

**Fotonika** jest dziedziną wiedzy obejmującą generację, transmisję, modulację, przetwarzanie i detekcję światła. Zajmuje się badaniem i wykorzystywaniem zjawisk rozchodzenia się, obróbki i oddziaływania promieniowania, a także emisji oraz detekcji promieniowania optycznego do konstrukcji i budowy układów optoelektronicznych czyli takich, które pracują z dwoma rodzajami sygnałów: optycznym i elektrycznym, a także z akustycznym i magnetycznym.

**Foton** – nie posiada ładunku elektrycznego, nie ma masy spoczynkowej, lecz oddziałuje na niego grawitacja.

**Spintronika** – operowanie spinem (momentem magnetycznym) elektronu, co wymaga użycia znacznie mniejszej energii niż przemieszczenie *ładunku* elektronu.

**Teoria cząsteczkowa** – w 1675 roku Isaac Newton postuluje, że światło jest zbiorem korpuskuł rozchodzących się prostoliniowo od źródła ze skończoną prędkością i posiadających energię kinetyczną. Teoria ta nie wyjaśnia dyfrakcji, interferencji i polaryzacji.

**Teoria falowa** – zaproponowana w 1678r. przez Huygens’a: światło rozchodzi się w postaci **fali** w medium – *eterze*. Teoria falowa tłumaczy interferencję i dyfrakcję (Young, 1800) oraz polaryzację. Kolor światła tłumaczony jest udziałem fal o różnych *długościach*.

**Postulat Maxwella** - mierząc prędkość światła w różnych okresach roku lub doby można wyznaczyć prędkość ruchu Ziemi względem eteru.

**Teoria elektromagnetyczna** – w 1873r. James Clark Maxwell postuluje, że światło ma postać *fali elektromagnetycznej*, propagującej się przez medium ze stałą prędkością. Opis praw elektryczności i magnetyzmu formułuje pod postacią 4 równań.

**Hipoteza do Broglie’a**: każdy obiekt materii może być opisany na dwa sposoby – jako zbiór cząstek *albo* jako fala. Foton jest nośnikiem oddziaływań elektromagnetycznych.

$\lambda = -$

**Zasada nieoznaczoności Heisenberga** – nie można z dowolną dokładnością określić pęd i położenie fotonu:  $\Delta x \cdot \Delta p \geq \text{—}$

**Teleportacja kwantowa** - nie oznacza przeniesienia kwantów w przestrzeni, lecz oznacza odtworzenie ich stanu (polaryzacji i innych cech) w jakimś innym miejscu.

**Teoria pasmowa** – jest to teoria kwantowa opisująca stany energetyczne elektronów.

**Prąd samoistny** – prąd dziurowy w paśmie walencyjnym = prąd elektronowy w paśmie przewodnictwa

**Prąd niesamoistny** – któryś prąd przeważa, np.

Typ n – więcej nośników elektronowych

Typ p – więcej nośników dziurowych

**Grafen** to pojedyncza warstwa atomów węgla (grubość=1 atom!) ułożonych w heksagonalną sieć. Duża wytrzymałość, przeźroczystość i przewodnictwo (dziurowe i elektronowe).

**Ciało doskonale czarne (CDC)** to modelowe ciało całkowicie pochłaniające padające na nie promieniowanie niezależnie od temperatury tego ciała, kąta padania i długości (częstości) fali elektromagnetycznej

**Prawo przesunięć Wiena:** Długość fali odpowiadająca maksimum natężenia promieniowania jest odwrotnie proporcjonalna do temperatury CDC:

$$\lambda = \frac{b}{T} \Rightarrow \lambda T = \text{const}$$

**Temperatura barwowa** określa rodzaj bieli emitowanej przez źródło światła, decydującej o wrażeniu kolorystycznym otoczenia.

2000 K - barwa światła świeczki

2800 K - barwa bardzo ciepłobiała (żarówkowa)

3000 K - wschód i zachód Słońca

3200 K - barwa światła żarowego *lamp studyjnych*

4000 K - barwa biała

5000 K - barwa chłodnobiała

5500 K - barwa dzienna

10000-15000 K - barwa czystego niebieskiego nieba

28000-30000 K – błyskawica

**Promieniowanie atomowe** – model Bohra.

**Widma cząsteczkowe (molekularne)** różnią się od widm atomowych. Są zbiorem pasm, składających się z wielu leżących blisko siebie linii widmowych (widma pasmowe).  $E_c = E_{el} + E_{osc} + E_{rot}$  (elektrony, oscylacyjne, rotacyjne).

**Promieniowanie hamowania** – powstaje podczas hamowania cząstki obdarzonej ładunkiem elektrycznym (np. elektronu) w polu jądra atomowego.

**Promieniowanie rentgenowskie** powstaje w wyniku dwóch zjawisk:

1. wyhamowania elektronów w polu elektrycznym jąder atomów materiału stanowiącego anodę (widmo ciągłe).
2. wzbudzenia i jonizacji atomów ośrodka (anody) przez rozpędzone i uderzające elektrony (widmo dyskretne).

**Luminescencja** – zjawisko emisji fal świetlnych przez ciała (luminofory), wywołane inną przyczyną niż rozgrzanie ich do odpowiednio wysokiej temperatury (inaczej: *zimne świecenie*).

- chemiluminescencja (chemiczne)
- elektroluminescencja (diody)
- elektronoluminescencja (katody)
- fotoluminescencja

**Świecenie rekombinacyjne** – czyli takie, do którego dochodzi w wyniku rekombinacji ładunków (powrotu do stanu ustalonego).

**Wyładowanie koronowe** (wyładowanie niezupełne) - to wyładowanie elektryczne spowodowane przez jonizację cieczy lub gazu otaczającego przewodnik będący pod wysokim napięciem.

**Zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne** - emisja elektronów z powierzchni ciała do otaczającej je przestrzeni. Fotoemisja – ciała stałe i ciecze, fotojonizacja- gazy.

**Zjawisko fotoelektryczne wewnętrzne** – wzrost przewodnictwa elektrycznego pod wpływem oświetlenia ( fotoprzewodnictwo ). W półprzewodnikach i dielektrykach.

**Zjawisko fotowoltaiczne** – powstanie SEM w półprzewodniku pod wpływem światła.

**Bolometr** - pochłanianie energii promieniowania optycznego ( zmiana oporu ).

\* pomiary termowizyjne

**Zjawisko Seebecka** – zjawisko polegające na powstawaniu SEM w miejscu styku dwóch metali lub półprzewodników o różnych temperaturach. Np. termopara – może być detektorem światła ( zmiana temperatury pod wpływem padającego światła ).

**Efekt Peltiera** - polega na tym, że przy przepływie prądu przez złącze złożone z dwóch różnych przewodników lub półprzewodników na złączu jest wydzielane lub pochłaniane ciepło (zależnie od kierunku prądu).

**Emisja wtórna**: wiązka padających elektronów wybija elektrony (wtórne) z powierzchni ciała stałego.

**Emisja polowa** – (emisja autoelektronowa lub emisja zimna) to emisja elektronów z przewodnika lub półprzewodnika pod działaniem silnego pola elektrycznego występującego w pobliżu powierzchni ciała.

**mody poprzeczne** (rozkład falowy w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku propagacji)

**mody podłużne** (rozkład falowy w kierunku osiowym).

**Poszerzenie jednorodne linii widmowych** jest wynikiem procesów promienistych związanych z każdą indywidualną cząsteczką. Prawdopodobieństwo absorpcji (emisji) promieniowania jest dla wszystkich atomów takie samo, zatem wszystkie atomy mają ten sam kształt linii przejścia.

**Poszerzenie niejednorodne linii widmowych** jest wynikiem przeważnie ruchu cieplnego atomów. W wyniku bezwładnych drgań cieplnych dochodzi do zmiany ich częstotliwości rezonansowych w oddziaływaniu z falą, na zasadzie efektu Dopplera.

**Wyładowanie elektryczne w gazie** pojawia się wówczas, gdy dochodzi do przepływu prądu elektrycznego przez gaz w wyniku jego jonizacji.

Podział wyładowań elektrycznych w gazie:

**a) Pod względem warunków podtrzymywania**

samoistne - jest procesem przepływu prądu elektrycznego przez gaz mimo ustania czynnika zewnętrznego

niesamoistne - jest procesem przepływu prądu elektrycznego przez gaz zależnym od czynnika zewnętrznego np. temperatura

**b) Pod względem czasu wyładowania**

- stacjonarne

- niestacjonarne

### c) Pod względem mechanizmów fizycznych wyładowania

lawinowe – przepływ prądu pochodzący z ukierunkowanego przez pole elektryczne ruchu elektronów swobodnych między elektrodami. Brak efektów świetlnych.

jarzeniowe – obserwuje się zwykle przy niskich ciśnieniach gazu rzędu 60 hPa. Powstaje wstęga łącząca katodę z anodą.

łukowe – duża gęstość gazu, mała różnica potencjału. Przeważający mechanizm to termoemisja.

#### Parametry źródeł światła:

- moc znamionowa i napięcie zasilania
- strumień świetlny – całkowita moc przypadająca na zakres widzialny ( 380-760nm)
- skuteczność świetlna – opisuje jaka część energii el. zamieniana jest na świetlną
- temperatura barwowa
- współczynnik oddawania barw – jak wiernie postrzegamy barwy oświetlanych przedmiotów.

#### Źródła termiczne:

żarówki:

- tradycyjne
- kryptonowe ( samochodowe) – zastosowanie kryptonu zamiast argonu, większa temperatura żarnika
- halogenowe – REGENERACYJNY CYKL HALOGENOWY ( lepsza skuteczność, mniejsze, trwalsze )

Cechy:

- ciągłe widmo promieniowania
- wysoka stabilność długoczasowa emitowanego promieniowania
- wysoka temperatura barwowa 2500-3000K

**Lampa wyładowcza** - lampa, która świeci poprzez wyładowania elektryczne w parach metali (najczęściej rtęci) lub gazów (najczęściej argonu, neonu).

Niskoprężne -> ciśnienie znacznie niższe od 105 Pa ( świetlówki - wył. Jarzeniowe )

Wysokoprężne -> ciśnienie wyższe od 105 Pa ( lampa rtęciowa – wył. łukowe )

**Lampy metalohalogenkowe** - lampy rtęciowe ze specjalnymi domieszkami. Do jarznika dodaje się halogenki metali (tal, ind, dysproz) co skutkuje poprawą rozkładu widmowego. Zwiększa się skuteczność świetlna i wskaźnik oddawania barw.

**Lampa sodowa** – to lampa wyładowcza, w której środowiskiem wyładowczym są pary sodu.

**Lampy łukowe** – pierwsze urządzenia oświetleniowe. Wykorzystuje się zjawisko wyładowania elektrycznego w gazie. Łuk elektryczny cechuje się silnym świeceniem gazu między katodą a anodą.

**Dioda elektroluminescencyjna (LED)** – zjawisko rekombinacji nośników ładunku (rekombinacja promienista)

Zalety:

- mały pobór prądu
- mała wartość napięcia zasilającego
- spora skuteczność świetlna
- duża wartość świetlności
- szeroki zakres 2300-8000K
- Ra do 95%

Wady:

- emisja spontaniczna jest emisją nieuporządkowaną ( ponad 20° )
- wrażliwość na temperaturę
- wrażliwość na wyładowania ESD

**Odmiany diod LED:**

- małej mocy
- dużej mocy 350mA – 1,5A
- wysokonapięciowe- kilkadziesiąt do kilkaset V. Technika oświetleniowa.
- matryce diodowe, technologia COB
- organiczne LED (OLED), kropki kwantowe ...

**Rodzaje laserów:**

ze względu na ośrodek aktywny:

- laser na ciele stałym, np. rubinowy (695nm), neodymowy (1,06um)
- laser gazowy:
  - atomowy He-Ne (832nm)
  - cząsteczkowy np. CO<sub>2</sub> (10,6um) MOC DO 100kW
  - jonowy Ar<sup>+</sup>, pobudzone jony gazu Ar<sup>+</sup> (488nm)
- laser barwnikowy: przepływająca, laminarna struga roztworu zawierająca barwnik
- laser półprzewodnikowy ( 404nm-1,55um)
- laser światłowodowy (1,5-1,6um)
- laser chemiczny: reakcja wzbudzonych cząsteczek fluorowodoru (HF) do pobudzenia ośrodka aktywnego

**Laser He-Ne** – laser gazowy o działaniu ciągłym, pompowany elektrycznie (wyładowania elektryczne)

**Laser barwnikowy** – laser cieczowy o działaniu ciągłym lub impulsowym, pompowany optycznie innym laserem. Ośrodkiem czynnym jest barwnik rozpuszczony w nieaktywnym ośrodku przezroczystym.

**Zastosowanie laserów**

Przemysł ( cięcie, spawanie, znakowanie, drążenie otworów, obróbka powierzchniowa )  
Metrologia ( dalmierze laserowe, impulsowe, triangulacja )  
Ochrona środowiska ( LIDAR – urządzenie do monitorowania atmosfery oraz zbiorników wodnych)  
Zapis danych ( płyty CD, DVD )  
Holografia  
Poligrafia  
Telekomunikacja  
Wojsko ( wskaźniki celu, oświetlacze, urządzenia lokacyjne, symulacja pola walki, nawigacja w nocy)  
Medycyna ( lancety chirurgiczne, korekcja wzroku, biostymulacja, detekcja i zwalczanie raka )  
Efekty wizualne ( DISCO xD )  
Nauka (pinceta optyczna, nożyce optyczne, chłodzenie i pułapkowanie atomów)

**Superkontinuum**- przepuszczanie piko sekundowych impulsów światła laserowego o dużym natężeniu przez specjalne kryształy, szkła lub światłowody fotoniczne.

**Rodzaje wyświetlaczy:**

CRT (lampa elektronowa) , DLP, FED, LCD, LCD-TFT ( aktywna matryca ), OLED, QD-LED,

PDP (plazmowy) , VFD (fluorescencyjny), CSTN (ciekłokrystaliczny z pasywną matrycą)

iMoD (rezonans optyczny) , Neonowy, z lampami NIXIE, Wyświetlacze 3D

**Ciekły kryształ** – nazwa fazy pośredniej między ciekłym i krystalicznym stanem skupienia materii, którą charakteryzuje zdolność do płynięcia, charakterystyczna dla cieczy i jednocześnie istotne uporządkowanie tworzących ją cząsteczek, podobnie jak to ma miejsce w kryształach. Fazy:

- smektyczna ( warstwa jedna na drugiej )
- nematyczna ( nie zajmują całej powierzchni, ale ustawiają się w tym samym kierunku )
- cholesteryczna ( struktura śrubowa )
- kolumnowa ( cząsteczki ułożone w tym samym kierunku kolumnowo )

**Matryca** nie generuje światła. Jej piksele działają jak filtry, więc potrzebne jest zewnętrzne źródło. Ze względu na źródło światła rozróżniane są wyświetlacze:

- transmisyjne ( za matrycą jest źródło światła, duża jasność, kontrast, energochłonność. Monitory )
- refleksyjne ( za matrycą jest lustro, nie potrzeba źródła światła. Małe zużycie energii, dobra jakość nawet przy mocnym świetle, nieczytelne w ciemności. Kalkulatory, zegarki )
- trans refleksyjne ( połączenie poprzednich. Ekrany laptopów, palm topów )

**OLED** – dioda elektroluminescencyjna LED wytwarzana ze związków organicznych. Dioda jest emiterem promieniowania, więc wyświetlacz zbudowany za pomocą OLED nie wymaga podświetlania.

#### **Cechy wyświetlacza OLED:**

Zalety (prosta metoda produkcji, ekstremalnie cienki, transparentny, elastyczny, głęboka czerń, wysoki kontrast, mały czas reakcji). Wady ( problem z trwałością ).

**Kropka kwantowa (QD)** – porcja materii (np. półprzewodnika) o wielkości do kilku nm zapuławkowana w przestrzeni o wymiarach porównywalnych z długością fali (rezonator trójwymiarowy).

#### **Cechy wyświetlacza QD-LED:**

Zalety (niskie straty energii, brak efektów termicznych, dużo kolorów, wysoka rozdzielczość, jasność 4000 mc/m2). Wady ( problem z emisją barwy niebieskiej ).

**Wyświetlacz plazmowy PDP:** każdy subpiksel jest mikroskopijną lampą fluorescencyjną emitującą jedną z podstawowych barw (G,R,B). Wyładowanie jarzeniowe, zjawisko fotoluminescencji.

#### **Cechy wyświetlacza PDP:**

Zalety (najlepsze odwzorowanie czerni, dobra jakość, wysoki kontrast, dobre oddawanie barw, szeroki kąt widzenia). Wady ( energochłonność, masa, generacja zakłóceń).

**Wyświetlacz plazmowy DLP:** składa się z milionów mikroluster odbijających padający na nie strumień. Przemieszczanie lustra odbywa się na zasadzie oddziaływania elektrostatycznego.

#### **Cechy wyświetlacza DLP:**

Zalety (spora rozdzielczość, wysoki kontrast). Wady ( wysoka cena). PROJEKTORY KINOWE.

**Wyświetlacz fluorescencyjny VFD** – lampa próżniowa działająca na zasadzie *elektronoluminescencji*. Barwa świecenia zależy od kompozycji chemicznej fosforu. Zalety (są czytelne i ładne), wady (wysokie napięcie 30-100V, duży pobór prądu, wrażliwość na uszkodzenia mechaniczne).

### **Ekrany dotykowe:**

Optyczne – detektor światła umieszczony przy każdym pikselu lub grupie pikseli

Napięciowe – dotknięcie powoduje zamknięcie mikroprzełączników zlokalizowanych w polu dotyku ładunkowe ( pojemnościowe ) – ekran (izolator) pokryty przewodnikiem. Dotknięcie = pojemność.

Akustyczne – rozproszenie i absorpcję fal ultradźwiękowych na przeszkodach dotykających

Rezystancyjne

Hybrydowe (optyczno-ładunkowe)

**Detektor promieniowania E-M-** urządzenie umożliwiające wykrywanie promieniowania elektromagnetycznego wykorzystujące zamianę promieniowania e-m na sygnał elektryczny.

**Detektor termiczny** – pod wpływem światła zmienia się temperatura elementu, co w zależności od konstrukcji detektora może powodować zmianę objętości, ciśnienia, przewodnictwa elektrycznego...

+ duża szybkość działania                      - zależność sygnału od częstotliwości promieniowania

**Detektor fotonowy** – występuje absorpcja fotonów, np. efekt fotoelektryczny wywołując mierzalną zmianę nośników w elemencie czynnym detektora.

+ brak zależności od promieniowania    - mała szybkość działania

### **Parametry detektorów optycznych**

Czułość ( iloraz sygnału wyjściowego do wejściowego )

Charakterystyka widmowa - krzywa czułości  $C(\lambda)$  ( zależność czułości od długości fali)

Parametry dynamiczne (czas narostu/opadania sygnału wyjściowego, czas martwy)

Charakterystyka częstotliwościowa

Prąd ciemny (prąd płynący przy całkowitym wyłączeniu źródła światła)

Stosunek sygnału do szumu ( $SNR$ )

Moc równoważna szumom ( $NEP$ )

Zdolność detekcyjna

Zakres dynamiczny

Wydajność kwantowa

### **Detektory termiczne ( budowa ):**

\* element aktywny o pojemności cieplnej  $C$  ( pod wpływem światła zmienia się temperatura )

\* element o przewodności cieplnej  $G$

\* rezerwuuar ciepła (radiator) o temperaturze otoczenia

**Pirometry** – powstawanie ładunku elektrycznego na powierzchni próbki podczas jej ogrzewania lub ochładzania ( krótki czas reakcji ).

**Komórka Golaya** - zmiana ciśnienia gazu wskutek ogrzania.

### **Detektory fotonowe:**

Fotopowielacze – zmienia strumień fotonów na impulsy elektryczne. Zewnętrzny efekt fotoelektryczny. (+) bardzo czuły, szybki    (-) duży prąd ciemny, spore rozmiary

Półprzewodnikowe – zamiana światła na prąd, wewnętrzny efekt fotoelektryczny

\* Fotorezystor – im większe natężenie światła tym mniejsza rezystancja (np. wyłączniki zmierzchowe)

\* Fotodioda – zamiana światła na energię elektryczną (np. detekcja promieniowania)

\* Fototranzystor – jako baza jest ekran światłoczuły

**Fotodioda p-i-n** – element, w którym warstwy p, n zostały oddzielone warstwą o półprzewodnictwie samoistnym, co zwiększa czułość. Zastosowanie: detektory w sieciach światłowodowych

**Fotodioda lawinowa** – fotodioda p-i-n z dodatkową warstwą, która pod wpływem napięcia tworzy bardzo silne pole elektryczne. NAJBARDZIEJ CZUŁY, PÓŁPRZEWODNIKOWY DETEKTOR ŚWIATŁA.

**Fotodioda Schotky'ego** ( fotodetektor M-S) – praca wyjścia z metalu jest większa niż przy półprzewodnikach, przepływające elektrony tworzą w półprzewodniku obszar zubożony.  
(+) duża 'f' pracy, czuły na niebieskie    (-) małe napięcie wsteczne

**Fotodetektor M-S-M** – dwie metalowe elektrody oddzielone warstwą półprzewodnika. Generowany są fotoelektrony, przepływ prądu uzależniony od polaryzacji fotodetektora. (+) mała pojemność wewnętrzna = duża szybkość działania.

Miłej nauki 😊