



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

## NAUKA O MATERIAŁACH

### Wykład XIV: Właściwości optyczne

JERZY LIS  
Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki

---

---

---

---

---

---

---

---



### Treść wykładu:

Treść wykładu:

1. Wiadomości wstępne:
  - a) Załamanie światła
  - b) Absorpcja
  - c) Transmisja
2. Mechanizmy pochłaniania światła w materiale
3. Mechanizmy powstawania barwy
4. Elementy optoelektroniki



NAUKA O MATERIAŁACH XV: Właściwości optyczne

---

---

---

---

---

---

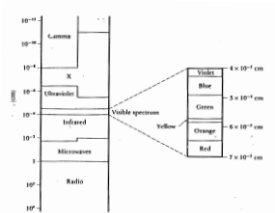
---

---



### Wiadomości wstępne

Tradycyjnie właściwości optyczne wiążą się z zachowaniem się materiałów pod wpływem działania fali elektromagnetycznej w zakresie zbliżonym do światła widzialnego



Zakresy długości fal elektromagnetycznych

NAUKA O MATERIAŁACH XV: Właściwości optyczne

---

---

---

---

---

---

---

---

**AGH** **Wiadomości wstępne**

Rozpatrując właściwości optyczne bierzemy pod uwagę korpuskularno-falowy charakter promieniowania elektromagnetycznego

**Energia fotonu**  
 $E = h\nu = hc/\lambda$

**h** – stała Plancka =  $6,62 \cdot 10^{-32}$  Js

**W obszarze właściwości optycznych**

Zakres promieniowania	Długość fali promieniowania $\lambda$ [ $\mu\text{m}$ ]	Energia kwantów promieniowania $h\nu$ [eV]
podczerwone	0,7-100	0,001-1
światło widzialne	0,4-0,7	1-10
nadfioletowe	0,2-0,4	10-1000

NAUKA O MATERIAŁACH XV: Właściwości optyczne

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**AGH** **Wiadomości wstępne**

Zjawiska zachodzące w wyniku oddziaływania fali elektromagnetycznej na materiał:

- Odbicie (światła)
- Załamanie
- Absorpcja
- Transmisja
- Barwa

NAUKA O MATERIAŁACH XV: Właściwości optyczne

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**AGH** **Załamane światła**

$n = \sin\alpha / \sin\beta = v_1 / v_2 = \lambda_2 / \lambda_1$

**n** – współczynnik załamania światła (fali elektr.)

Istnieje zależność  $n = (e\mu)^{1/2}$

Dla niemagnetyków  $n = (e)^{1/2}$

Współczynniki załamania światła niektórych materiałów

Materiał	$n_1$	Długość fali promieniowania, [nm]	Materiał	$n_1$	Długość fali promieniowania, [nm]
Diamant	2,42	589,3	ZnO	2,15	–
Si	4,18	589,0	GaAs	4,04	546,1
$\text{Si}_3\text{N}_4$	1,64	–	Szkło kwarcowe	1,468	589,3
PMO	2,66	–	Szkło CROWN	1,52	587,6
TiO <sub>2</sub> (onyl)	2,61	–	Szkło FLINT	1,62	587,6

NAUKA O MATERIAŁACH XV: Właściwości optyczne

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**AGH** **Załamanie i absorpcja**

Współczynniki załamania ( $n$ ) i absorpcji ( $a$ ) są związane w postaci zespolonego współczynnika załamania:

$$n^* = n - i a$$

NAUKA O MATERIAŁACH XV: Właściwości optyczne

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**AGH** **Odbicie i transmisja**

Odbicie światła:

$$R = [(n - 1)^2 + a^2] / [(n + 1)^2 + a^2]$$

Transmisja (przepuszczalność)  
 Natężenie fali elektromagnetycznej ( w %) przechodzącej przez materiał wynosi:

$$I = I_0 + I_a + I_t$$

gdzie:  
 I – natężenie fali padającej, o odbitej,  
 a - zaabsorbowanej;  
 t - przechodzącej.

NAUKA O MATERIAŁACH XV: Właściwości optyczne

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**AGH** **Absorpcja**

Absorpcja fotonów zachodzi przez wzbudzenie (przejście) układów energetycznych w materiale do wyższych stanów energetycznych (atomów, jonów, elektronów)

$\Delta E = E_1 - E_2 = h\nu \geq E_v$

Wzbudzone elementy mogą powracać do stanów niższych emitując promieniowanie o odpowiedniej długości  
 Materiał może absorbować jedynie kwanty energii większe od wartości energii przerwy energetycznej

NAUKA O MATERIAŁACH XV: Właściwości optyczne

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## Mechanizmy absorpcji światła

### I. METALE

- ✓ Dla metali przy braku przerwy energetycznej możliwe jest pochłanianie kwantów energii promieniowania praktycznie w całym zakresie promieniowania widzialnego
- ✓ **Metale są więc nieprzeźroczyste dla światła widzialnego**
- ✓ Niektóre metale mogą mieć barwę wskutek selektywnego odbicia światła (złoto, miedź)

NAUKA O MATERIAŁACH XV: Właściwości optyczne

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---



## Mechanizmy absorpcji światła

### II. PÓŁPRZEWODNIKI

- ❖ W typowych półprzewodnikach szerokość przerwy energetycznej wynosi 1-4 eV co odpowiada długości światła widzialnego.
- ❖ **Półprzewodniki są więc nieprzeźroczyste dla światła widzialnego natomiast przezroczyste dla podczerwieni.**

### II. IZOLATORY

- Czyste (stechiometryczne) kryształy jonowe i kowalencyjne posiadają wielkość przerwy energetycznej  $> 10$  eV co czyni je przezroczystymi dla światła widzialnego.
- W polikryształach następuje absorpcja światła na tych elementach mikrostruktury (ziarna, pory), które posiadają wymiary większe od długości światła (0,4 - 0,7  $\mu\text{m}$ )
- W praktyce polikryształy ceramiczne są nieprzeźroczyste barwy białej.

NAUKA O MATERIAŁACH XV: Właściwości optyczne

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---



## Barwa

Selektywna absorpcja lub odbicie światła powodująca wyeliminowanie części promieniowania prowadzi do odczucia barwy (oko ludzkie)

Zakres absorpcji światła w zakresie widzialnym i barwa substancji

Zakres absorbowanego promieniowania, nm	Barwa substancji
400-450	żółta
400-565	pomarańczowa
400-610	czerwona
450-650	purpurowa
500-700	niebieska
400-450, 565-700	zielona

NAUKA O MATERIAŁACH XV: Właściwości optyczne

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**AGH Barwa**

Mechanizmy powstawania barwy wiążą się z występowaniem w izolatorze centrów barwnych.

Są to występujące w materiale lokalne dodatkowe poziomy energetyczne, które mogą absorbować światło w zakresie widzialnym.

Zagadnienia te są bardzo ważne praktycznie dla pigmentów, szkła, szklów ceramicznych, kryształów do laserów itp..

**Typy centrów barwnych:**

- I. **Domieszki metali grup przejściowych**
- II. **Defekty punktowe w kryształach**

NAUKA O MATERIAŁACH XV: Właściwości optyczne

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**AGH Barwa**

Ad. I.

Jony metali grup przejściowych (ziem rzadkich) ze względu na nieobsadzone wewnętrzne orbity mogą absorbować promieniowanie w zakresie widzialnym stając się podstawowym sposobem barwienia szkła i kryształów.

Długość absorbowanego promieniowania może być modyfikowana w zależności od otoczenia (koordynacji) w jakiej jony znajdują się w strukturze.

NAUKA O MATERIAŁACH XV: Właściwości optyczne

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**AGH Barwa**

Ad. II

Defekty punktowe w kombinacji z defektami elektronowymi mogą stanowić dodatkowe poziomy energetyczne, które pochłaniając selektywnie promieniowanie widzialne barwią kryształy.

NAUKA O MATERIAŁACH XV: Właściwości optyczne

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**AGH Optoelektronika**

Optoelektronika to wykorzystania światła do transmisji sygnałów w elektronice i telekomunikacji. Zastosowanie światła pozwala zwiększyć szybkość transmisji, pojemność łączy i zmniejszyć straty energii. Optoelektronika to także zapis danych na dyskach optycznych.

**Element układu optoelektronicznego – optron:**

1. Elektroluminescencyjne źródło światła (+ laser)
1. Światłowod
2. Fotodiod

NAUKA O MATERIAŁACH XV: Właściwości optyczne

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**AGH Optoelektronika**

Lasery – źródła spójnego promieniowania jednej długości

Typowe parametry niektórych rodzajów laserów

Typ lasera	Rodzaj działania	Długość fali, nm	Moc promieniowa, W	Energia promieniowa, J	Czas impulsu, s
He-Ne (gazowy)	ciągłe	633	$10^{-1}$		
Ti:z (garny)	ciągłe	8000	$10^3$		
	impulsowe	8000	$10^{10}$	$10^6$	$10^{-8}$
Szkl. scylnosne	impulsowe	1060	$10^{10}$	$10^{-1}$	$10^{-11}$

NAUKA O MATERIAŁACH XV: Właściwości optyczne

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**AGH Optoelektronika**

Transmisja światła jest możliwa dzięki zastosowaniu światłowodów wykorzystujących zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia światła. Światłowody zbudowane są to włókna szklane z dwu lub więcej warstw szkła o różnej gęstości optycznej (współczynników załamania).

Zachowanie się fali świetlnej na granicy rozdzielczej: 0 - odbicie optyczne zewnętrzne; 1 - odbicie optyczne wewnętrzne

NAUKA O MATERIAŁACH XV: Właściwości optyczne

---

---

---

---

---

---

---


---

---

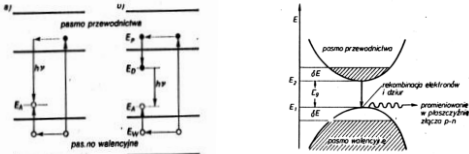
---

---

---

 **Optoelektronika**

Luminescencja- emisja światła po wzbudzeniu czynnikami zewnętrznymi



Schemat mechanizmu luminescencji      Elektroluminescencja - fotodioda

NAUKA O MATERIAŁACH XV: Właściwości optyczne

---

---

---

---

---

---

---


---

---

---

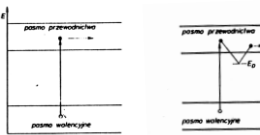
---

---

 **Optoelektronika**

W odborniku wykorzystujemy zjawisko fotoprzewodnictwa tj. zmiany oporności pod wpływem promieniowania świetlnego (fotoopornik).

W ten sposób sygnał elektryczny zostaje przetworzony na sygnał świetlny w fotodiodzie, przekazany przez światłowod i z powrotem zmieniony na elektryczny w fotooporniku.



NAUKA O MATERIAŁACH XV: Właściwości optyczne

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

 **AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

**NAUKA O MATERIAŁACH**

**Dziękuję.**

JERZY LIS  
Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---