

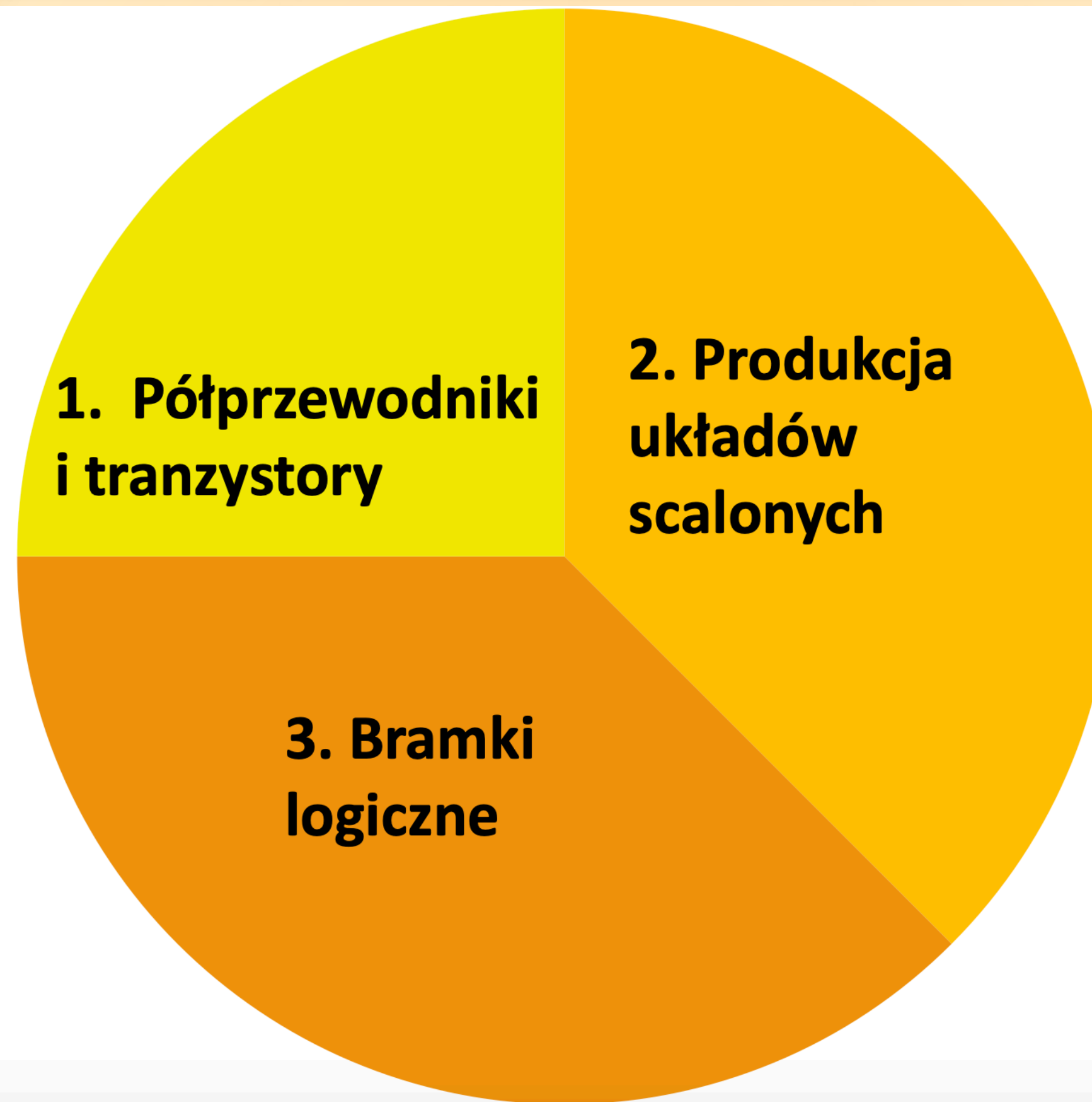
Technologie Informacyjne i Komunikacyjne 2023/2024

dr Magdalena Posiadała-Zezula



Wykład 5
Jak działa komputer -
od kryształu półprzewodnikowego
do operacji logicznych w
procesorze

Jak działa komputer?



Pierwszy dysk twardy



Dysk twardy IBM
Model 350
Pojemność 5MB

Dysk twardy - dziś



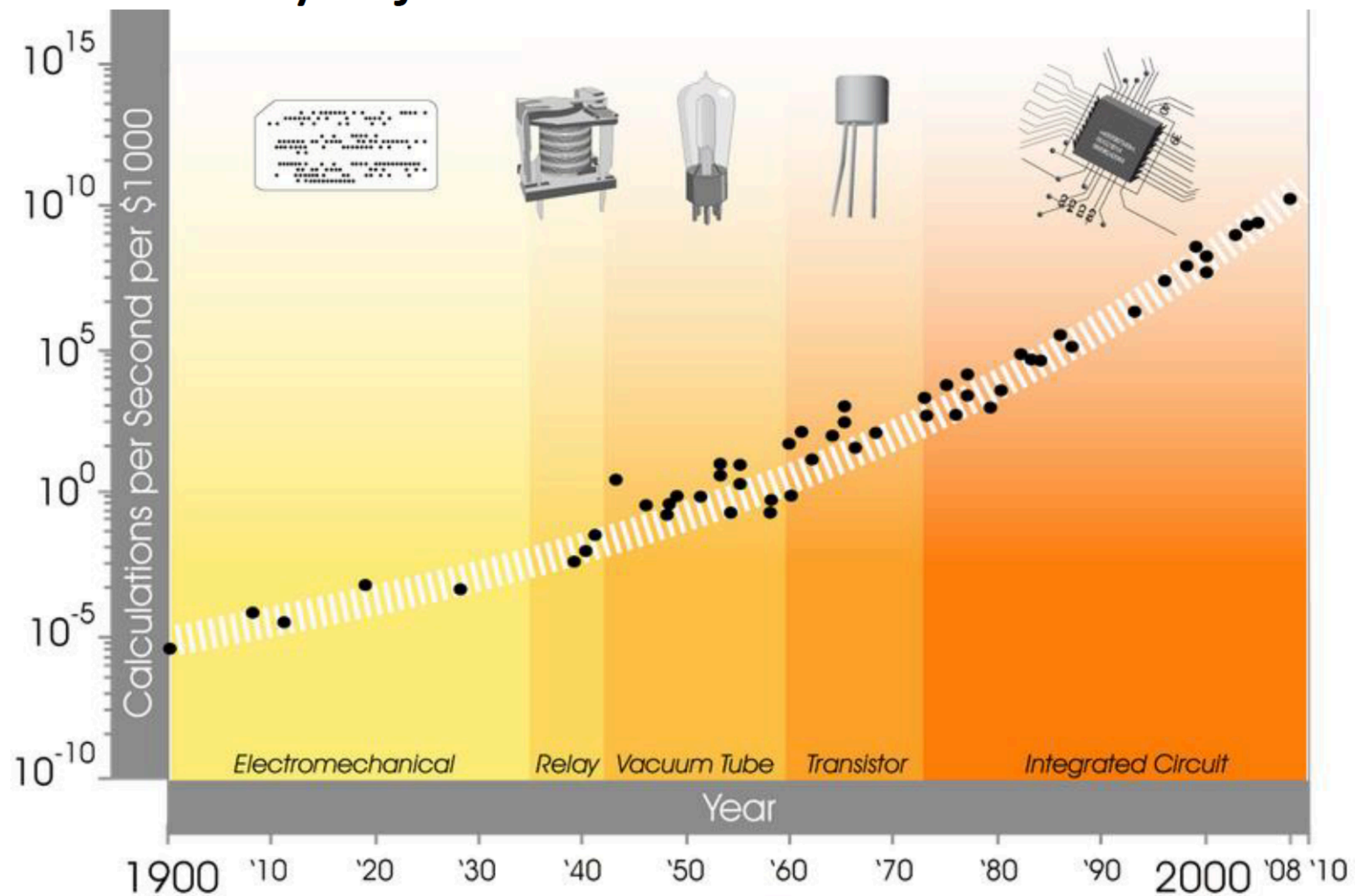
Dysk twardy IBM
Model 350
Pojemność 5MB

2020



Mini pendrive
1TB USB

Wydajność obliczeniowa vs czas



Źródło: Kurzweil

Co stoi za rozwojem elektroniki?

- Półprzewodniki (m. in. metody wytwarzania, czystość)
- Technologia (m. in. mikro i nanostrukturyzacja)

Mikroskopowy opis prądu elektrycznego

Natężenie prądu [A - amper]

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}; \quad I = \frac{dQ}{dt}$$

Gęstość prądu w przewodniku [A/m²]

$$j = \frac{I}{S} = n \cdot q \cdot v$$

pole przekroju przewodnika

koncentracja nośników ładunku
w przewodniku [1/cm³]
= ilość nośników na jednostkę
objętości

ładunek nośnika,
dla elektronu $q = -e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ C

prędkość nośników prądu



Prawo Ohma

$$j = \sigma \cdot E; \quad E = -\frac{\Delta V}{\Delta l}$$

oporność właściwa [Ω*m]

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

przewodnictwo właściwe

$$\frac{1}{\rho} = \sigma = n \cdot q \cdot \mu$$

- natężenie pola elektrycznego
= (różnica potencjałów) / (odległość)

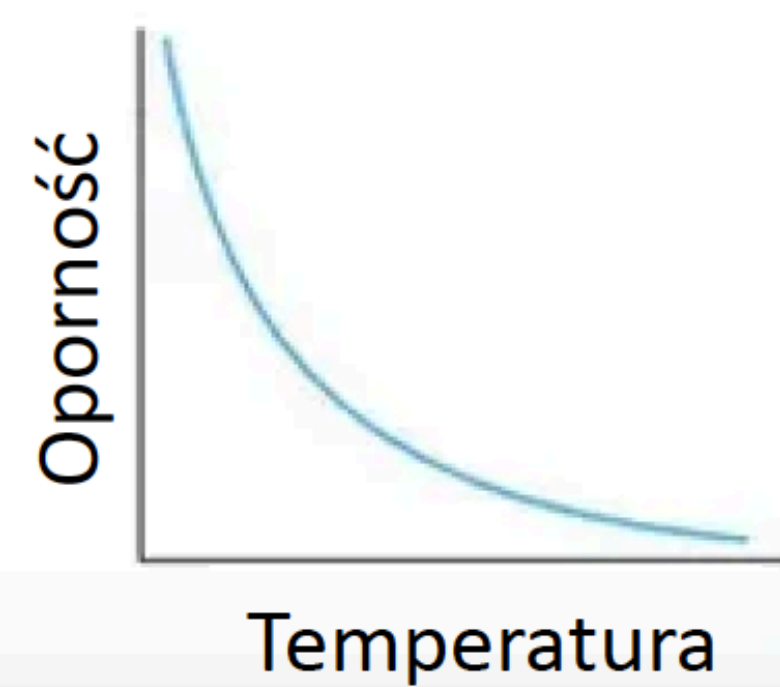
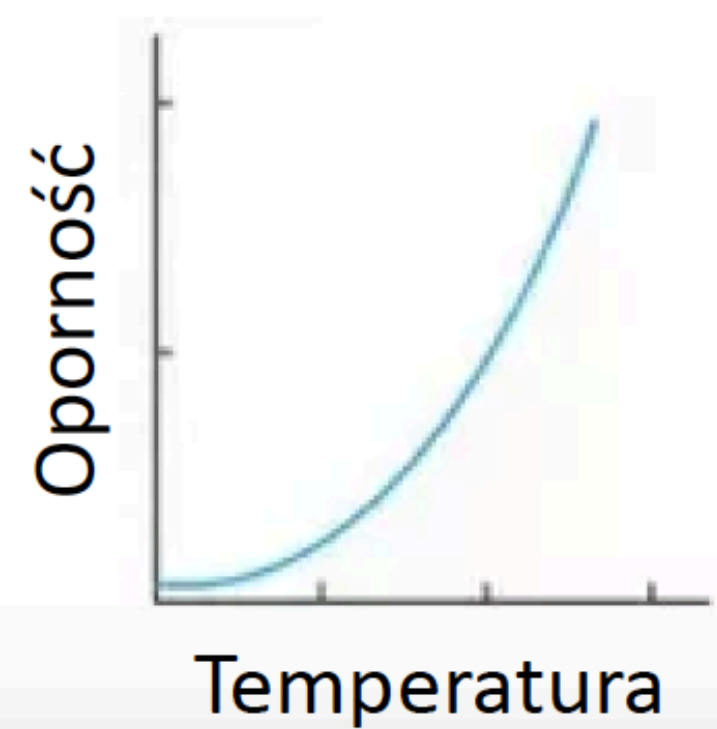
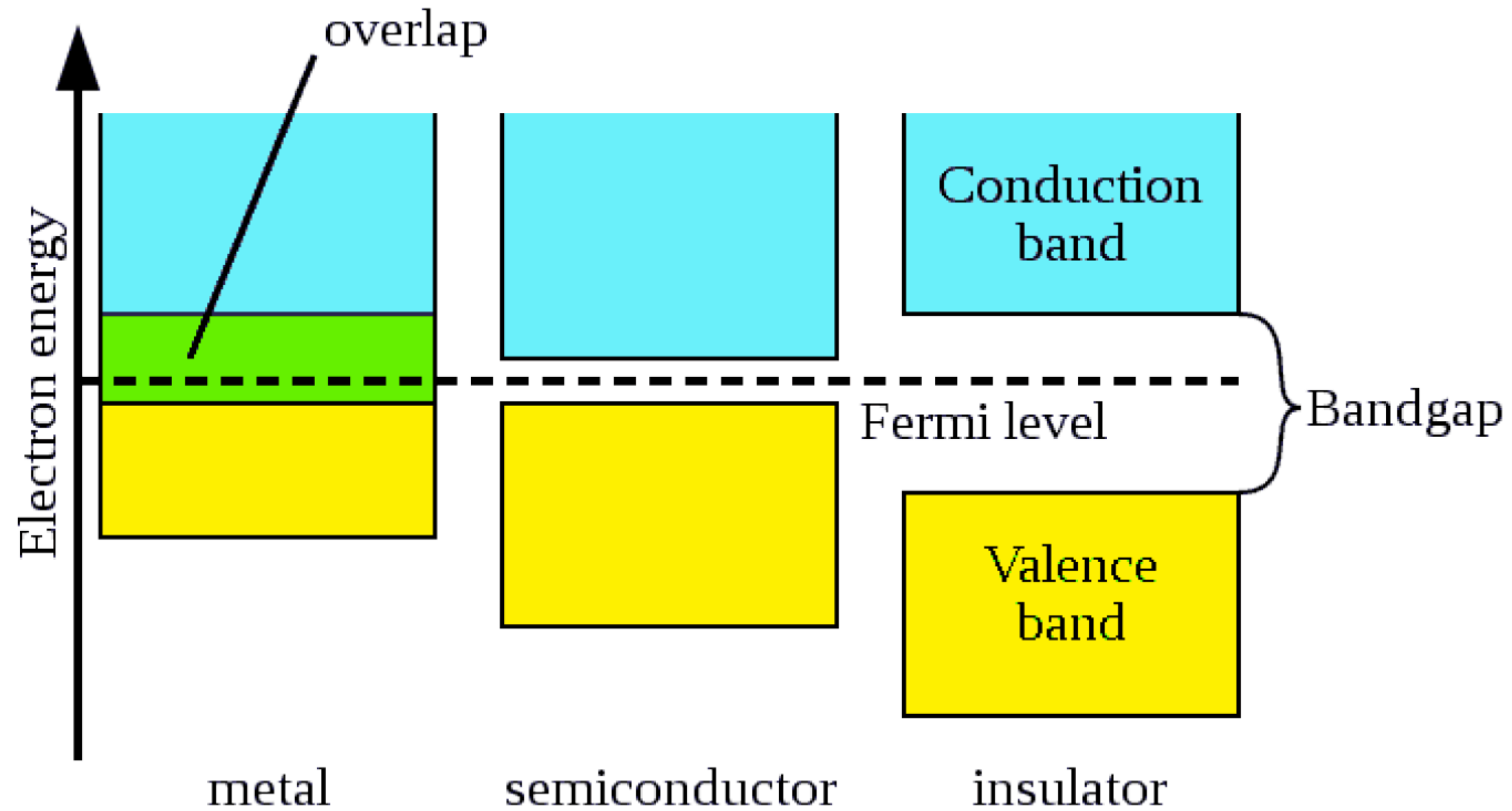
$$v = \mu \cdot E$$

ruchliwość nośnika prądu
- wiąże prędkość nośnika
z natężeniem pola elektrycznego,
opisuje hamowanie ruchu nośnika
(rozpraszanie nośników),
 $\mu = \text{const}$ dla małych natężeń pola E

W **metalach** ruchliwość maleje ze wzrostem temperatury (silniejsze rozpraszanie przez drgające atomy) - oporność właściwa rośnie.

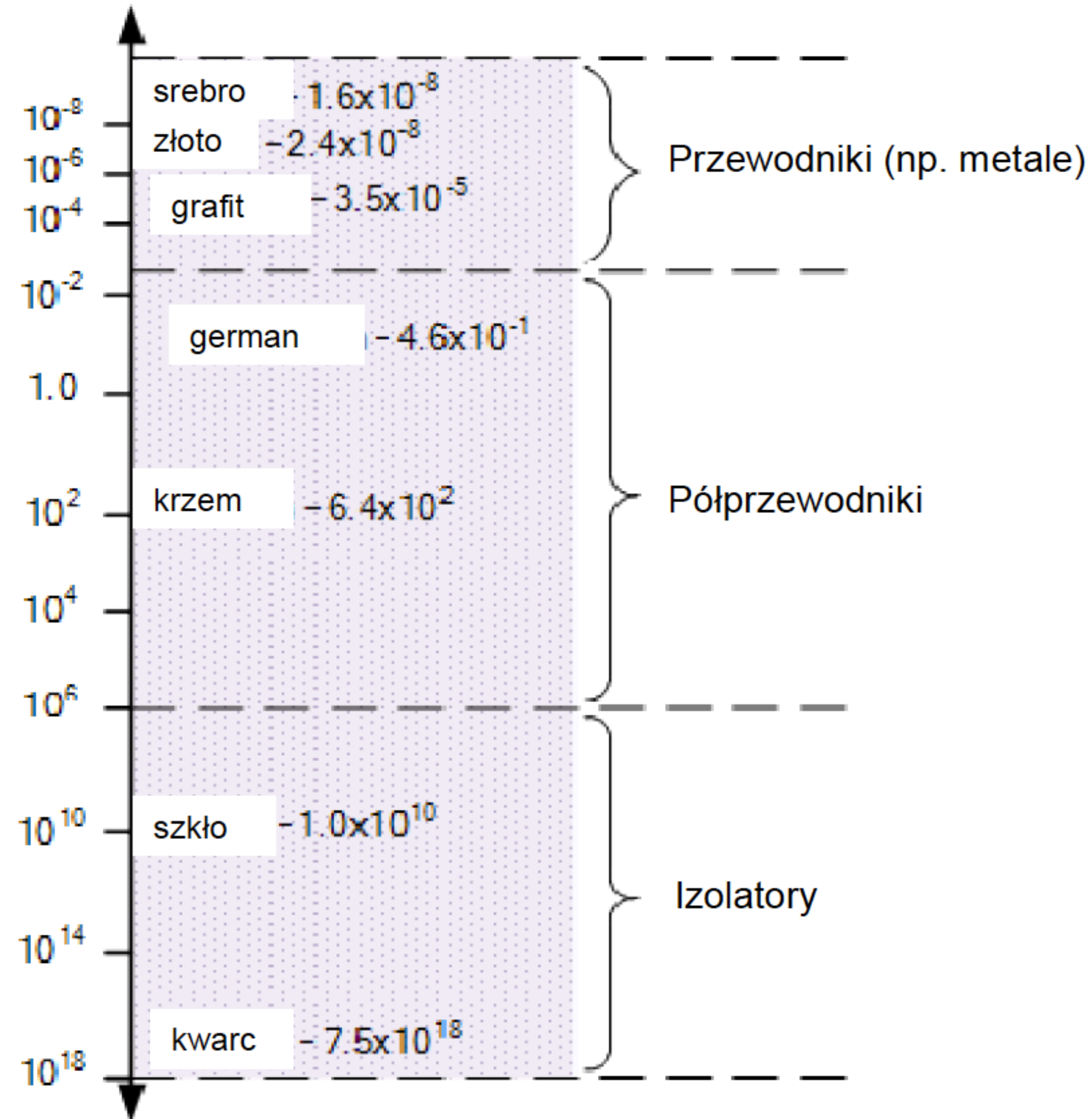
W **półprzewodnikach** rośnie koncentracja nośników prądu przy wzroście temperatury – oporność właściwa maleje.

Metale, półprzewodniki i izolatory

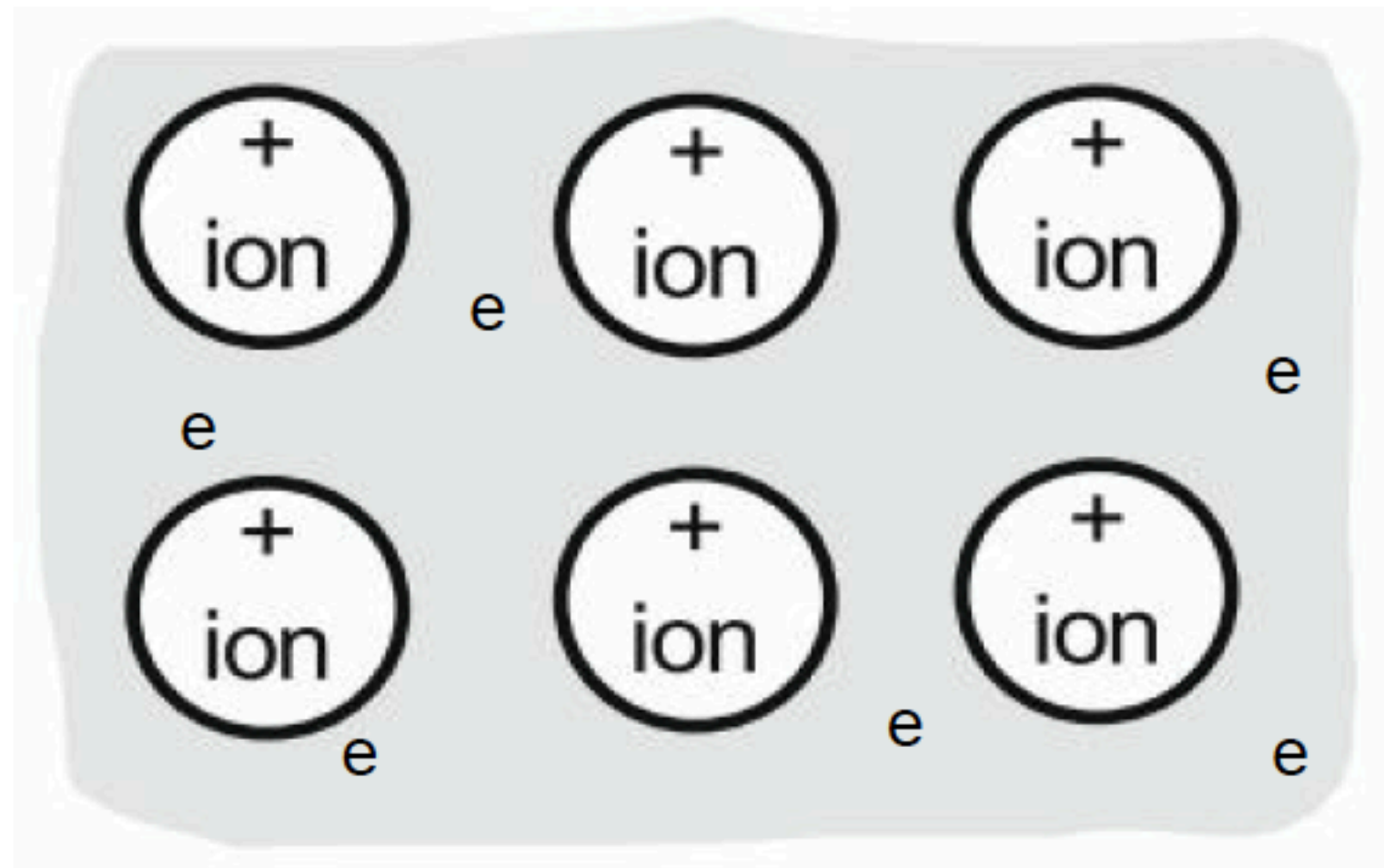
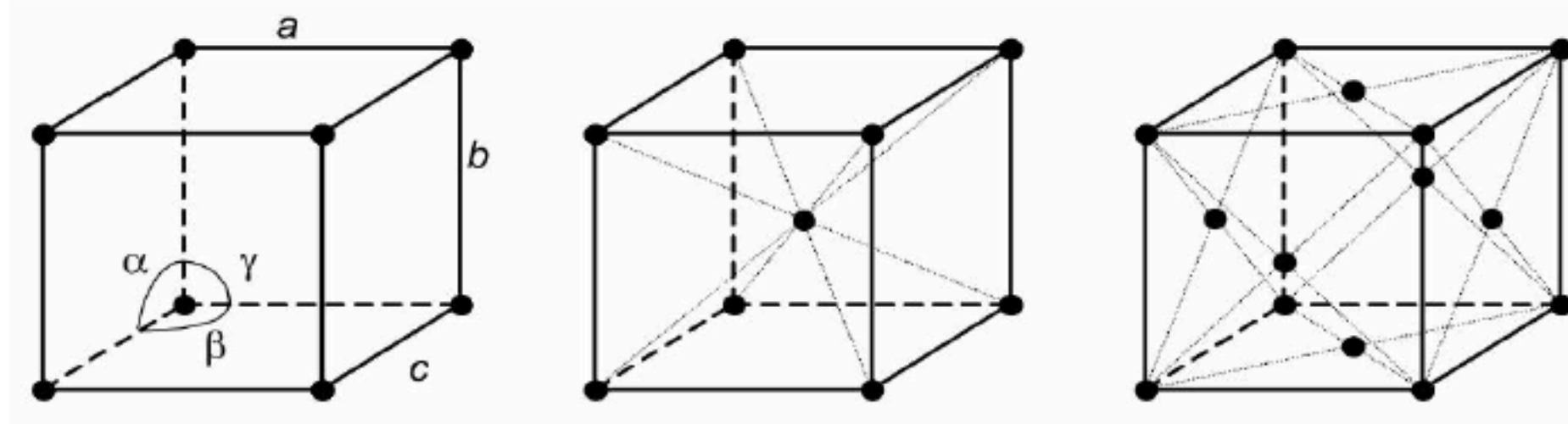


Przewodnictwo ciał stałych – przewodniki, izolatory, półprzewodniki

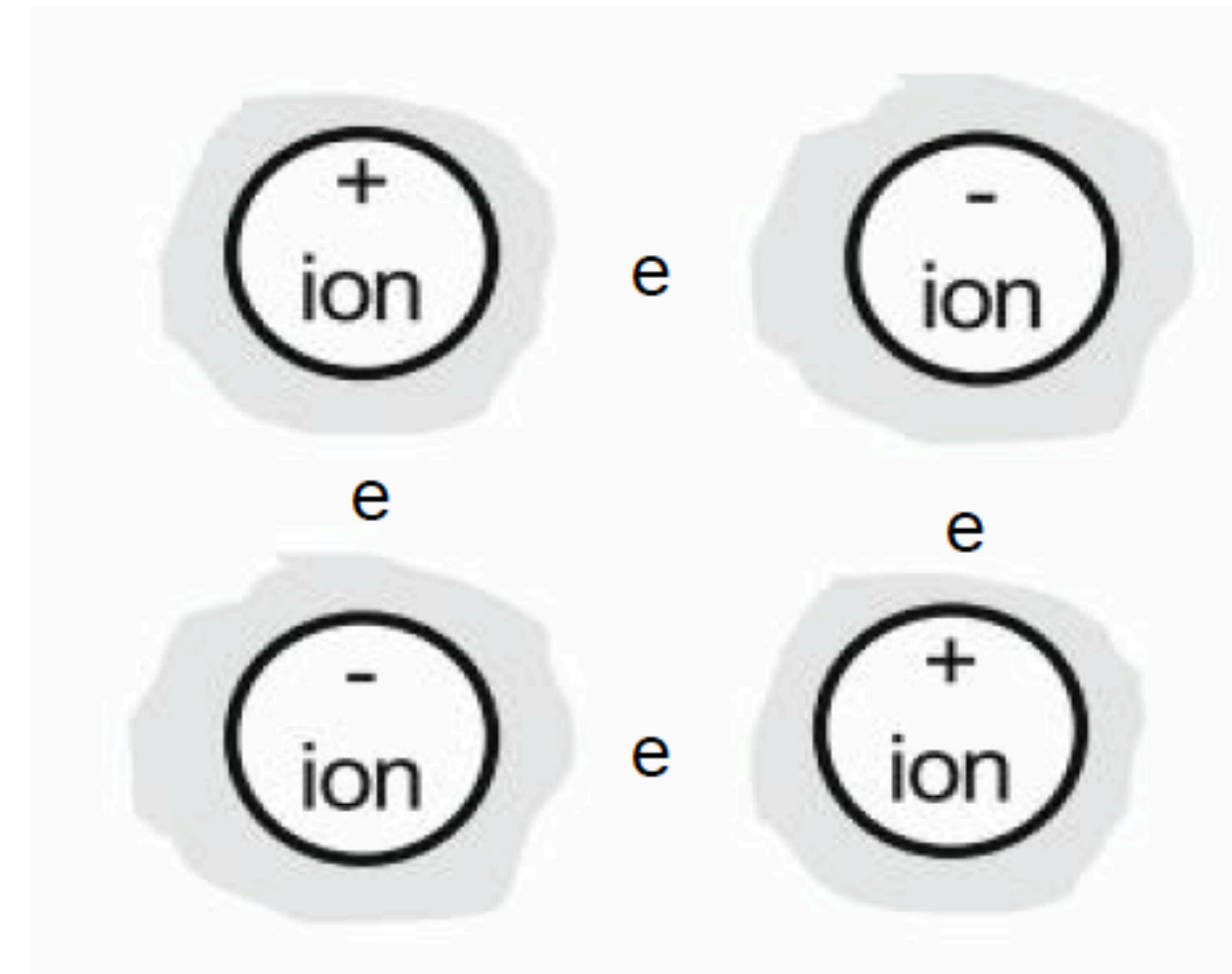
Oporność właściwa $\Omega\cdot m$



Ciało stałe – ma postać krystaliczną
- atomy ułożone w periodyczną sieć przestrzenną

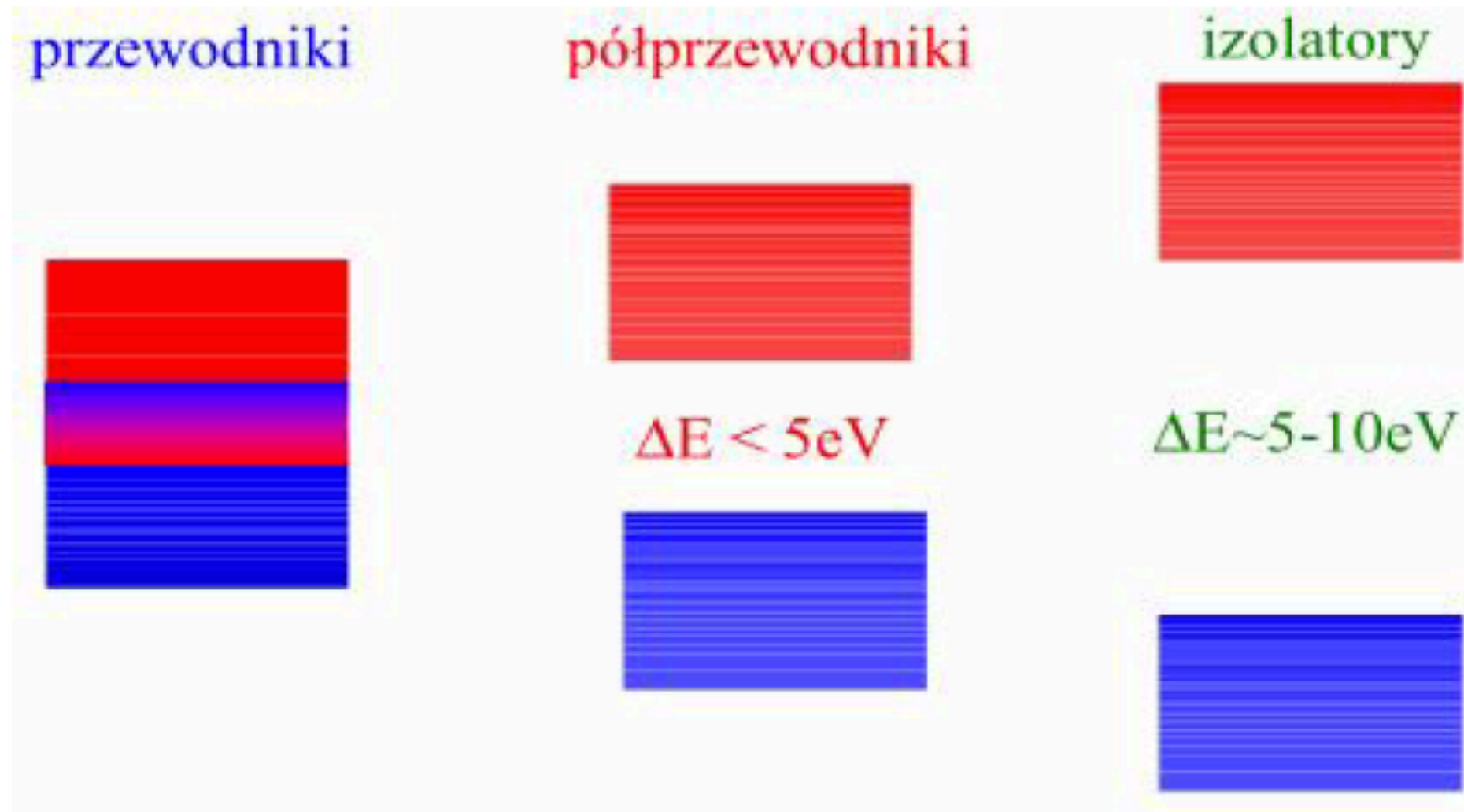


Model kryształu metalu
- istnienie elektronów swobodnych
przemieszczających się po całym
kryształe



Model kryształu kowalencyjno-jonowego
- elektrony walencyjne są zlokalizowane w
wiązaniach między atomami

Energia
elektronu



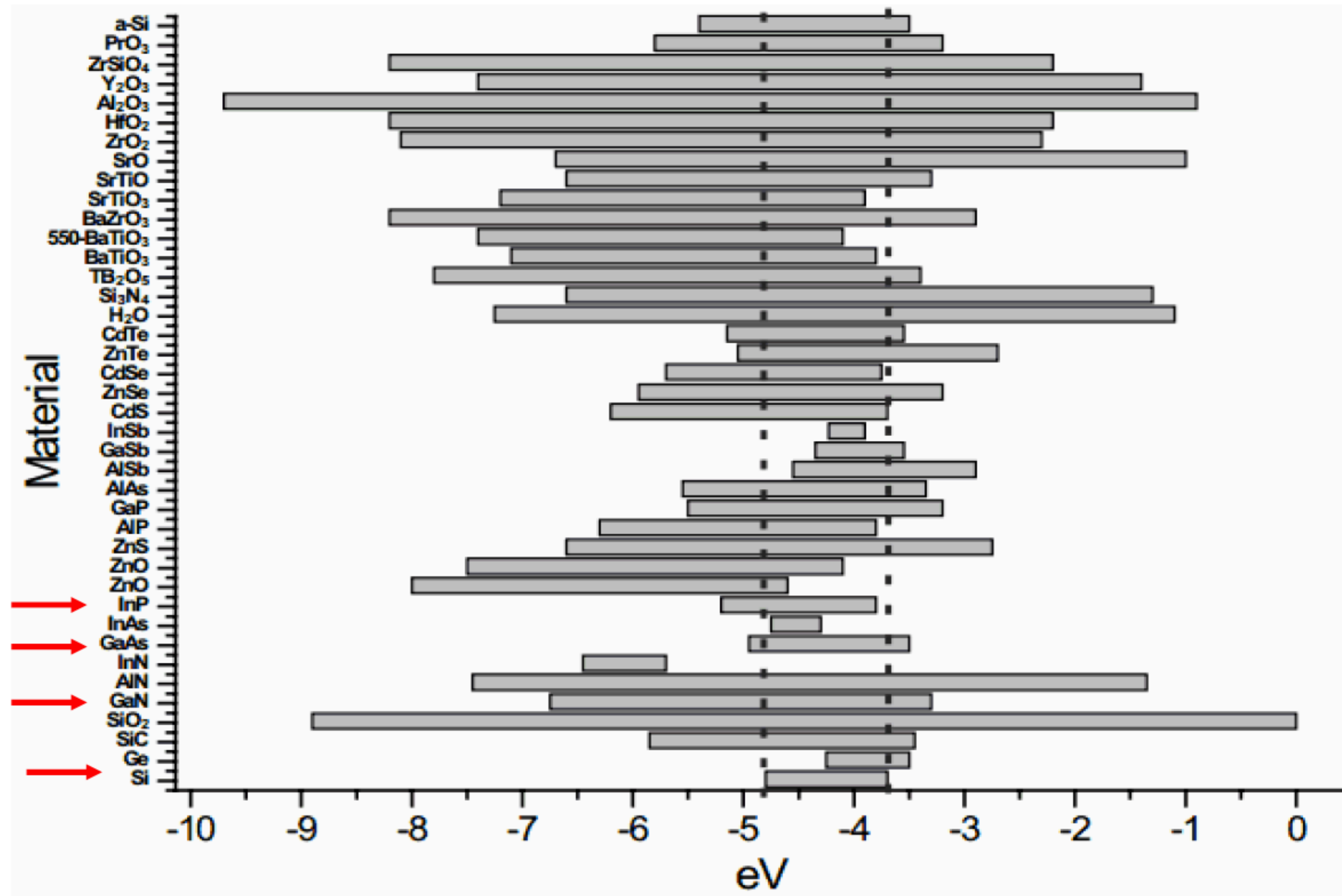
Pasmo przewodnictwa

Pasmo walencyjne

Przewodniki (metale) – pasmo wypełnione częściowo (np. Na)
lub pasma wypełnione i puste częściowo przekrywają się (np. Zn),
ilość nośników prądu $n \sim 10^{22} \text{ cm}^{-3} \sim =$ koncentracji atomów w kryształach

Izolatory – pasmo przewodnictwa rozdzielone dużą przerwą energetyczną
od pasma walencyjnego $n < \sim 10^7 \text{ cm}^{-3}$

Półprzewodniki – pasma przewodnictwa i walencyjne są rozdzielone niewielką
przerwą energetyczną $n \sim 10^{13} \div 10^{19} \text{ cm}^{-3}$



Przerwa energetyczna w różnych materiałach półprzewodnikowych lub izolatorach

Ge: 0.66 eV, Si: 1.1 eV,

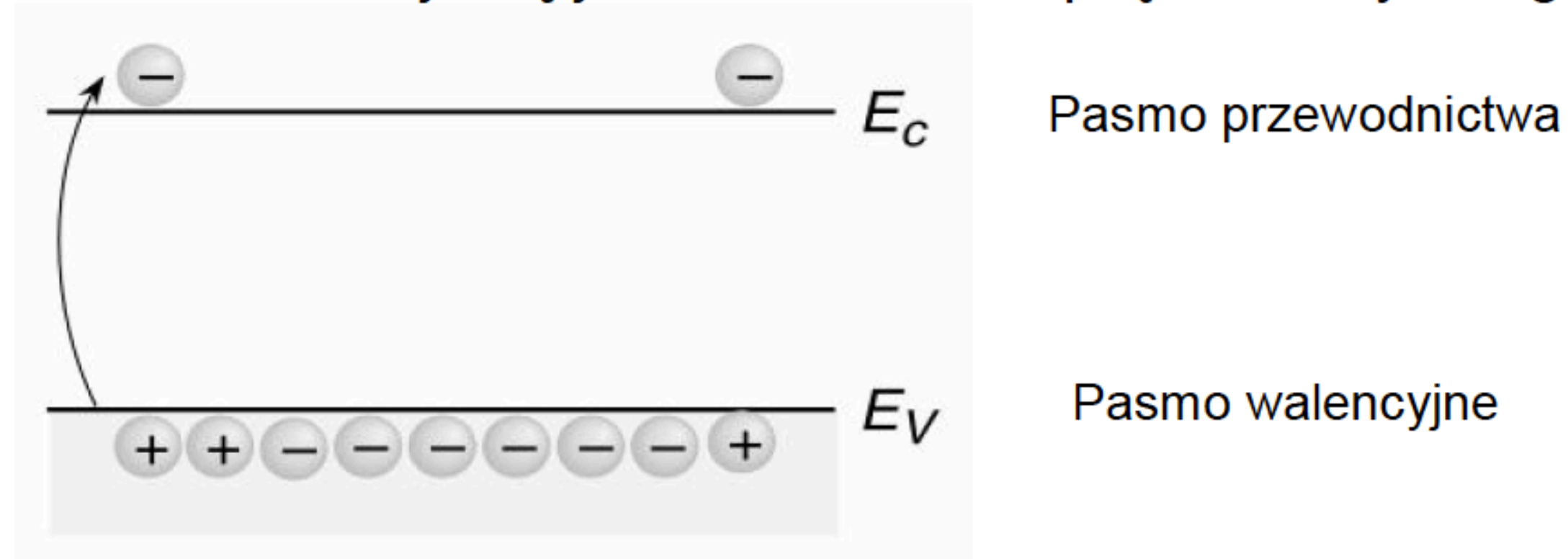
GaAs 1.4eV, AlAs: 2.2 eV, InAs: 0.4 eV

GaN: 3.4 eV, AlN: 6.2 eV, InN: 0.8 eV

$$1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Elektrony i dziury – dwa rodzaje nośników prądu

- Zabranie elektronu z całkowicie wypełnionego pasma walencyjnego umożliwia przeniesienie prądu w pasmie walencyjnym
- dziura** – zachowuje się jak dodatni nośnik prądu elektrycznego



Koncentracje elektronów i dziur równowagowe w temperaturze T:

$$n \cdot p = (const) \cdot e^{-\frac{E_g}{kT}} \quad k = \frac{R}{N_A} \text{ - stała Boltzmana} \quad kT = 0.025 \text{ eV} \quad \text{dla } T = 300K$$

n – koncentracja elektronów w pasmie przewodnictwa

p – koncentracja dziur w pasmie walencyjnym

$$\sigma = n \cdot e \cdot \mu_{elektron} + p \cdot e \cdot \mu_{dziura} \quad \text{- przewodnictwo elektronowe i dziurowe}$$



Można tworzyć nierównowagowe koncentracje elektronów i dziur przez:

- **oświetlenie** fotonami o energii $> E_{gap}$ (**generacja** światłem)
- **wstrzykiwanie** elektronów lub dziur z innego materiału

Nierównowagowe elektrony i dziury **rekombinują** (elektron „zapełnia” dziurę) po czasie życia $\sim ns - \mu s$.

W swoim czasie życia elektrony i dziury mogą się przemieszczać i przenoszą prąd.

Domieszkowanie półprzewodnika

– możliwość **domieszkowania elektrycznego** to najważniejsza cecha umożliwiająca zastosowania półprzewodników !!!

Nie każdy związek chemiczny w postaci krystalicznej daje się domieszkować elektrycznie – i nie do końca wiadomo dlaczego !!!

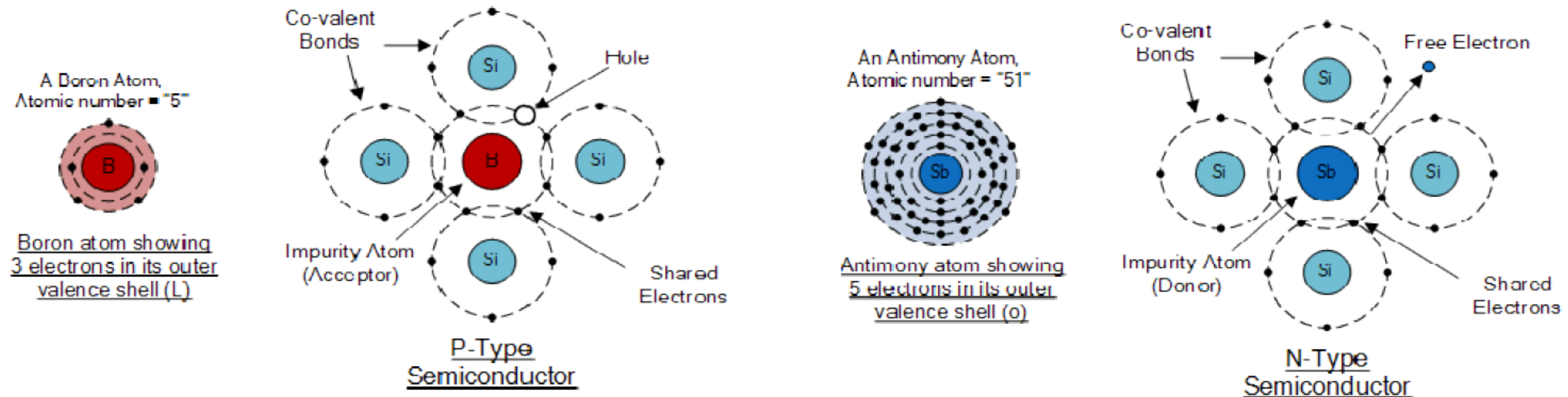
Użyteczne półprzewodniki to tylko takie materiały, które dają się domieszkować elektrycznie np.: Si, Ge, AlGaInAs, GaAlInN, itp.

Domieszkowanie – zwiększanie koncentracji nośników prądu i zmiana typu nośników:

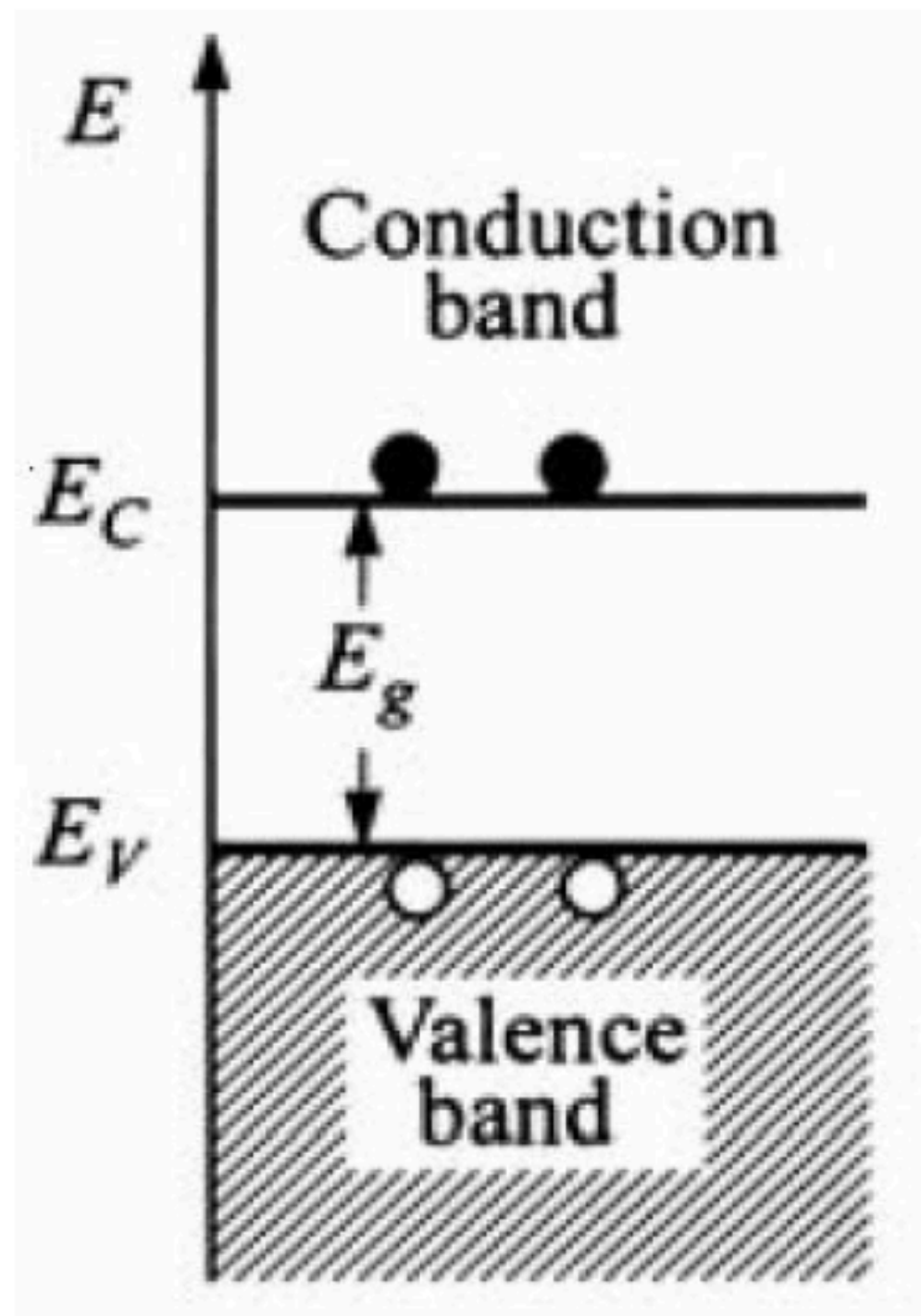
- półprzewodnik typu n - większościami nośnikami prądu są elektrony, np. Si:Sb
- półprzewodnik typu p - większościami nośnikami są dziury, np. Si:B

Półprzewodnik typu p,
np. Si domieszkowany borem Si:B

Półprzewodnik typu n,
np. Si domieszkowany antymonem Si:Sb



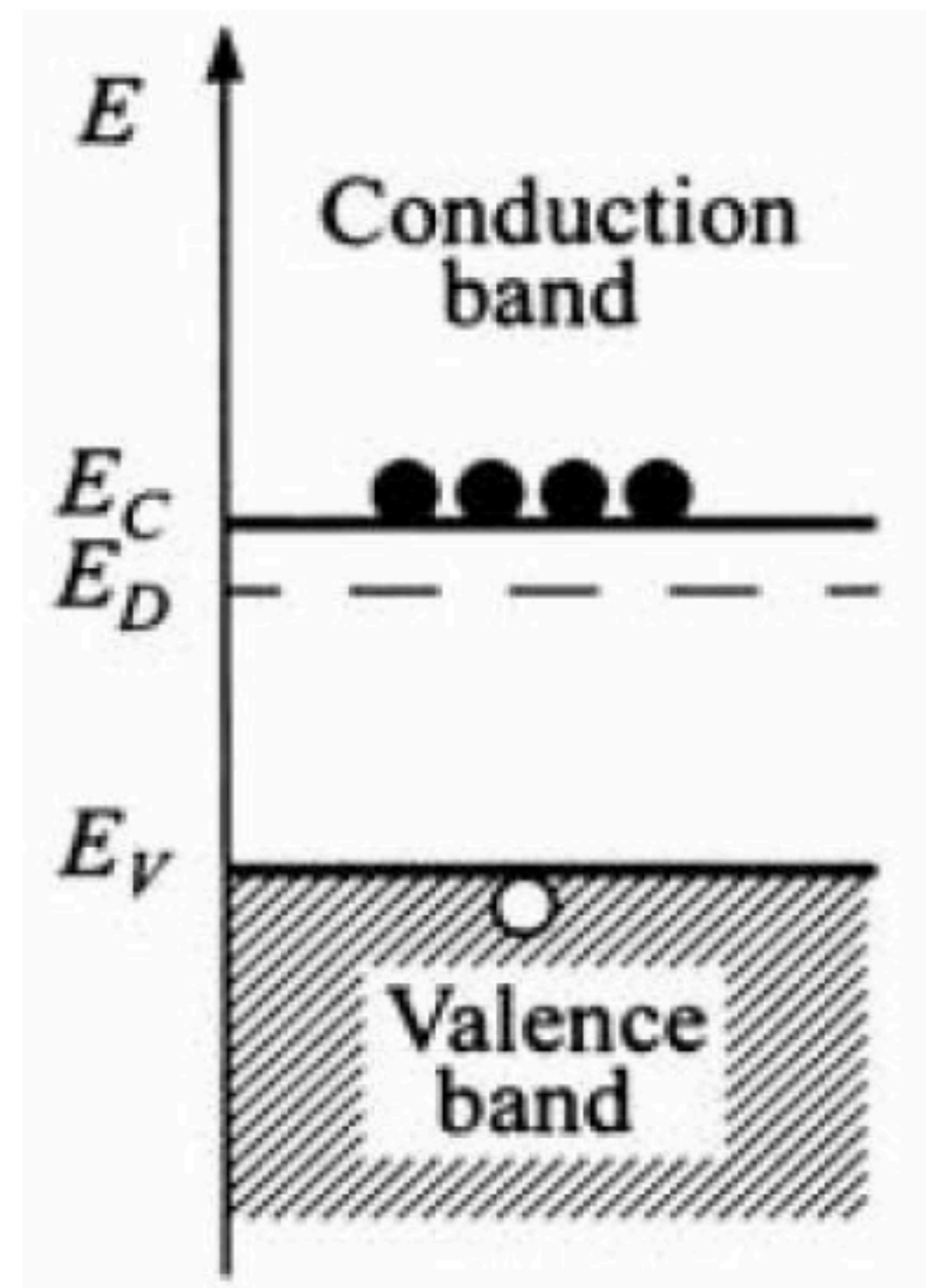
Pasmo walencyjne (E_V) – pasmo przewodnictwa (E_C) – przerwa energetyczna - domieszkowanie



Półprzewodnik samoistny

$$n = p = n_i$$

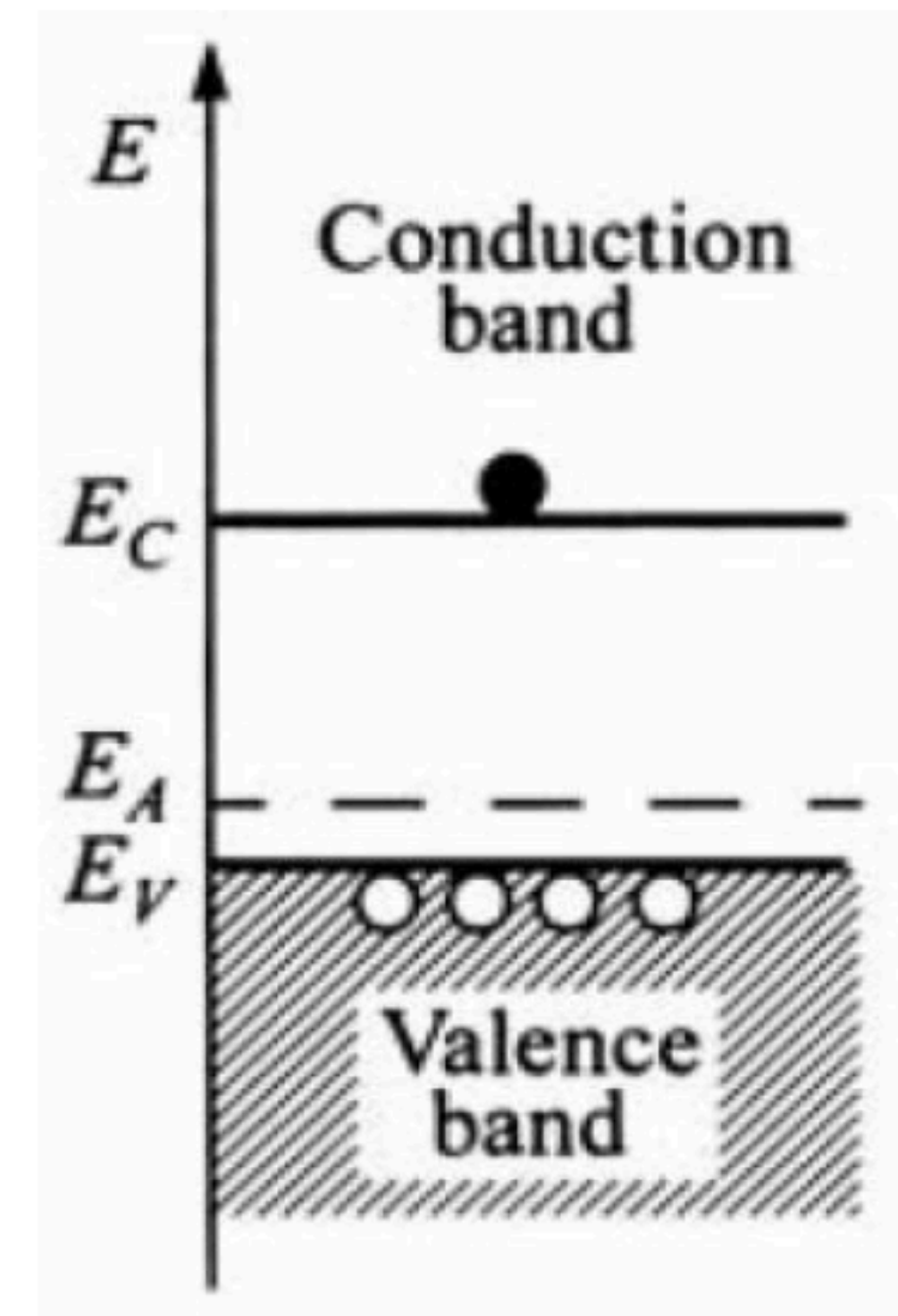
n_i – koncentracja samoistna



Półprzewodnik domieszkowany typu n

$$n = p + N_D$$

N_D – koncentracja atomów donora



Półprzewodnik domieszkowany typu p

$$p = n + N_A$$

N_A – koncentracja atomów akceptora

Podstawowy element elektroniczny - tranzystor

- **Transistors, How do they work ?**
- <https://www.youtube.com/watch?v=7ukDKVHnac4>

<https://www.youtube.com/watch?v=7ukDKVHnac4>

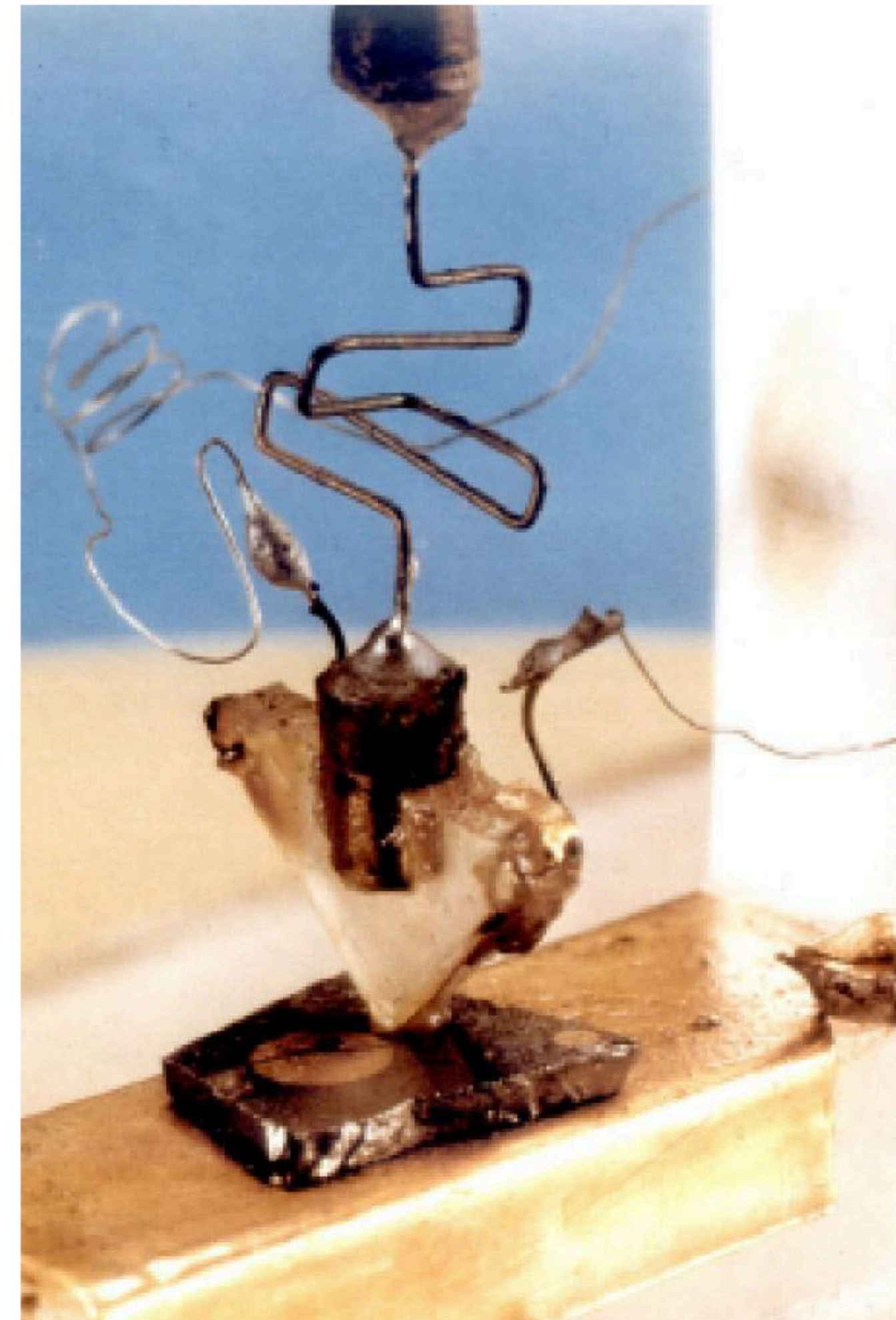
Pierwszy tranzystor

Pierwszy pomysł: 1925, Julius E. Lilienfeld, (ur. 1882, Lwów, Austro-Węgry – zm. 1963, USA)

Pierwsza realizacja: **Tranzystor ostrzowy**



John Bardeen, William Shockley and Walter Brattain, Bell Labs, 1947



Układ scalony



= zintegrowany układ tranzystorów, diod, oporników i kondensatorów

Jak wytwarza się układy scalone?

Chip Manufacturing - How are Microchips made?

- <https://www.youtube.com/watch?v=bor0qLifjz4>

Zoom Into a Microchip

- <https://www.youtube.com/watch?v=Fxv3JoS1uY8>

Photolithography

- <https://www.youtube.com/watch?v=oBKhN4n-EGI>

Thank you!

Photo Credit: Piotr Mijakowski

