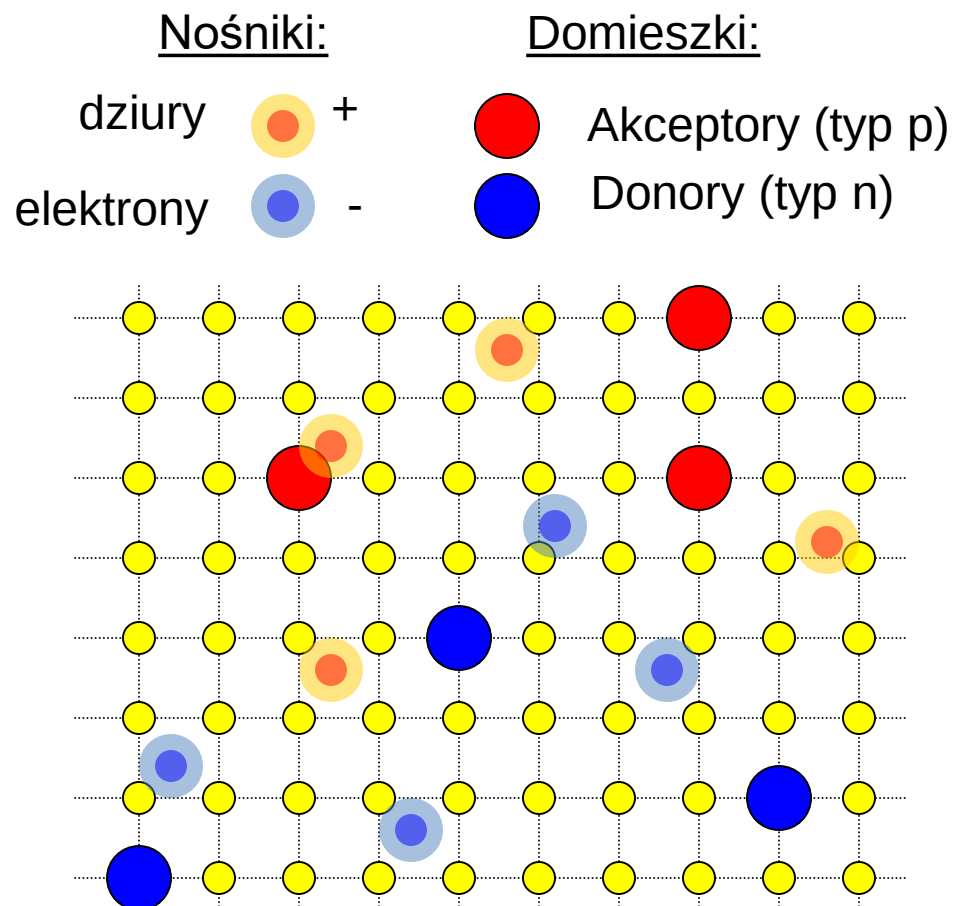
Półprzewodniki

II	III	IV	V	VI
Be	B	C	N	O
Mg	Al	Si	P	S
Zn	Ga	Ge	As	Se
Cd	In	Sn	Sb	Te

Grupa IV: diament, Si, Ge

Grupy III-V: GaAs, AlAs, InSb, InAs...

Grupy II-VI: ZnSe, CdTe, ZnO, SdS...





Czy dwa półprzewodniki dadzą cały przewodnik?

- Co to jest izolator, półprzewodnik, przewodnik?

Mała odległość między atomami



Atomy zawiązane (elektrony są fermionami i obowiązuje zakaz Pauliego)

Trochę historii

XX w: materia ma (również) charakter falowy

Fale materii – De Broglie 1924 (Nobel 1929), doświadczenia G.P. Thomsona L.H. Germera i C.J. Davissona (Nobel 1937)

$$\lambda = h / p$$

$$p = h / \lambda$$

klasycznie



Trochę historii

XX w: materia ma (również) charakter falowy

Fale materii – De Broglie 1924 (Nobel 1929), doświadczenia G.P. Thomsona L.H. Germera i C.J. Davissona (Nobel 1937)

$$\lambda = h / p$$

$$p = h / \lambda$$

klasycznie



kwantowo

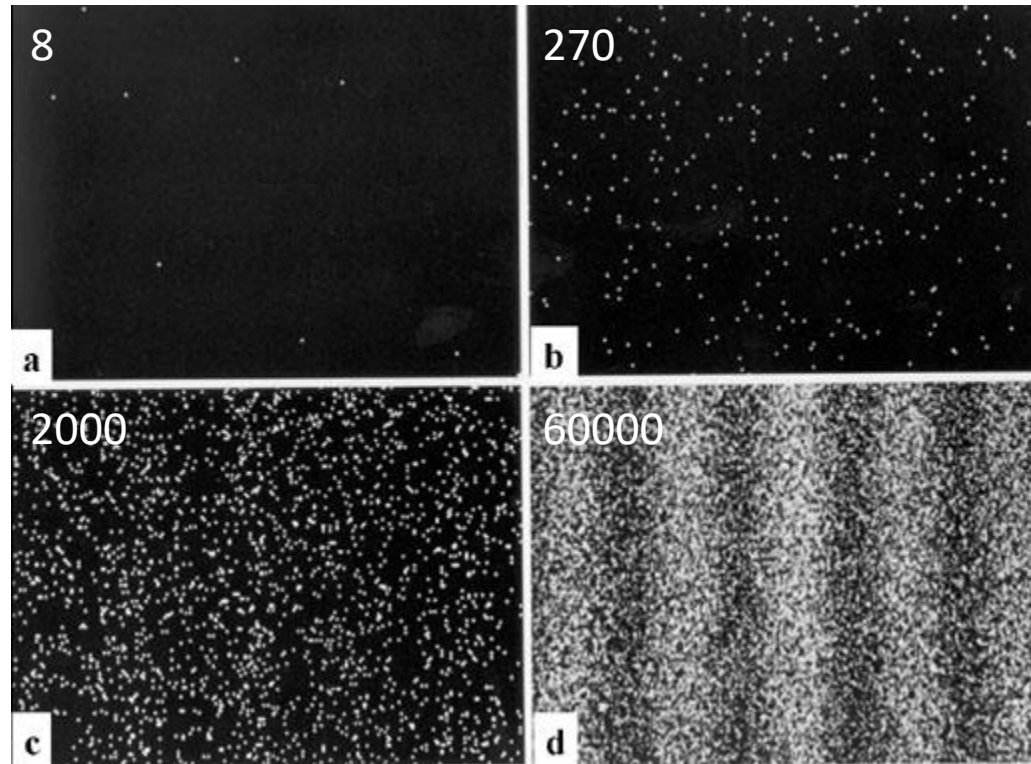


Trochę historii

XX w: materia ma (również) charakter falowy

Fale materii – De Broglie 1924 (Nobel 1929), doświadczenia G.P. Thomsona L.H. Germera i C.J. Davissona (Nobel 1937)

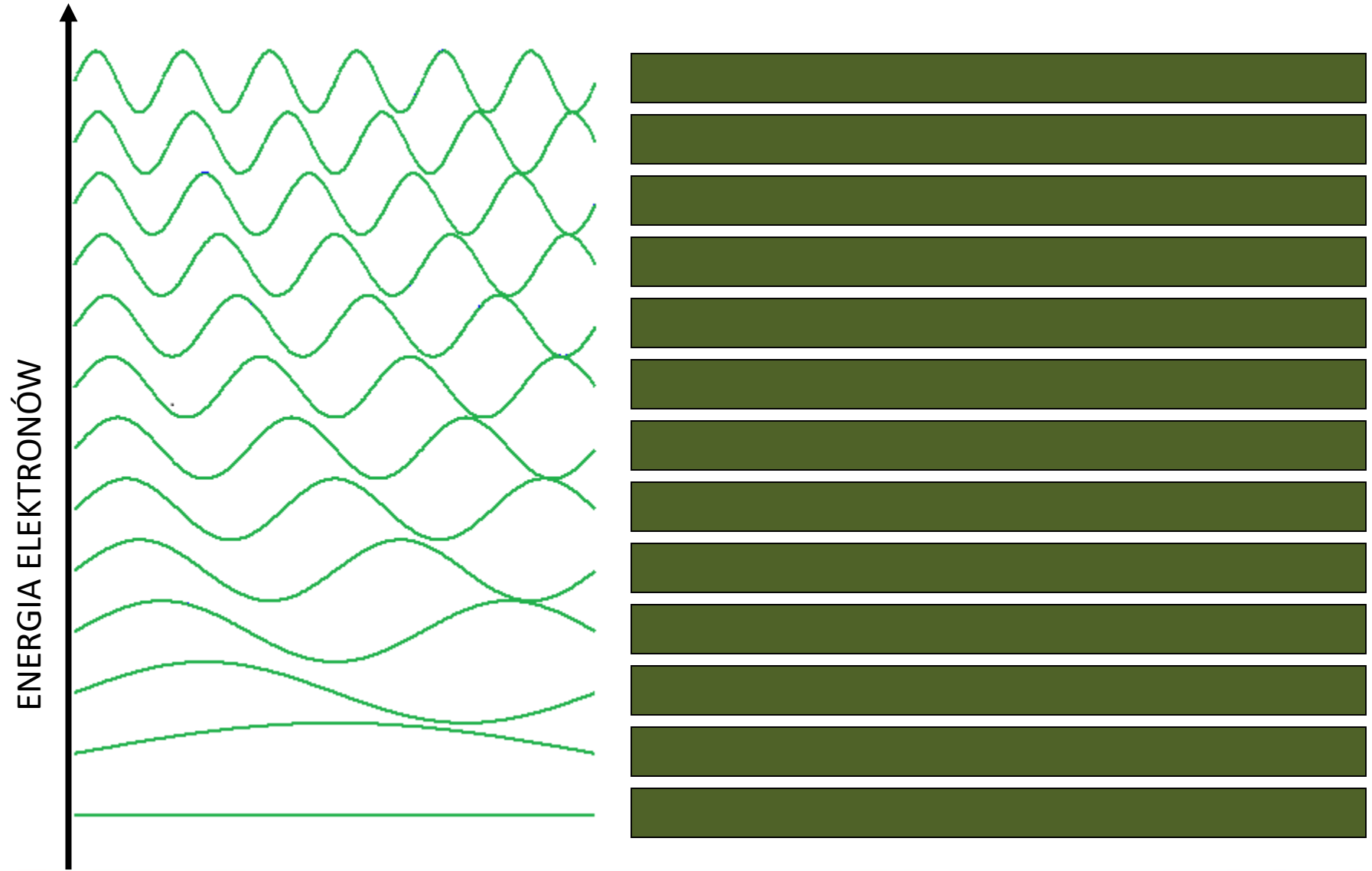
$$\lambda = h / p$$



Single-electron events build up over a 20 minute exposure to form an interference pattern in this double-slit experiment by Akira Tonomura and co-workers. (a) 8 electrons; (b) 270 electrons; (c) 2000 electrons; (d) 60,000. A video of this experiment will soon be available on the web

www.hqrd.hitachi.co.jp/em/doubleslit.html.

Teoria pasmowa ciał stałych.

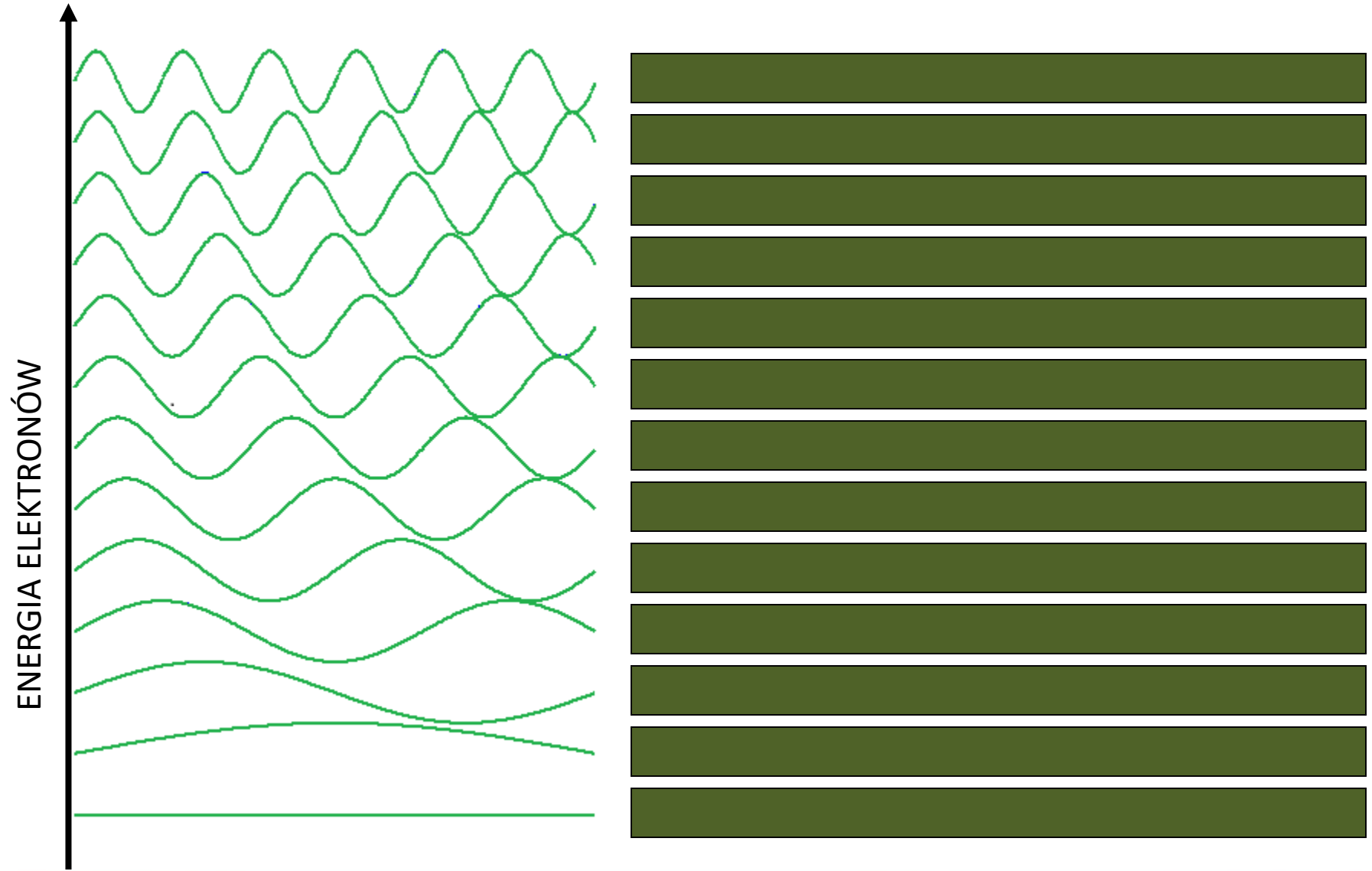




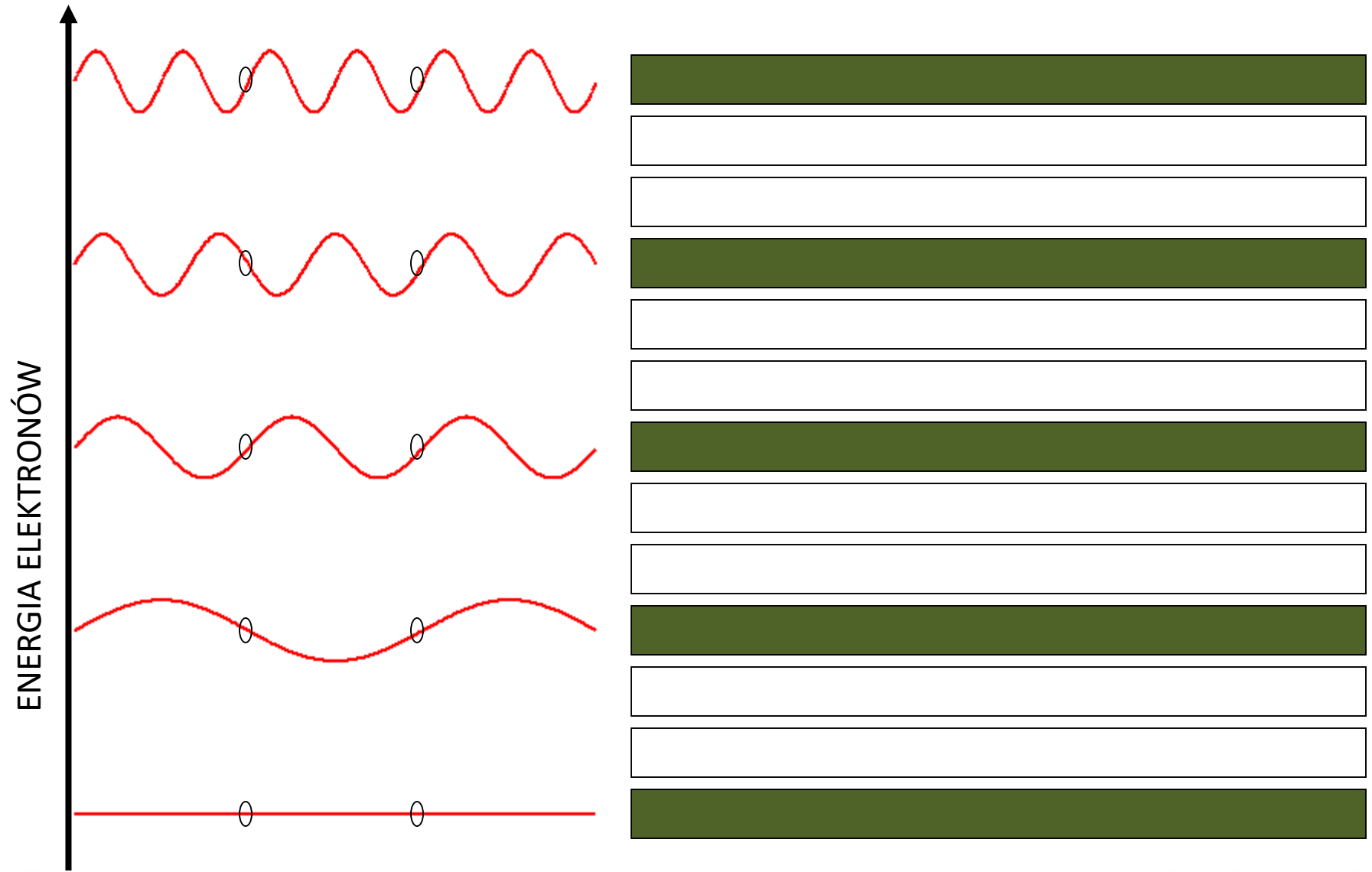
Elektron jako fala



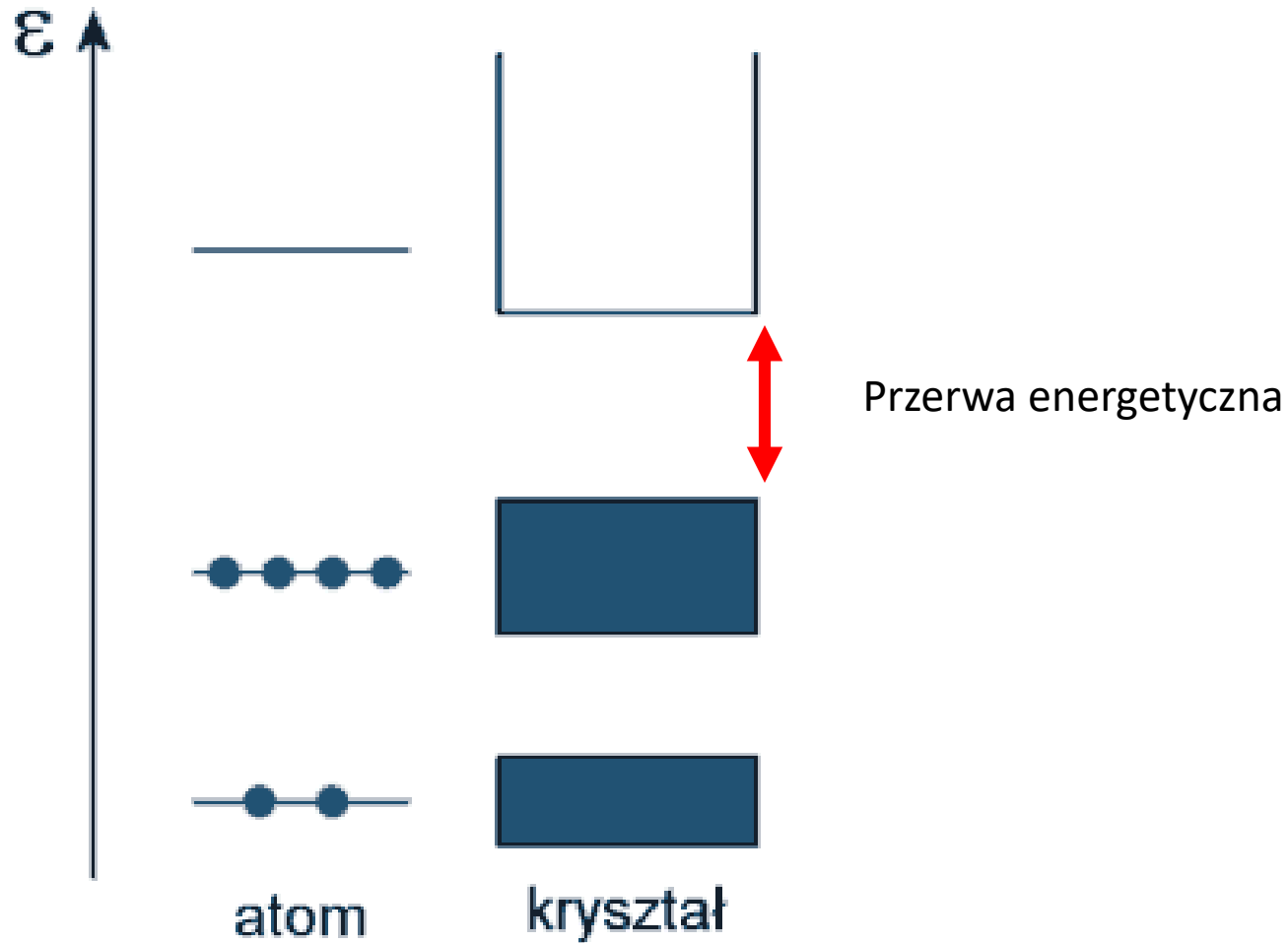
Teoria pasmowa ciał stałych.



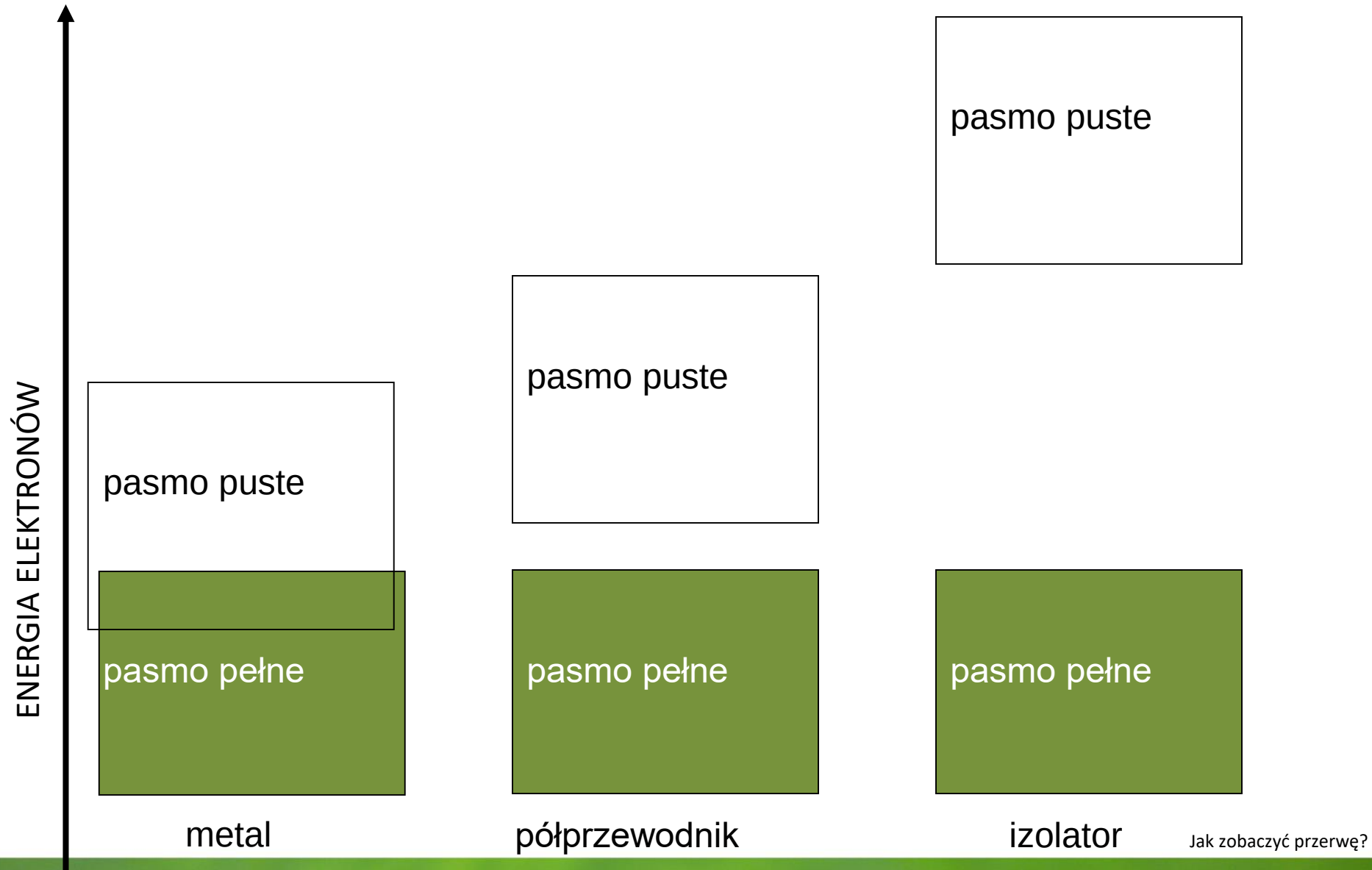
Teoria pasmowa ciał stałych.



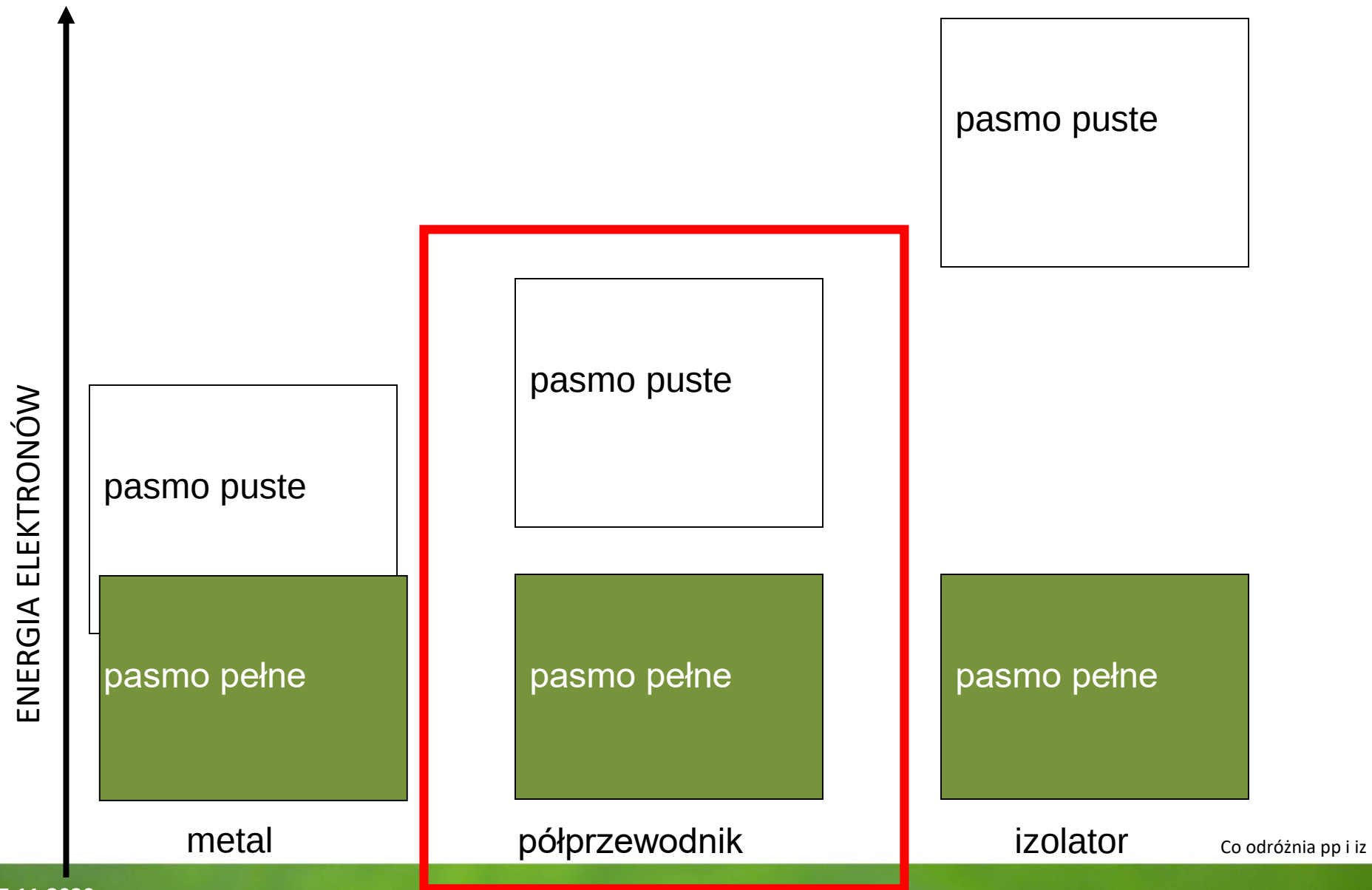
Teoria pasmowa ciał stałych.



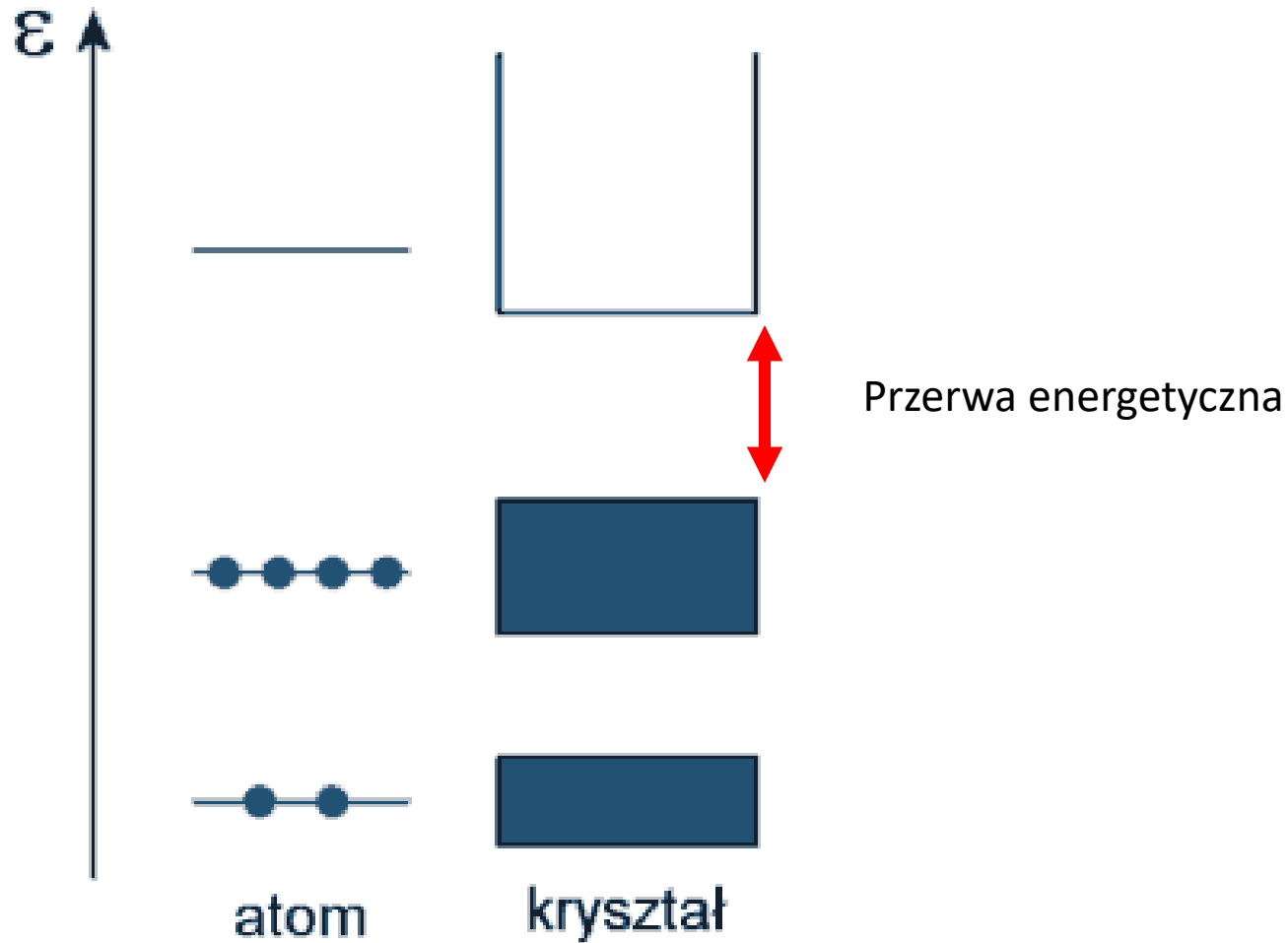
Teoria pasmowa ciał stałych.

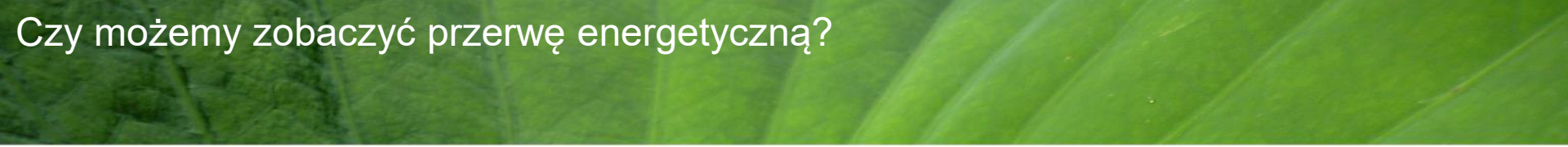


Teoria pasmowa ciał stałych.



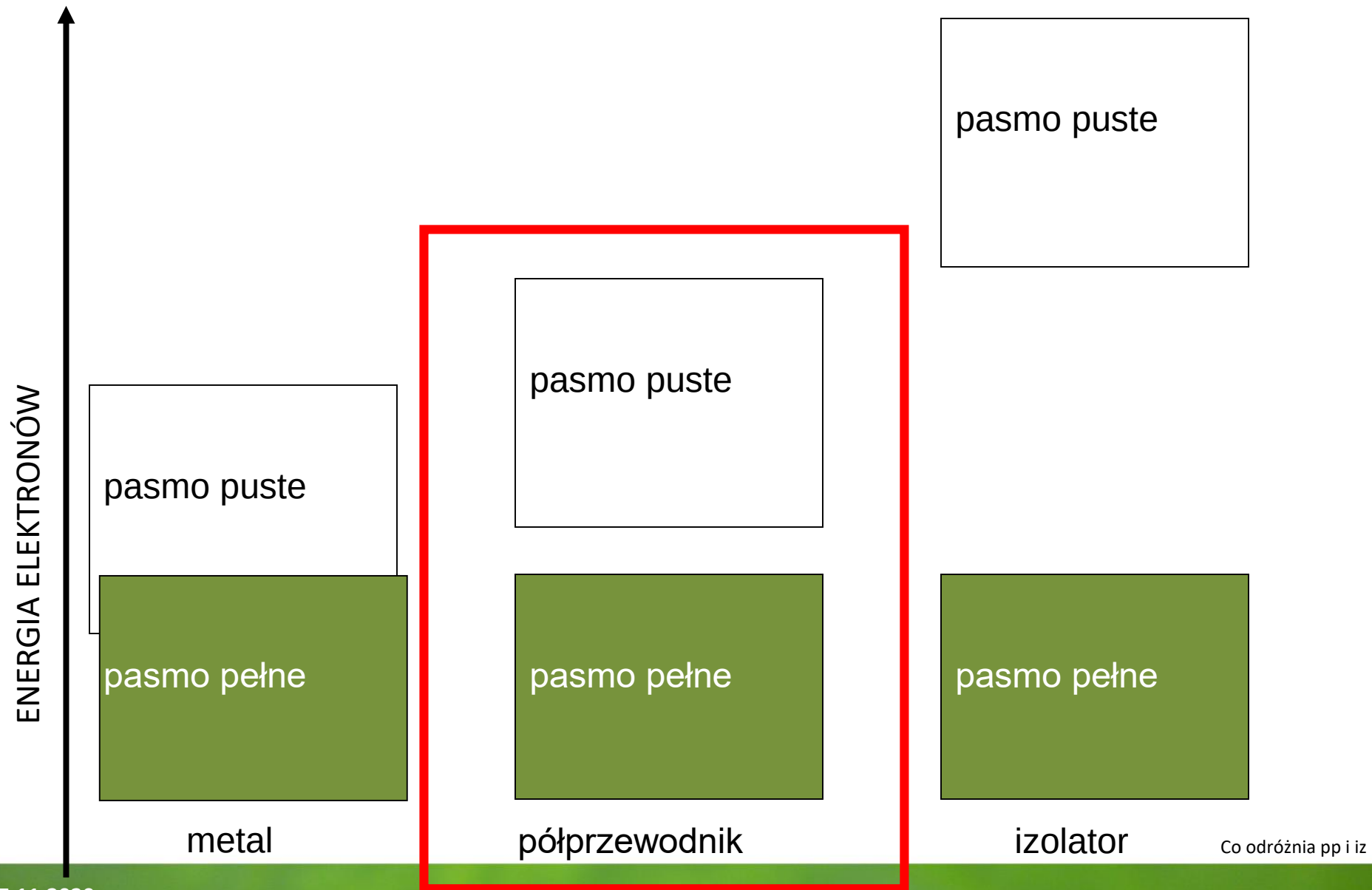
Teoria pasmowa ciał stałych.



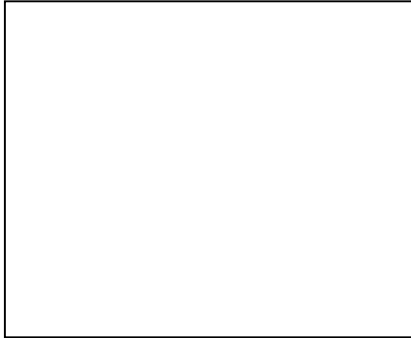


Czy możemy zobaczyć przerwę energetyczną?

Teoria pasmowa ciał stałych.



Teoria pasmowa ciał stałych.



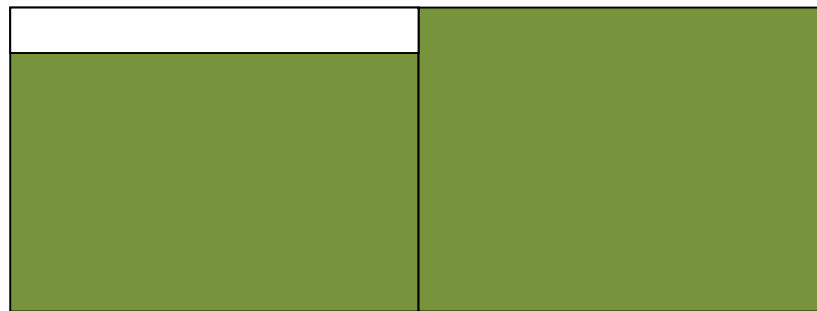
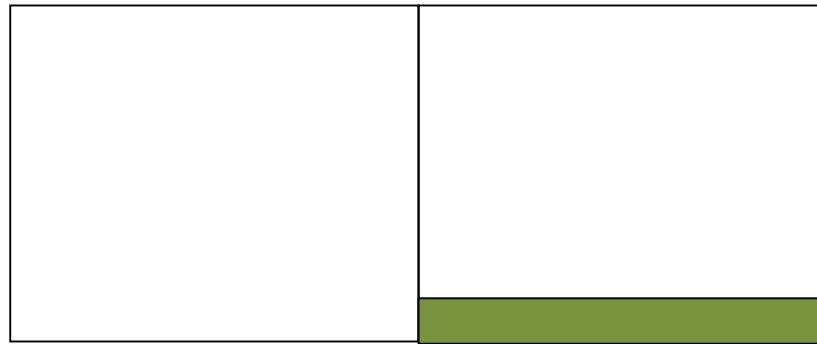
półprzewodnik typu p



półprzewodnik typu n

Teoria pasmowa ciał stałych.

Dioda – czyli złącze p - n



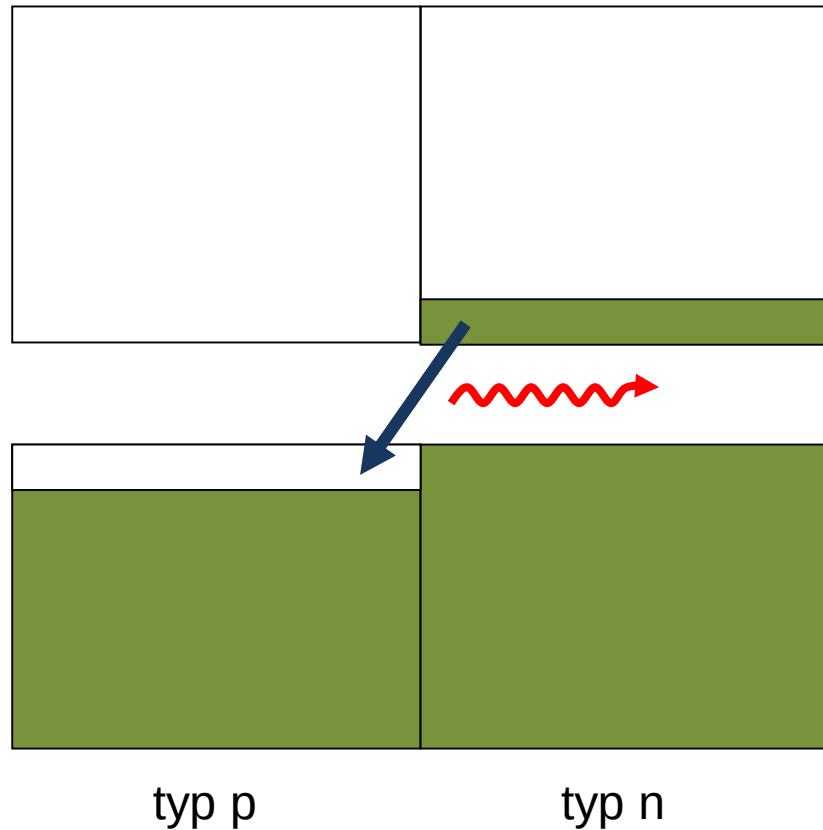
typ p

typ n

Flat band

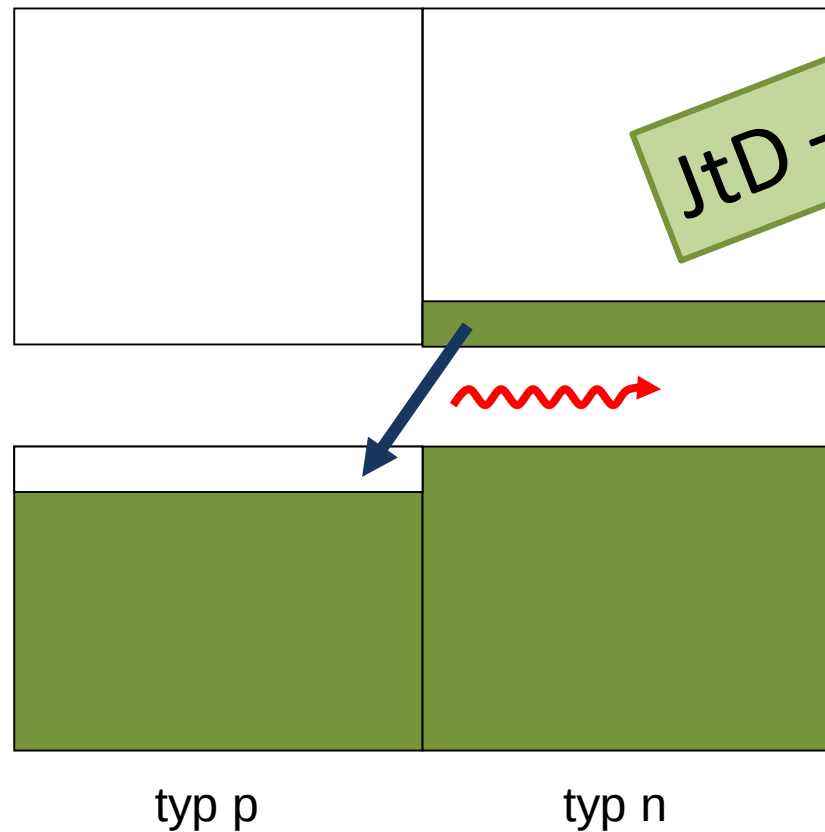
Teoria pasmowa ciał stałych.

Dioda – czyli złącze p - n



Teoria pasmowa ciał stałych.

Dioda – czyli złącze p - n



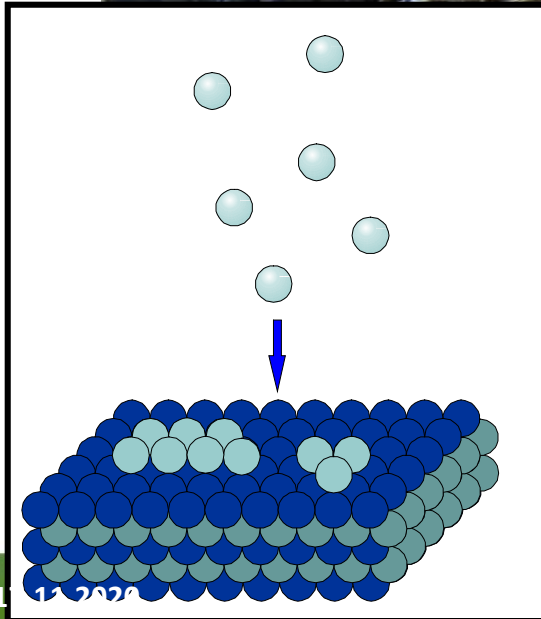
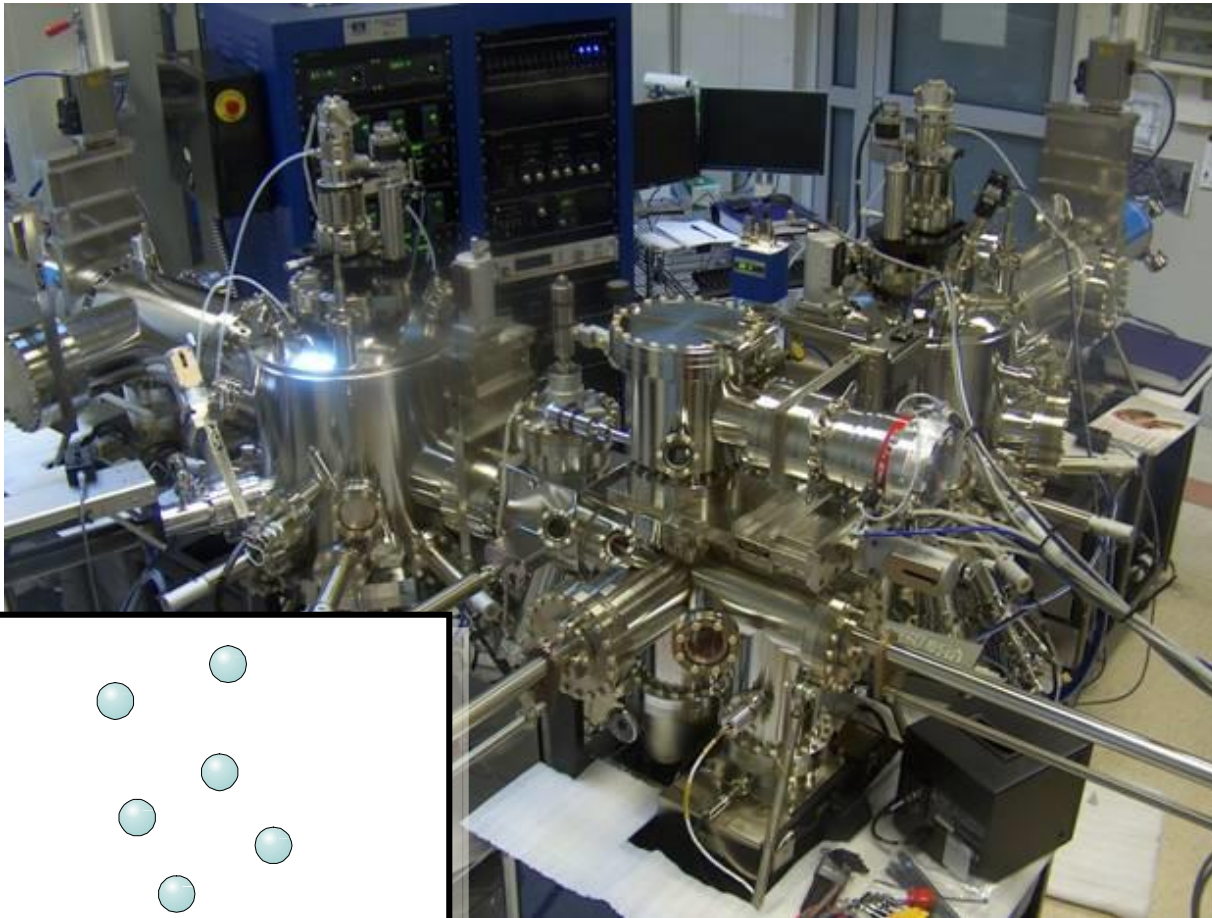
Flat band



Diody

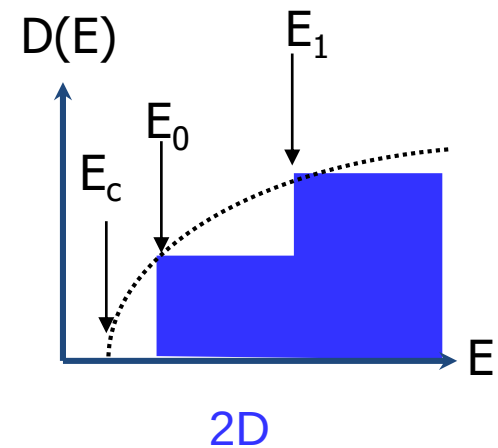
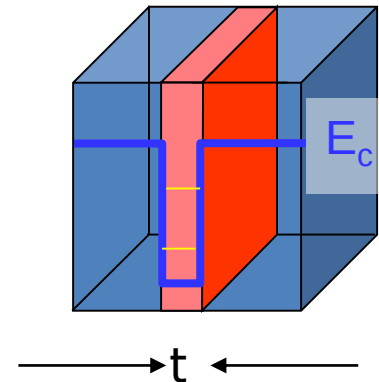


Jak się robi heterostruktury?



MBE → Osadzanie z atomową precyzją warstw o różnym składzie lub domieszkowaniu

Quantum Well

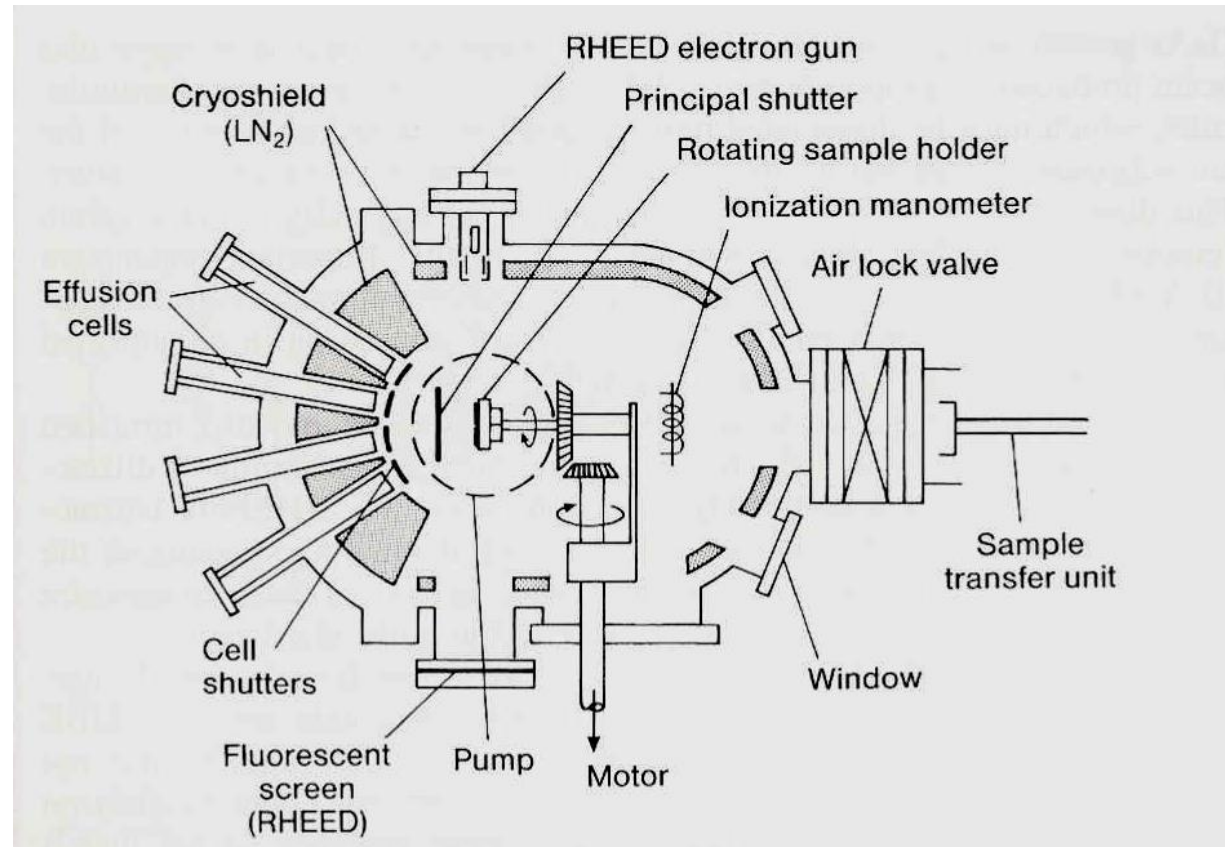


Hubert J. Krenner

Jak się robi heterostruktury?

Wzrost warstw **MBE** jest monitorowany przez Reflection High Energy Electron Diffraction (REED). Komputer steruje przesłonami (shutterami) na froncie podgrzewanych komórek efuzyjnych, co pozwala na precyzyjną kontrolę wzrostu do poziomu pojedynczej warstwy atomowej.

Wzrost warstw z jamami kwantowymi (quantum wells), kropek kwantowych (quantum dots) – struktury LD, LED.



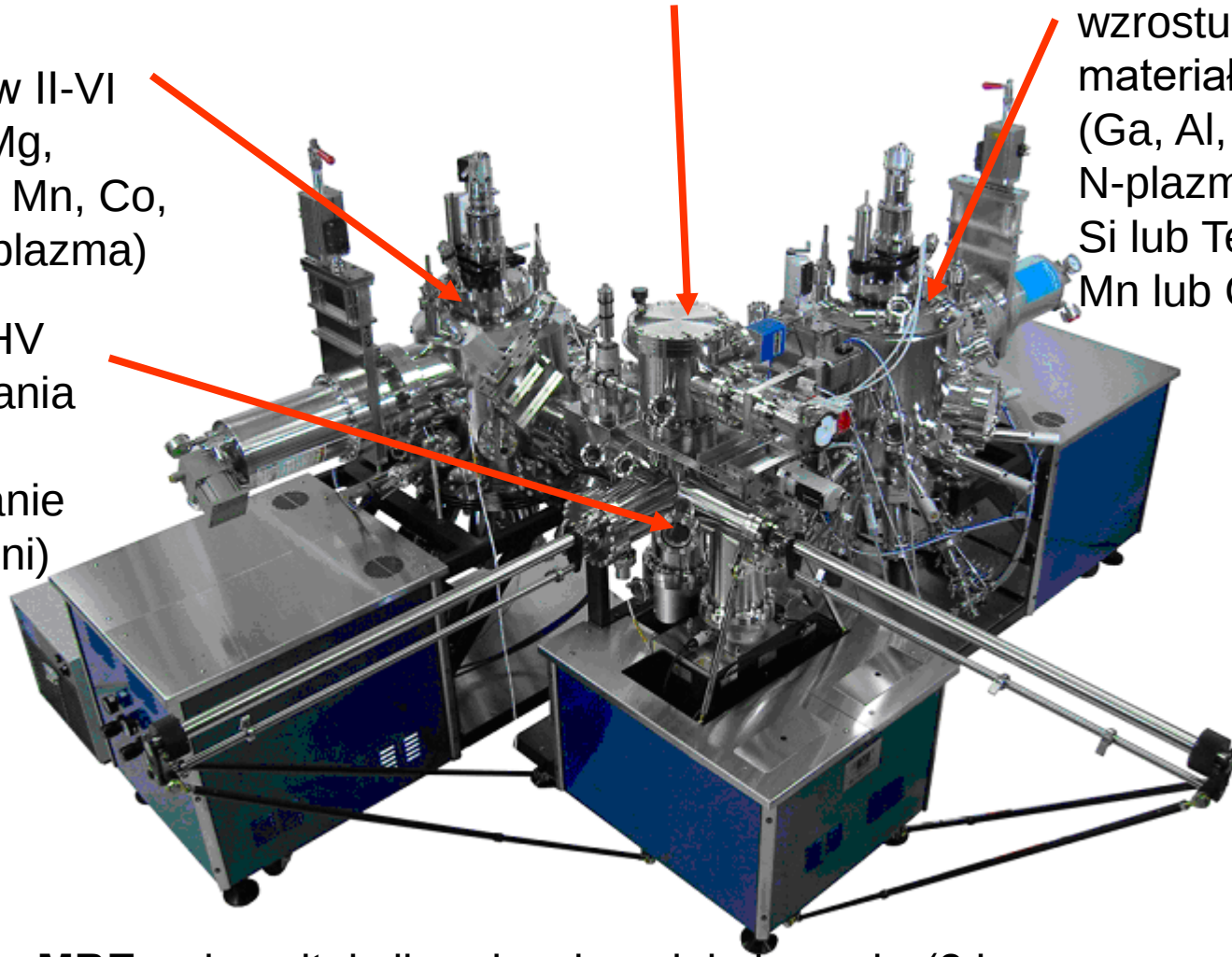
Jak się robi heterostruktury?

komora UHV
wzrostu
materiałów II-VI
(Zn, Cd, Mg,
S, Se, Te, Mn, Co,
 ZnCl_2 , N-plazma)

komora UHV
przygotowania
podłoży
(odgazowanie
powierzchni)

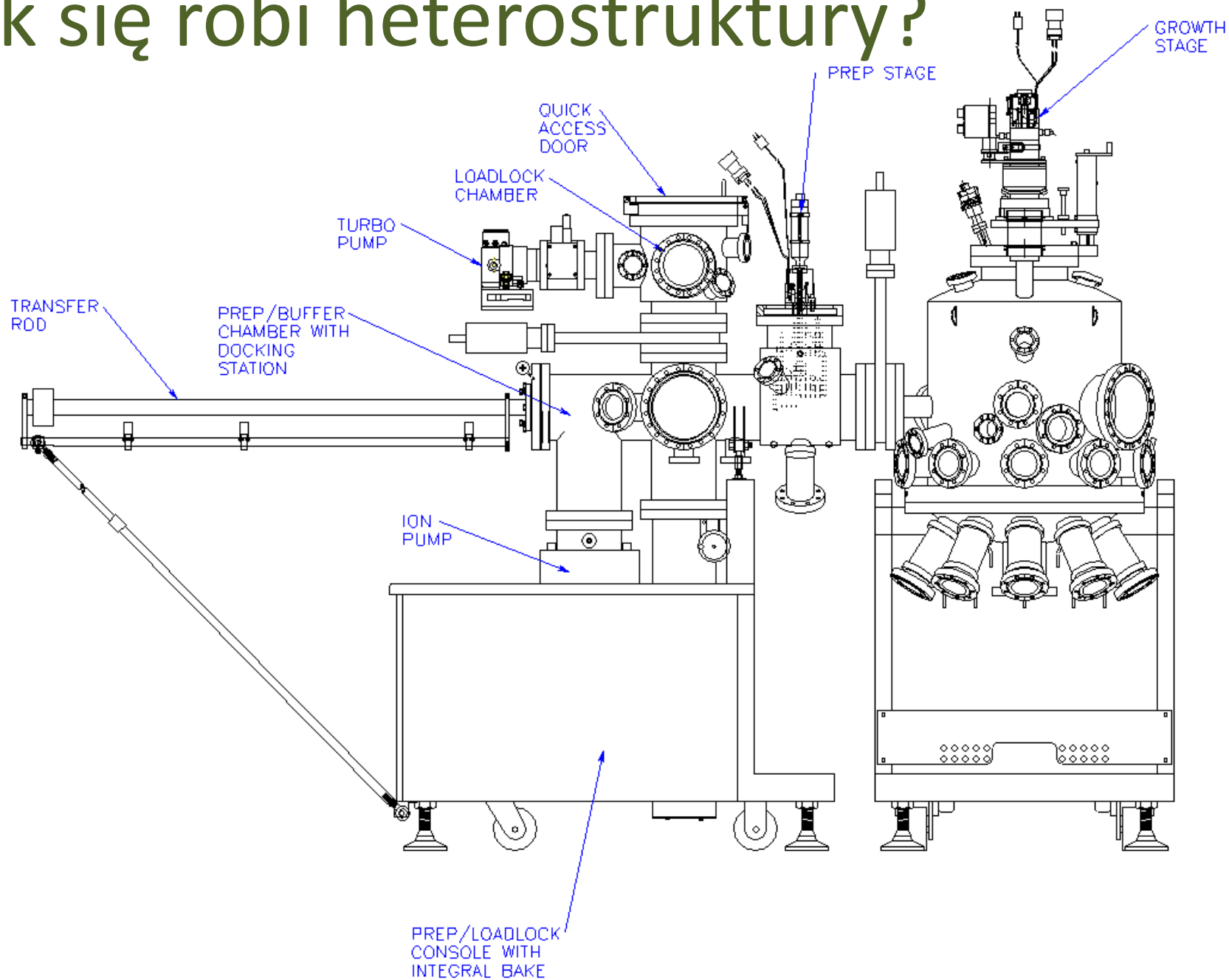
komora załadunkowa

komora UHV
wzrostu
materiałów III-V
(Ga, Al, In, As, Sb,
N-plazma,
Si lub Te, Be lub Zn,
Mn lub Cr lub Co)

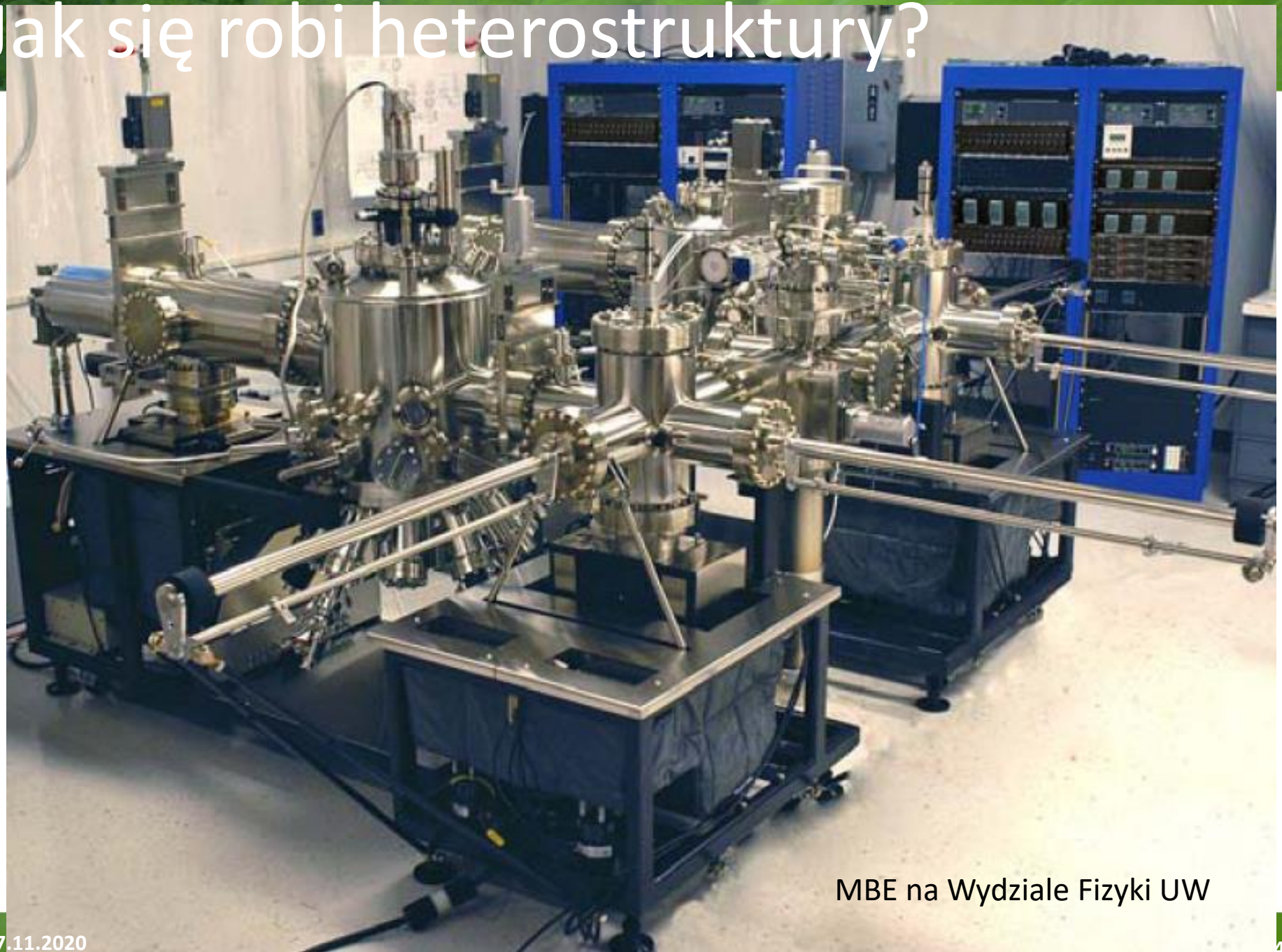


Urządzenie MBE - do epitaksji z wiązek molekularnych (2 komory wzrostu)
producent SVTA (USA). Zakup przez Wydział Fizyki w r. 2010, program CePT

Jak się robi heterostruktury?

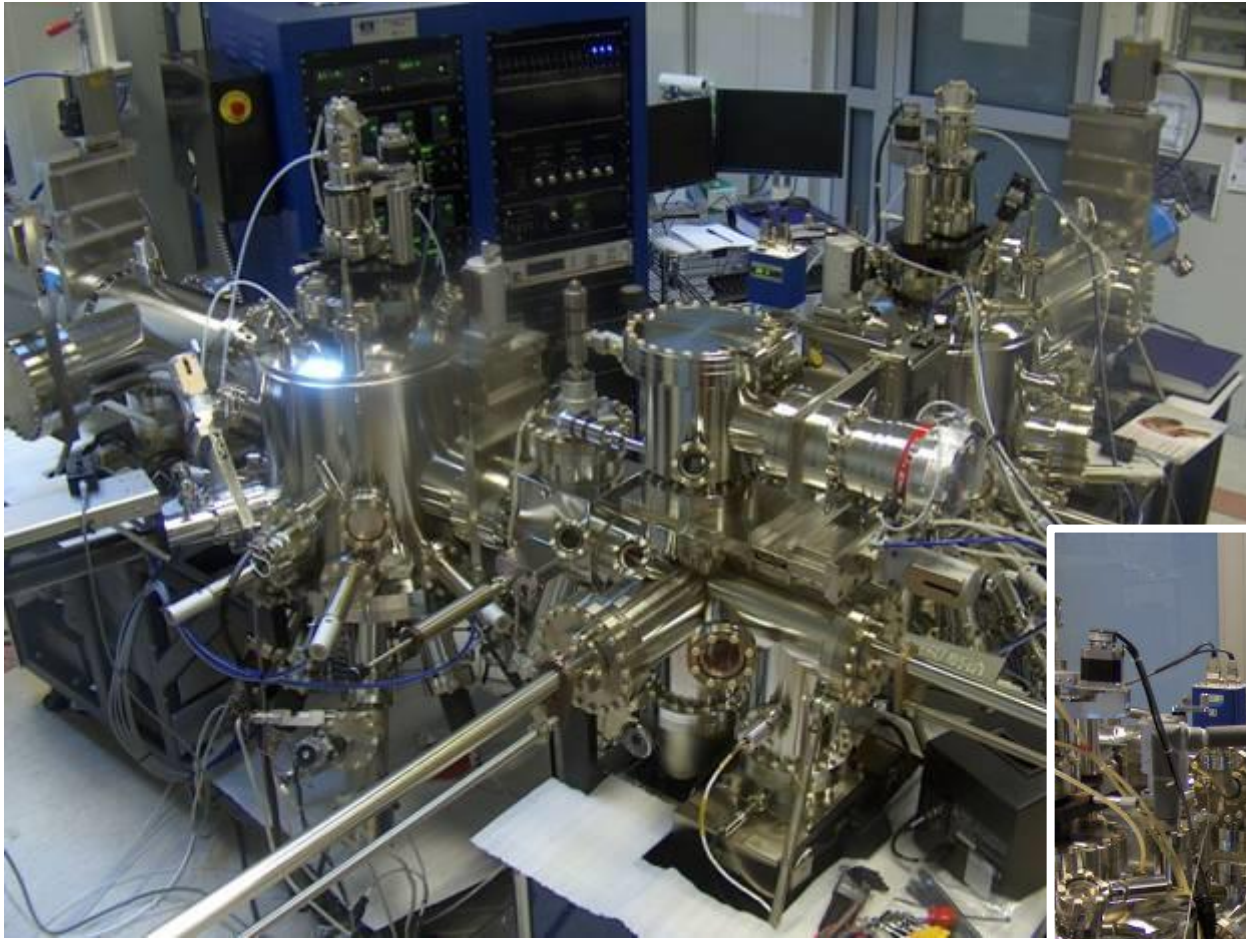


Jak się robi heterostruktury?



MBE na Wydziale Fizyki UW

Jak się robi heterostruktury?



MBE na Wydziale Fizyki UW

Jak się robi heterostruktury?

Reaktor Metal-Organic Chemical Vapour Epitaxy (MOCVD) w Zakładzie Fizyki Ciała Stałego



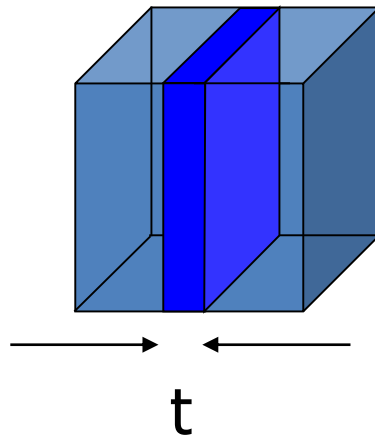
Aixtron CCS 3x2

Heterostruktury GaInSb, AlGaInAs and AlGaN.

Struktury niskowymiarowe

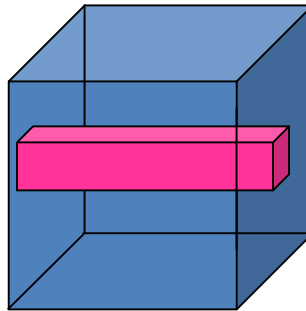
Low-dimensional Semiconductor Systems

Studnie
kwantowe



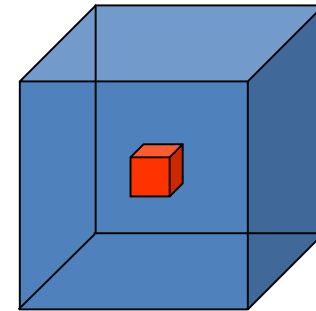
2D

Druty
kwantowe



1D

Kropki
kwantowe



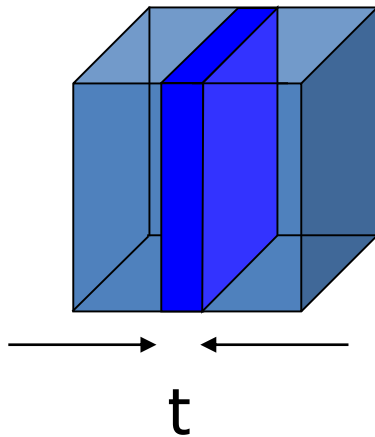
"0D"

Dyskretna struktura elektronowa

Struktury niskowymiarowe

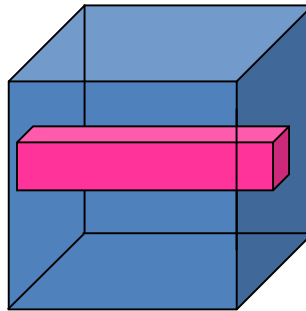
Low-dimensional Semiconductor Systems

Studnie
kwantowe



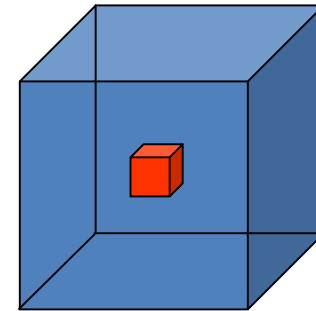
2D

Druty
kwantowe



1D

Kropki
kwantowe

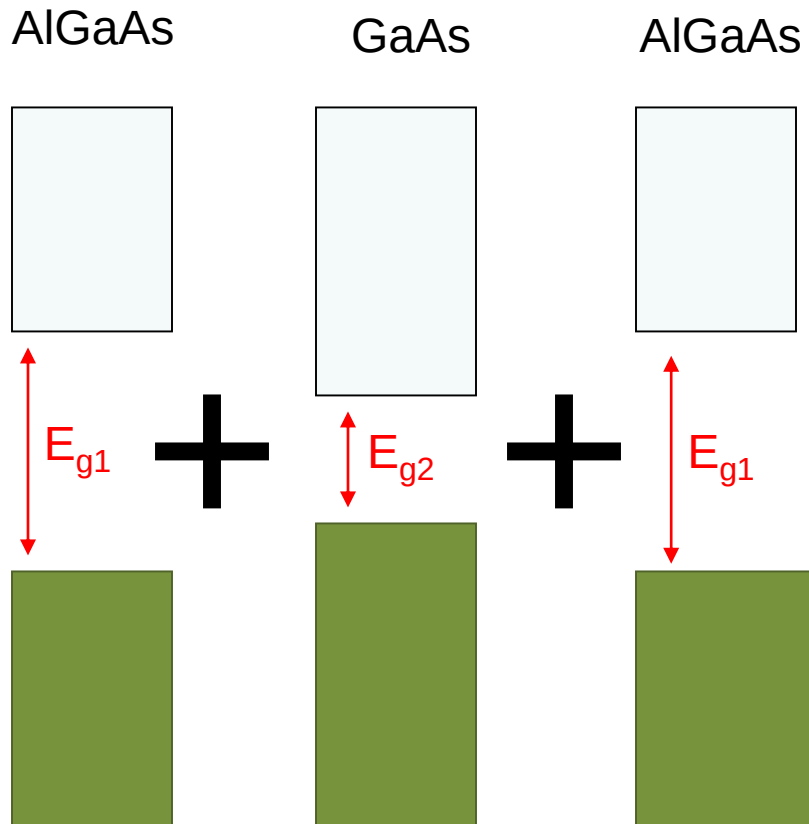


“0D”

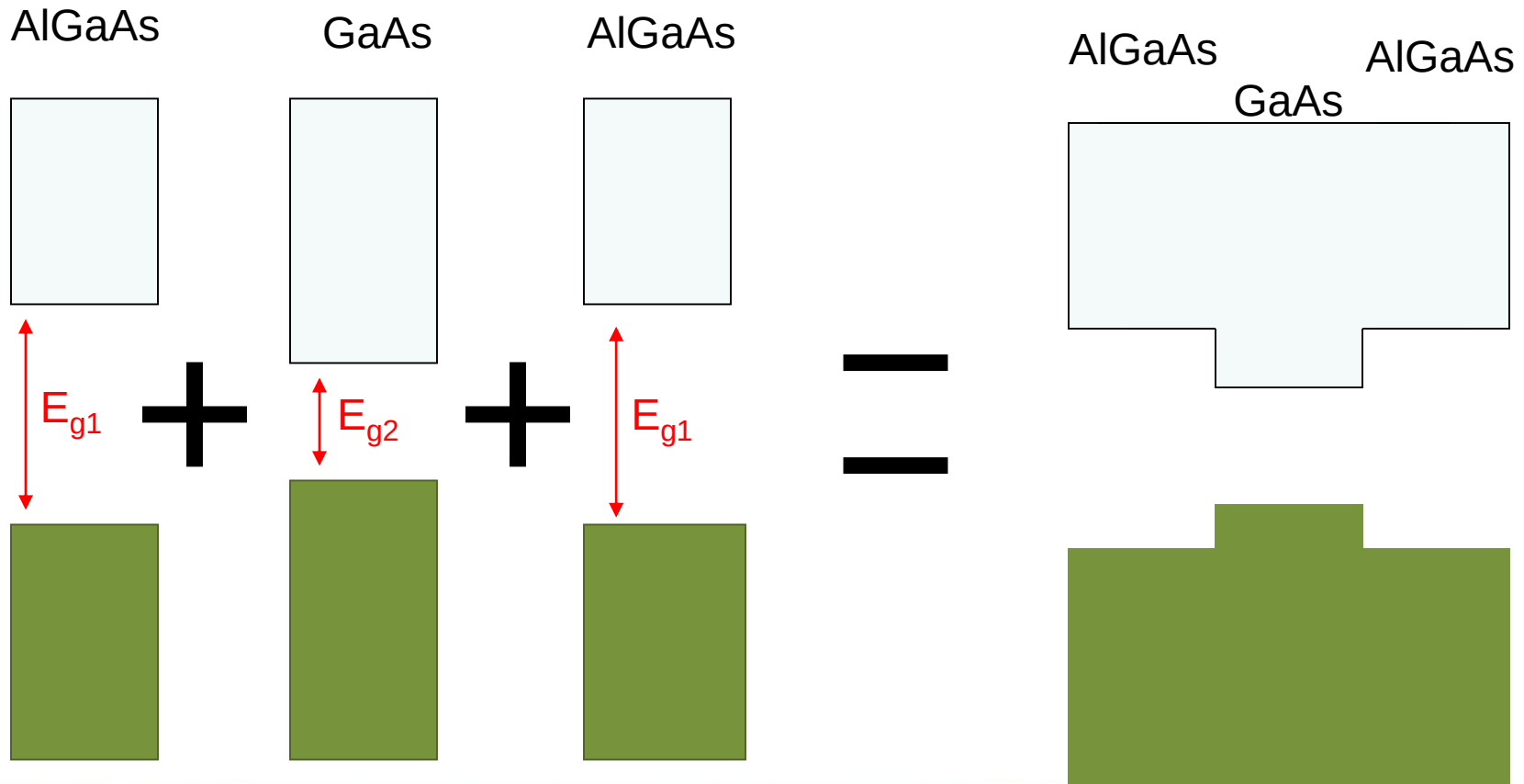
Dyskretna struktura elektronowa

Za tydzień!

Studnia kwantowa



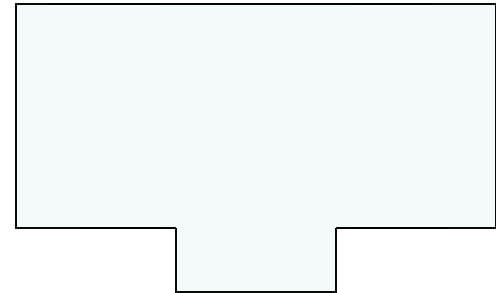
Studnia kwantowa



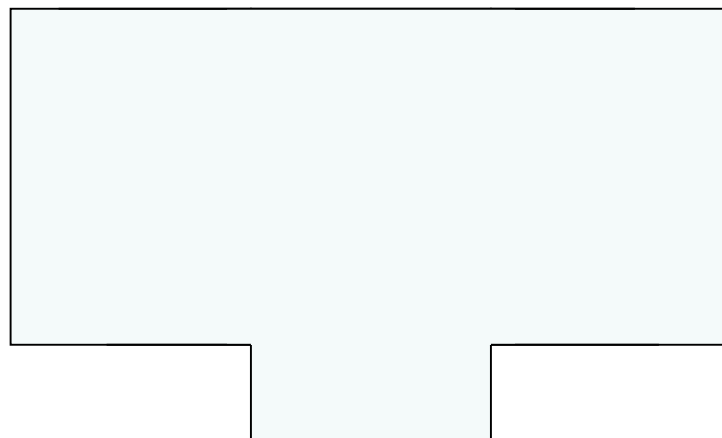
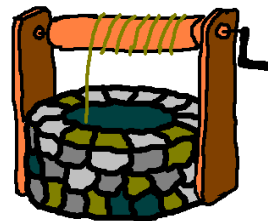
Studnia kwantowa



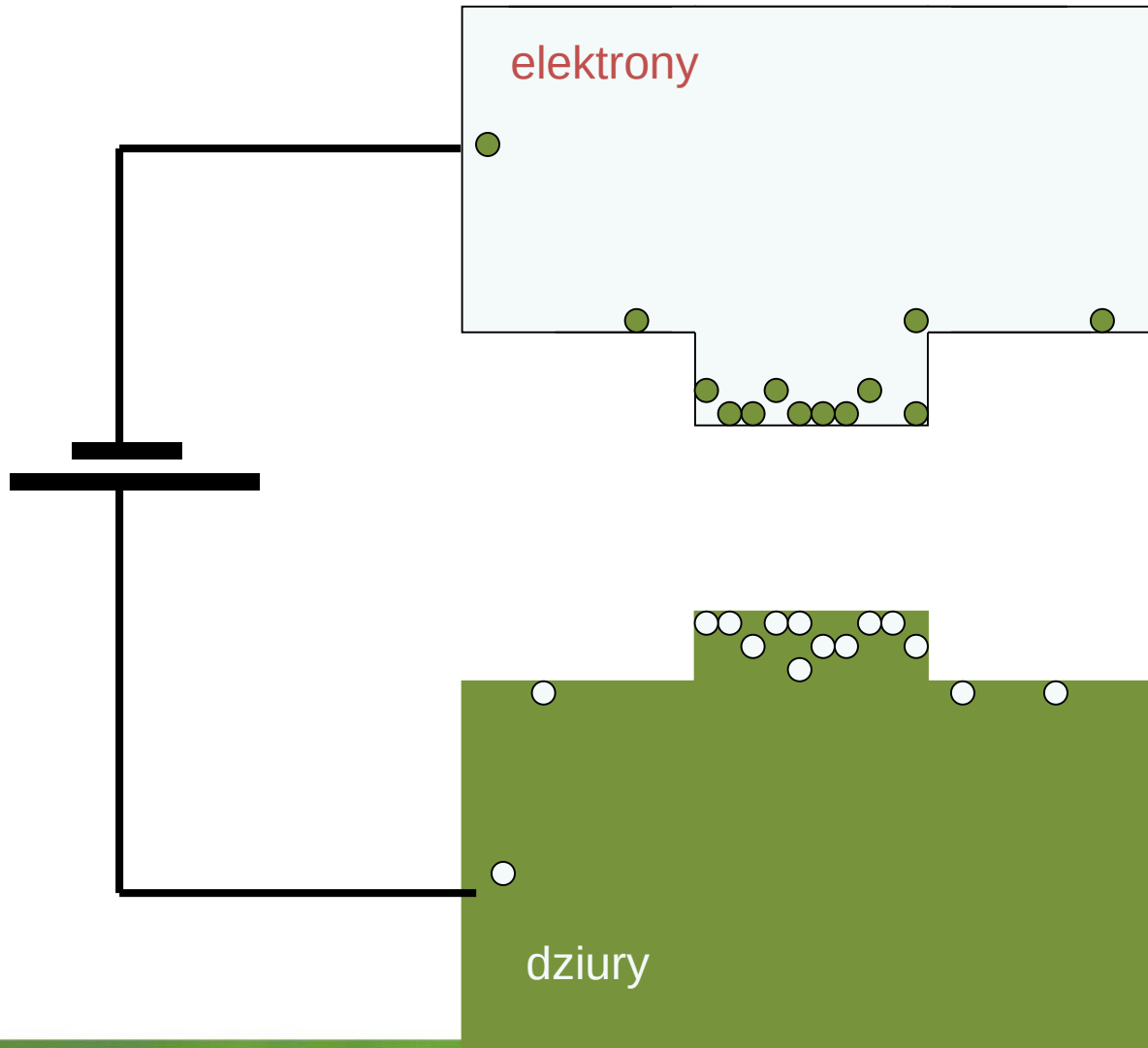
AlGaAs AlGaAs
GaAs



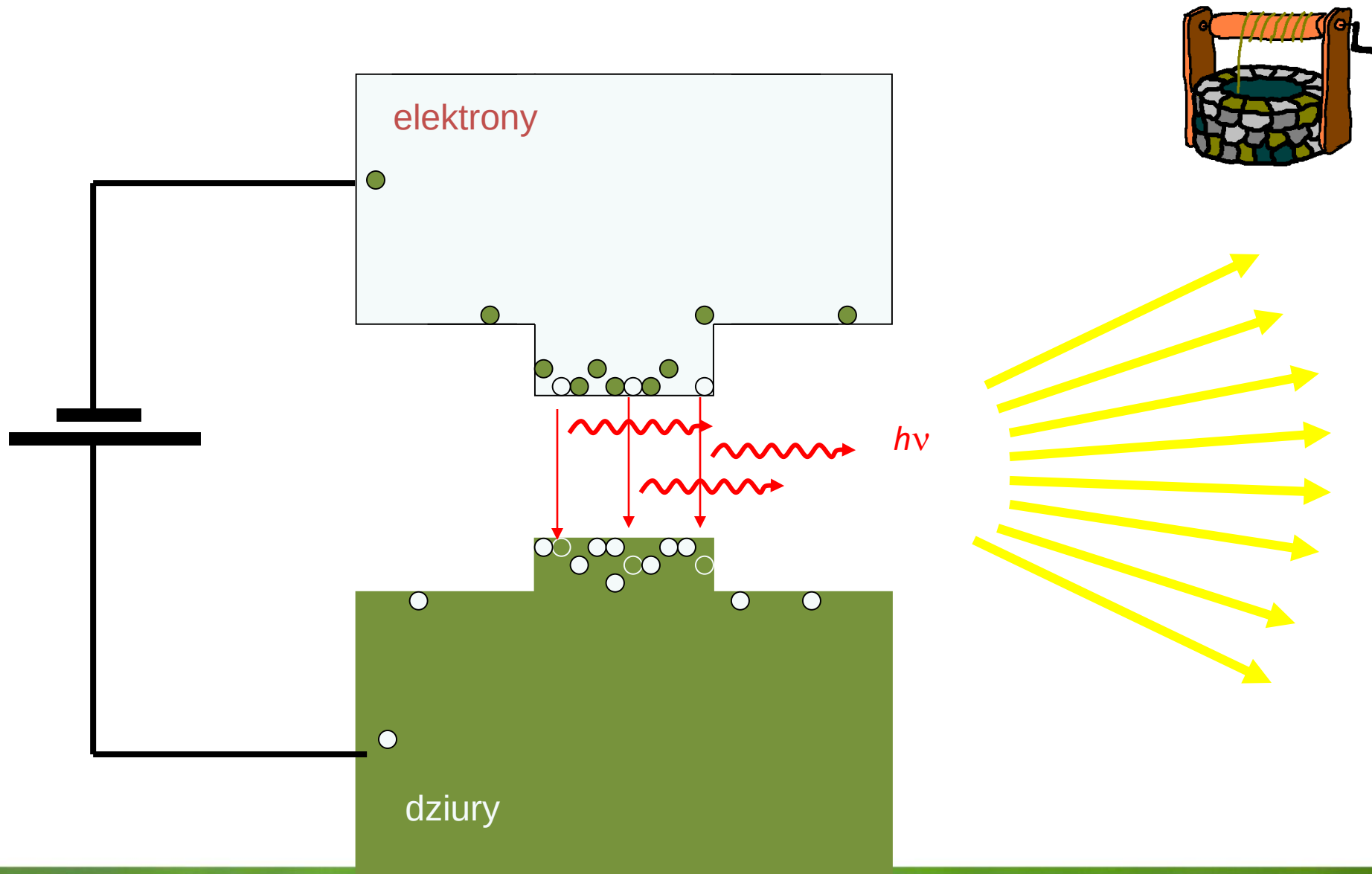
Studnia kwantowa



Studnia kwantowa

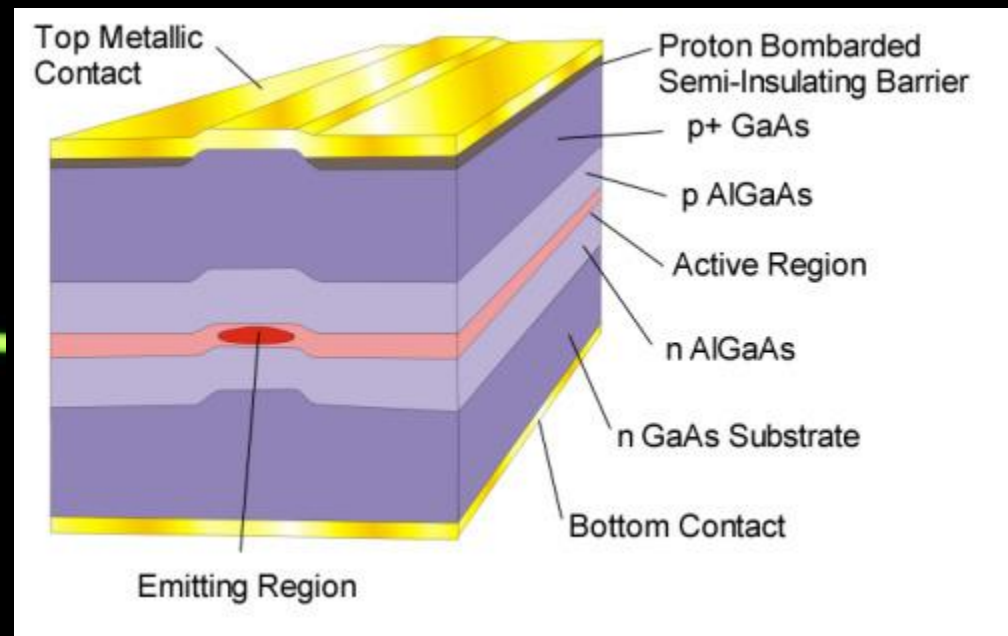
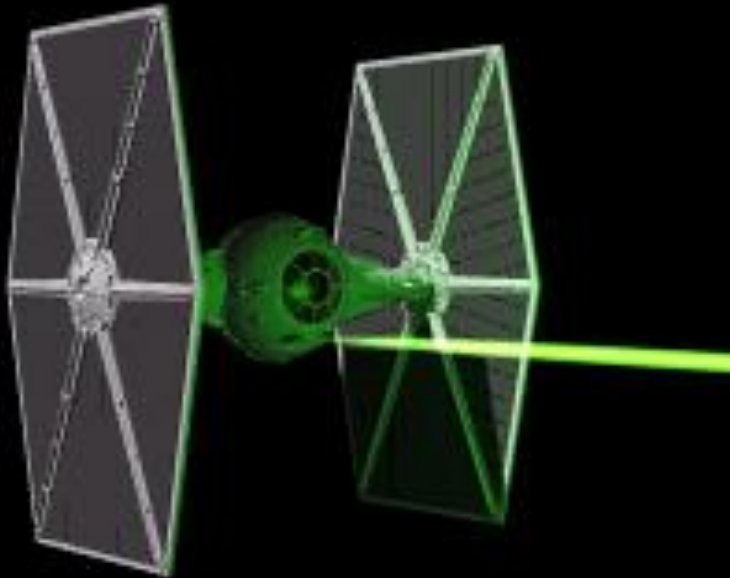


Studnia kwantowa



Studnia kwantowa

Lasery półprzewodnikowe



Dioda laserowa zawiera ok. 400 różnych warstw