

LASERY

(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

1.	Zarys historii laserów	2
2.	Fizyczne podstawy działania laserów ...	3
3.	Budowa lasera	5
4.	Podział laserów	6
5.	Laser rubinowy	6
6.	Laser neodymowy	7
7.	Laser gazowe	7
8.	Lasery helowo-neonowy	9
9.	Laser CO ₂	10
10.	Laser jonowy	12
11.	Laser barwnikowy	12
12.	Laser półprzewodnikowy	14
13.	Kropki kwantowe	19
14.	Zastosowanie laserów	23
15.	Źródła	25

1. ZARYS HISTORII LASERÓW

Kluczowe daty:

- ❖ 1916 – wprowadzenie pojęcia emisji wymuszonej
- ❖ 1953 – doświadczalne udowodnienie teorii emisji wymuszonej
- ❖ 1961 – budowa pierwszego lasera

Ważne nazwiska:

- **Euklides ok. 490 - 300 p.n.e.** - sformułował prawo załamania i zasadę prostoliniowego rozchodzenia się światła
- **Newton 1672** - stwierdził, że światło białe składa się z różnych rodzajów promieniowania i może być rozszczepione
- **Huygens 1676** i jego falowa teoria światła (w opozycji do korpuskularnej Newtona z 1675)
- **Young 1801** i zjawisko interferencji
- **Hertz 1887** - wytworzył fale elektromagnetyczne i wykazał, że rozchodzą się one z prędkością światła
- **Einstein 1917** - udowodnił, że światło to strumień cząstek
- **Compton 1923** - odkrył efekt nazwany na jego cześć efektem Comptona: kwant rentgenowski trafiając elektron oddaje mu część energii zachowując resztę
- **Kastler 1952** - odkrył pompowanie optyczne
- **Theodore H. Maiman 1960** - zbudował pierwszy laser rubinowy oraz otrzymał generację światła spójnego
- **Nathan i współpracownicy IBM 1962** - uruchomili pierwszy laser półprzewodnikowy na arsenku galu

2. FIZYCZNE PODSTAWY DZIAŁANIA LASERÓW

Rozkład Boltzmanna:

Rozważmy układ atomów o skwantowanych poziomach energetycznych. Niech liczba poziomów „i” wynosi 1,2,3..., energie poziomów E: $E_1, E_2, E_3...$ Obsadzenie poziomów (populacja, czyli liczba atomów w jednostce objętości w stanie energetycznym E_i) $N_i : N_1, N_2, N_3, \dots$

Gdy układ atomów w danej temperaturze T jest w stanie równowagi termodynamicznej, to wówczas względna populacja jakichkolwiek dwóch poziomów energetycznych jest dana rozkładem Boltzmanna:

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{\exp\left(-\frac{E_2}{k_B T}\right)}{\exp\left(-\frac{E_1}{k_B T}\right)}$$

gdy $E_2 > E_1$, to $N_2 < N_1$

Przejścia pomiędzy poziomami:

Elektrony mogą przemieszczać się pomiędzy poziomami. Aby wejść na wyższy poziom energetyczny - muszą otrzymać kwant energii. Z kolei gdy atom przechodzi na niższy poziom energetyczny - zostaje wyemitowany foton. Częstota takiego fotonu jest związana z różnicą energii poziomów, między którymi skacze elektron:

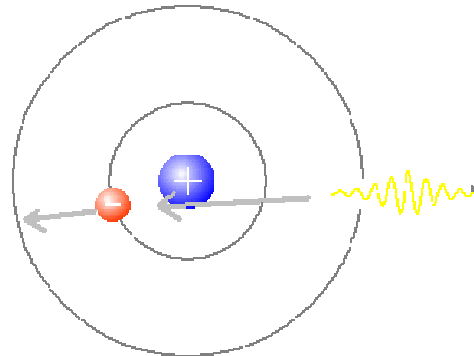
$$E_2 - E_1 = h \nu$$

Gdzie ν - częstota fotonu, h - stała Plancka, E_2 - energia poziomu wyższego, E_1 - energia poziomu niższego

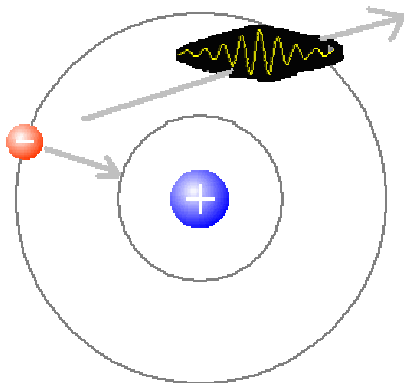
Rodzaje oddziaływań fotonów z atomami:

❖ Absorbpcja

Elektron pochłania energię fotonu i przechodzi na wyższy poziom energetyczny.

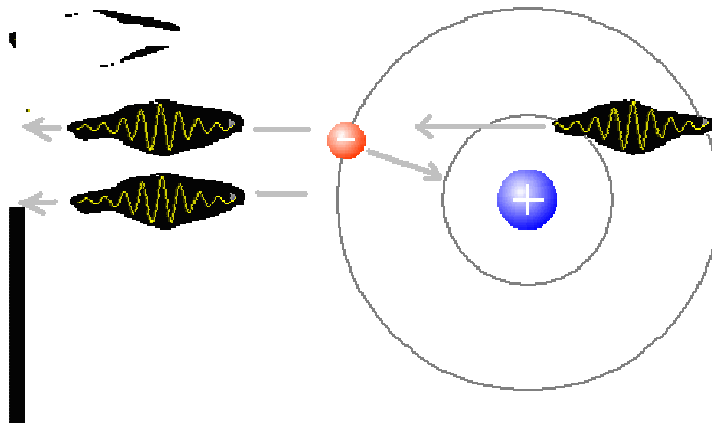


❖ Emisja spontaniczna



Elektron w stanie wzbudzonym dąży do zmniejszenia swojej energii, więc przechodzi na niższy poziom emitując foton.

❖ Emisja wymuszona



Podczas emisji wymuszonej elektron znajdujący się na zewnętrznej powłoce jest bombardowany fotonem i zmuszany do przejścia na niższą, wydzielając przy tym drugi identyczny foton. Fotony wyemitowane mają ten sam kierunek co fotony padające.

Stan równowagi:

W stanie równowagi emisja jest w równowadze z absorpcją, co opisuje równanie:

$$N_2 A_{21} + N_2 B_{21} \mu_\nu = N_1 B_{12} \mu_\nu$$

W którym:

$N_1 B_{12} \mu_\nu$ - wyraża liczbę przejść z poziomu 1-go do 2-go

$N_2 A_{21}$ - wyraża liczbę spontanicznych przejść z poziomu 2-go do 1-go

$N_2 B_{21} \mu_\nu$ - wyraża liczbę wymuszonych przejść z poziomu 2-go do 1-go

B_{21} - prawdopodobieństwo przejścia w jednostce czasu (emisja wymuszona) związane z przejściem z poziomu 2 na 1

A_{21} - prawdopodobieństwo przejścia w jednostce czasu (emisja spontaniczna) związane z przejściem z poziomu 2 na 1

B_{12} - stała proporcjonalności dla absorpcji

Rozkład antyboltzmannowski:

Dla układu dwóch poziomów emisja jest proporcjonalna do $N_2 B_{21}$, natomiast absorpcja jest proporcjonalna do $N_1 B_{12}$. Przejścia stymulowane przewyższają absorpcję gdy $N_2 > N_1$ – oznacza to, że populacja stanu o wyższej energii jest większa od populacji stanu o energii mniejszej, czyli gdy będzie to rozkład antyboltzmannowski.

Metody otrzymywania rozkładu antyboltzmannowskiego:

- ✓ pompowanie optyczne, czyli bombardowanie fotonami - opiera się na zjawisku absorpcji
- ✓ bombardowanie innymi elektronami, które przekazują energię
- ✓ dostarczanie energii przez nieelastyczne zderzenia między atomami

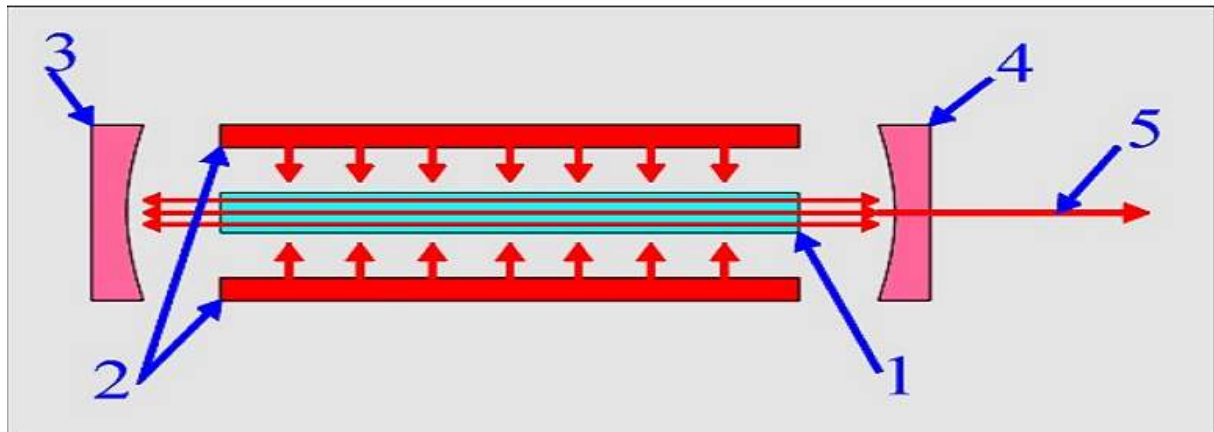
Właściwości wiązki laserowej:

- ✓ monochromatyczność
- ✓ spójność w fazie
- ✓ częstość taka sama jak częstość wiązki stymulującej

W emisji promieniowania laserowego biorą udział elektrony z wielu różnych poziomów. Czasami przejścia pomiędzy poziomami dokonują się bezpromieniście, a czasem zostaje wyemitowane promieniowanie laserowe.



3. BUDOWA LASERA



- 1) Ośrodek aktywny, czyli zespół atomów, jonów lub też cząsteczek.
- 2) Układ pompujący, czyli układ, który wytwarza inwersję obsadzeń. Inwersja obsadzeń jest warunkiem koniecznym do uzyskania wzmocnienia promieniowania..
- 3) Zwierciadło rezonatora. Rezonator jest układem optycznym, który sprzęga promieniowanie charakterystyczne dla danego ośrodka z tym ośrodkiem. W najprostszym przypadku rezonator stanowią dwa płaskie, doskonale odbijające zwierciadła, które są ustawione idealnie równoległe do siebie w odległości $L = n\lambda/2$, (n jest liczbą całkowitą, λ jest długością fali światła laserowego), umożliwiającą powstanie w nim fal stojących. Częstotliwości tych fal są częstotliwościami modów podłużnych lasera.
- 4) Drugie zwierciadło rezonatora
- 5) Wiązka laserowa

4. PODZIAŁ LASERÓW

Ze względu na sposób promieniowania:

- ✓ promieniowanie w sposób ciągły o mocach od μW do kW
- ✓ promieniowanie w postaci pojedynczych impulsów o czasie trwania rzędu ms - ps i mocach od kW do TW
- ✓ promieniowanie w postaci ciągu impulsów o częstotliwościach powtarzania od Hz do MHz

Ze względu na rodzaj ośrodka czynnego:

- ✓ Lasery krystaliczne – np. rubinowy
- ✓ Lasery szklane – np. neodymowy
- ✓ Lasery gazowe – atomowe - np. helowo-neonowy
- ✓ Lasery gazowe – molekularne – np. na CO_2
- ✓ Lasery gazowe – jonowe – np. argonowy Ar^+
- ✓ Lasery barwnikowe
- ✓ Lasery chemiczne
- ✓ Lasery półprzewodnikowe

5. LASER RUBINOWY

W laserze rubinowym substancją czynną jest kryształ korundu (trójtlenek glinu) z domieszką jonów chromu.

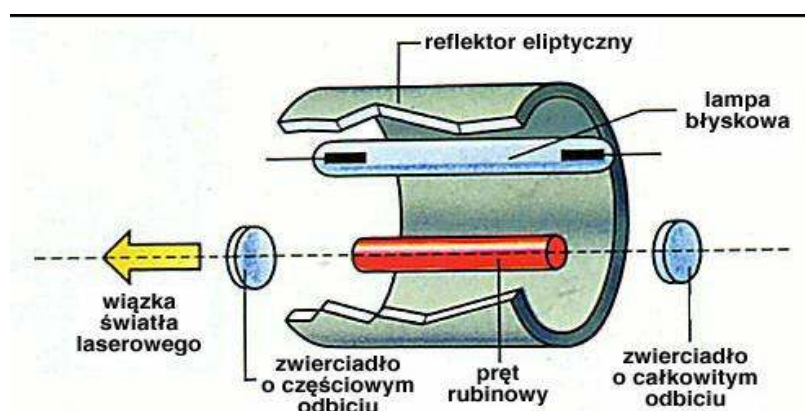
Pompowanie optyczne odbywa się przy pomocy flesza.

Lasery rubinowe pracują impulsowo, emitując światło czerwone o długości fali 694,3nm.

Obecnie ma znaczenie głównie historyczne.

Schemat działania lasera rubinowego:

- intensywny błysk światła z kwarcowej lampy błyskowej wzbudza niektóre atomy kryształu rubinu do wyższego stanu energetycznego
- niektóre atomy wysyłają fotony, które następnie pobudzają inne atomy do wysłania identycznych fotonów, w efekcie ilość fotonów gwałtownie wzrasta
- lustra po obu stronach rubinu odbijają wielokrotnie powstałe fotony, zwiększając ilość identycznych fotonów
- fotony wychodzą przez półprzepuszczalne lustro i otrzymujemy światło laserowe



6. LASER NEODYMOWY

Lasery neodymowe to lasery szklane, w których ośrodek czynny zawiera jony neodymu.

Rozróżnia się lasery neodymowe, w których jony Nd^{3+} są wbudowane w szkło, oraz lasery neodymowe YAG, w których jony Nd^{3+} są wbudowane w sieć krystaliczną monokryształu granatu itrowo-glinowego.

Pierwszy z nich jest laserem o pracy impulsowej, generującym promieniowanie w podczerwieni o długości fali $1,06 \mu\text{m}$. Energia impulsu promieniowania wynosi od mJ do kilkuset J.

W laserze neodymowym o przełączanej dobroci rezonatora uzyskuje się gigantyczne impulsy mocy, dochodzące do GW, a w systemach zawierających wzmacniacze laserowe - moce do TW. Głowice tych laserów umożliwiają uzyskiwanie impulsów laserowych zwykle co kilka, kilkadziesiąt sekund.

Pręty ze szkła neodymowego mają kształt walca o długości od kilkunastu do kilkudziesięciu cm i średnicy odpowiednio od kilku do kilkunastu mm.

Do wytworzenia w pręcie inwersji obsadzeń używa się lamp błyskowych. Zwierciadła (stanowiące rezonator optyczny) są umieszczone w sposób umożliwiający ich precyzyjne pochylenie w sztywnej i stabilnej termicznie konstrukcji, wiążącej równocześnie pręt ze szkła neodymowego oraz lampy błyskowe.

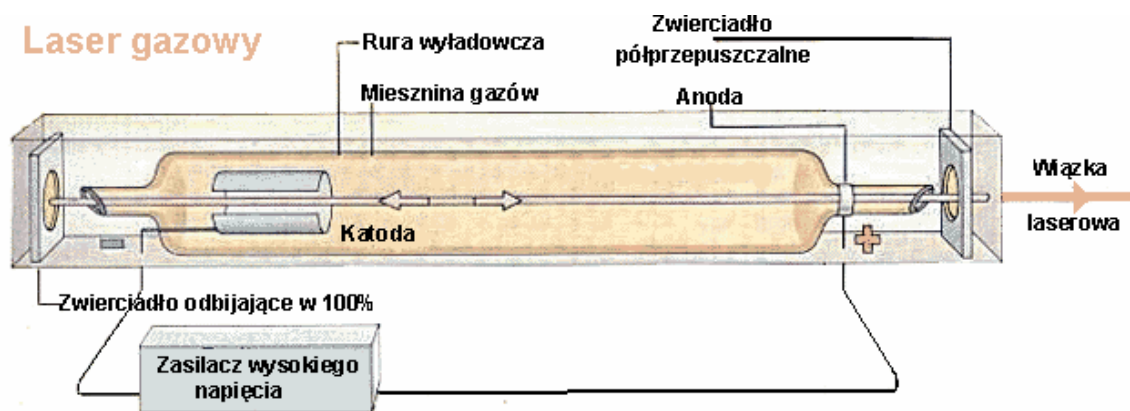
W laserach zawierających pręt ze szkła neodymowego rozróżnia się następujące rodzaje generacji:

- ✓ generację swobodną, w postaci impulsu, który z kolei składa się z wielu nieregularnych, krótkich impulsów
- ✓ generację z przełączaniem dobroci rezonatora, powodującą zawężenie impulsu swobodnej generacji i wzrost jego mocy lub generację ciągu regularnych impulsów kilkusekundowych

Lasery neodymowe znajdują zastosowanie głównie w:

- telekomunikacji
- laserowych układach śledzących
- kontrolowanych reakcjach jądrowych.

7. LASER GAZOWY



W zastosowaniach energetycznych najczęściej pojawia się właśnie laser gazowy.

Laser gazowy to taki laser, w którym ośrodkiem czynnym jest gaz, mieszanina gazów lub mieszanina gazów i par metalu. Szczególną cechą takiego ośrodka aktywnego jest mała gęstość - w rezultacie widmo energetyczne cząsteczek aktywnych (atomów, jonów, molekuł) nie ulega zniekształceniu na skutek oddziaływania z sąsiednimi cząsteczkami aktywnymi. Dlatego też poziomy energetyczne w widmie gazów są wąskie, co pozwala skoncentrować energię promieniowania lasera gazowego w kilku lub nawet w jednym modzie wzdłużnym.

Dobierając w odpowiedni sposób gazowy ośrodek aktywny, można otrzymać generację w dowolnym zakresie widma, od ultrafioletu do dalekiej podczerwieni. Dla przykładu, generację impulsową realizuje się na kilkuset różnych liniach, od próżniowego nadfioletu (0,16 μm) do obszaru submilimetrowego (0,8 mm).

Niezwykle krótką długość fali (0,15 μm) otrzymano w parach antymonu oraz w wodorze (0,116 μm). Ze względu na różnorodność i specyfikę gazów w laserze gazowym stosuje się różne sposoby realizacji inwersji obsadzeń (pompowanie), a m. in. poprzez wyładowanie elektryczne (metoda stosowana najczęściej), wzbudzenie chemiczne, wzbudzenie wiązką elektronów i inne.

Typy laserów gazowych:

- atomowe (np. laser helowo-neonowy)
- jonowe (np. laser argonowy)
- molekularne (np. laser na dwutlenku węgla)

Dwa pierwsze charakteryzują się małą sprawnością - 0,01-0,1%, podczas gdy laser gazowy molekularny znacznie większą - 15-20%. Wadą laserów gazowych jest stosunkowo małe wzmocnienie (ze względu na rzadki ośrodek) na jednostkę długości, co wymaga stosowania dłuższych rur dla zapewnienia większej mocy wyjściowej.

Charakterystyczne parametry:

Lasery gazowe mogą być przystosowane do pracy ciągłej lub impulsowej.

Średnica wiązki na zwierciadle rezonatora:

- w laserach gazowych atomowych i jonowych zazwyczaj wynosi 1-5 mm, a jej rozbieżność 0,2-2 mrad
- w laserach gazowych molekularnych 5-50 mm, a jej rozbieżność 1-5 mrad

Moce wyjściowe przy pracy ciągłej:

- laserów gazowych atomowych He-Ne - rzędu 10 mW
- laserów gazowych jonowych (Ar^+) od kilkudziesięciu mW do kilkudziesięciu W
- laserów gazowych molekularnych 1-1000 W

Zakres częstotliwości pracy lasera gazowego zawiera zakres widma widzialnego do dalekiej podczerwieni.

Trwałość lasera gazowego jest rzędu 1000-2000 h pracy.

Wykorzystanie laserów gazowych:

Lasery gazowe charakteryzują się wysoką stabilnością częstotliwości generowanego promieniowania, dlatego wykorzystuje się je we współczesnych wzorcach częstotliwości. Umożliwia ona dokonanie pomiarów odcinków czasu z dokładnością do dwunastego miejsca po przecinku, co odpowiada pomiarowi czasu w okresie 100 tys. lat z dokładnością do ułamka sekundy.

Pierwszy laser gazowy (He-Ne) został zbudowany w 1961 r. przez A. Javana, R. W. Bennetta i D. R. Herriota.

8. LASER HELOWO-NEONOWY

Laser helowo-neonowy jest mieszaniną helu i neonu w stosunku 10:1, zamkniętą w rurze ze szkła kwarcowego.

Między końcami rury przyłożone jest napięcie, w wyniku którego w rurze powstaje pole elektrostatyczne, które przyspiesza elektrony i jony do dużych prędkości.

Rozpędzone elektrony uderzają przede wszystkim w atomy helu (ponieważ jest ich więcej) i wzbudzają je na poziomy energetyczne E1 i E2 (metatrwałe).

Wzbudzenie atomów helu następuje w procesie przekazania energii kinetycznej, która zostaje zamieniona na energię wzbudzenia.

Wzbudzone atomy helu uderzając w atomy neonu przenoszą je na metatrwałe poziomy energetyczne E'1 i E'2, przekazując im swoją energię wzbudzenia, wracają wtedy na podstawowy poziom energetyczny.

Uzyskujemy inwersję obsadzeń atomu neonu. W zależności od tego, jakiego rodzaju promieniowanie laserowe chcemy uzyskać, powodujemy emisję wymuszoną z poziomu E'1 lub E'2.

Maksymalna moc laserów He-Ne osiąga wartość kilku watów przy sprawności 0,1%. Rury laserów He-Ne mogą pracować ponad 20000 godzin. Dzięki dużej monochromatyczności, ukierunkowaniu wiązki i prostocie konstrukcji lasery te stosowane są w wielu dziedzinach nauki i techniki, m. in. w:

- holografii
- geodezji
- w żyroskopach laserowych
- metrologii

Ostatnio konstruuje się lasery helowo-neonowe, które emitują światło zielone, wykorzystywane w badaniach naukowych oraz (ze względu na prostą budowę) w dydaktyce i niektórych zastosowaniach praktycznych.

9. LASER CO₂

Najbardziej rozpowszechnionymi laserami gazowymi są lasery CO₂. Urządzenia te mogą pracować zarówno w trybie ciągłym (CW - Continuous Wave) jak i impulsowym. Charakteryzują się najwyższymi mocami i największą sprawnością energetyczną (5 - 12%).

Skład czynnika roboczego:

Czynnikiem roboczym w rezonatorze jest mieszanka CO₂, N₂, i He w proporcjach 1:1,3:7,7

- CO₂ jest gazem aktywnym
- w N₂ odbywa się wyładowanie elektryczne dostarczające energii wzbudzenia
- He służy do stabilizacji plazmy CO₂ i odprowadzenie ciepła

Zasadniczym wymaganiem wobec konstrukcji laserów CO₂ jest utrzymanie niskiej temperatury gazu, w której emisja promieniowania przebiega w sposób optymalny.

Wyładowanie elektryczne:

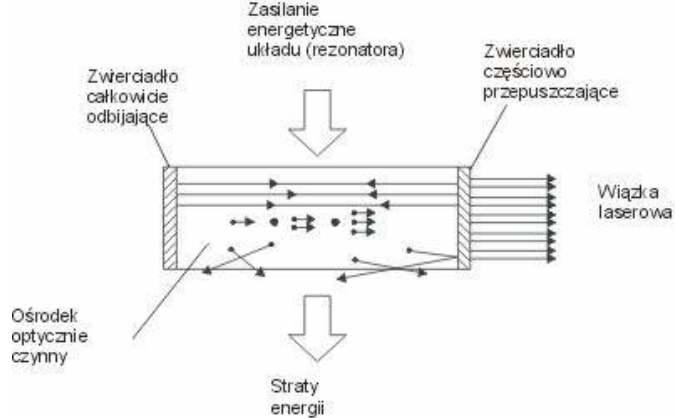
Wyładowanie elektryczne w mieszaninie CO₂-N₂ powoduje bardzo efektywne wzbudzenie molekuł N₂.

Molekuła N₂ tylko w wyniku zderzeń może utracić swą energię (ma jednakowe jądra, jej przejście dipolowe jest wzbronione). Jeżeli w rurze znajdują się molekuły CO₂, wówczas na skutek dobrej koincydencji poziomów wzbudzonych N₂ i CO₂, zderzenia drugiego rodzaju (bezpromieniste przejście atomu z wyższego poziomu może odbywać się na przykład przez niesprężyste zderzenie z powolnym elektronem - zderzenie niesprężyste drugiego rodzaju) powodują wzbudzenie molekuły CO₂ i powrót do stanu podstawowego molekuły N₂. W ten sposób inwersję w mieszaninie osiąga się znacznie łatwiej niż w czystym CO₂.

Laser CO₂ zawiera mieszaninę gazów umieszczoną w rurze wyładowczej o długości około 100 cm i średnicy kilku cm. Typowe napięcie zasilania rury wyładowczej wynosi od kilkuset do kilku kV, a prąd wyładowania około 50 mA. Zarówno wydajność jak i moc wiązki lasera molekularnego jest duża w porównaniu z laserami atomowymi lub jonowymi. Z jednego metra kolumny wyładowczej lasera molekularnego otrzymano wiązkę podczerwoną o mocy około 50 W i wydajności kilkunastu %.

W laserach na CO₂ z wyładowaniem elektrycznym przy niskim (kilkadziesiąt torów) ciśnieniu gazu stosuje się - wyładowanie podłużne w rurach stosunkowo długich. Przy ciśnieniu wysokim (ok. 1 atm. i większym) stosuje się - wyładowanie poprzeczne. Wyładowanie jest inicjowane i podtrzymywane na drodze jonizacji gazu w obszarze wyładowczym przez promieniowanie UV, wiązkę elektronów itp.

W początkowym okresie rozwoju moc lasera zwiększano poprzez zwiększenie długości rury wyładowczej, niekiedy nawet do 100 m! Wielometrowy laser wytwarzał wiązkę o mocy kilku kW w pracy ciągłej. Wiązka o takiej mocy mogła stopić i zamienić w parę każdy materiał. Pewną trudność w stosowaniu tej wiązki lasera CO₂ do cięcia materiałów stanowi jednak stosunkowo duży współczynnik odbicia energii wielu powierzchni w tym zakresie długości fal. Nie polerowana powierzchnia metaliczna odbija większość padającego nań promieniowania; stopieniu ulega natomiast węgiel, azbest itp.



rys. Rezonator lasera CO₂

Rodzaje konstrukcji laserów CO₂:

- Lasery o wolnym przepływie (Slow Flow Lasers) - chłodzenie odbywa się tu częściowo przez boczne ścianki rezonatora, lasery tego typu dają wiązkę o wysokiej jakości lecz o małej mocy
- Lasery o szybkim przepływie osiowym (Fast Axial Flow Lasers) - przepływ gazu z prędkością 300 do 500m/s, wiązka jest dobrej jakości, nadająca się do cięcia. Ta konstrukcja daje lasery o dużych mocach i niewielkich wymiarach.
- Lasery o przepływie poprzecznym (Transvers Flow) - pobudzone polem elektrycznym w kierunku prostopadłym do osi rezonatora. Innym przykładem są lasery o pobudzaniu podłużnym, które na ogół pracują w sposób ciągły i w zależności od rozmiarów rury generują moc od kilku W do kilku kW.
- Lasery zamknięte (Sealed Lasers)- gaz jest zamknięty w komorze rezonatora, chłodzenie odbywa się w całości przez przewodnictwo. Lasery tego typu charakteryzują się małymi wymiarami i dlatego dają możliwość np. umieszczenia ich na ramieniu robota.

Lasery różnią się między sobą także sposobem zasilania. Najbardziej wydajne jest zasilanie prądem stałym DC, minusem tego typu zasilania jest to, iż następuje szybsze zużywanie elektrod, co z kolei powoduje szybsze zanieczyszczenie lusterek w rezonatorze. Zastępczo stosuje się zasilanie prądem zmiennym (HF).

Charakterystyczne parametry:

Laser generuje promieniowanie głównie na długości fali 10,6 μm oraz 9,4 μm i charakteryzuje się wysoką sprawnością, rzędu 10÷30%. Uzyskane moce dla laserów impulsowych tego typu są rzędu terawatów, dla laserów ciągłego działania ~ 90 kW.

Moc wiązki lasera można istotnie zwiększyć, jeśli mieszanina gazów znajduje się w przepływie poprzecznym do wiązki lasera lub poprzez zmianę sposobu wyładowania gazów w rurze wyładowczej lasera. Wyładowanie elektryczne w tym przypadku zachodzi pomiędzy długą elektrodą (anoda) i rzędem około 150 szpilek katody, które poprzez oporniki o wartości około 1 kΩ połączone są równolegle i zasilanie impulsowo z kondensatora 0,02 μF, naładowanego do 17kV.

Zastosowanie lasera CO₂:

- ❖ badania fizyczne
- ❖ obróbka materiałów
- ❖ medycyna
- ❖ wojskowość
- ❖ telekomunikacja
- ❖ laserowa synteza termojądrowa
- ❖ inne obszary nauki i techniki

Pierwszy laser CO₂ został zbudowany w 1964 r. przez C. K. N. Patela w USA i generował promieniowanie o mocy ~1 mW na 13 liniach o długości fal ok. 10 μm. Był to laser ciągłego działania.

10. LASER JONOWY

Laser jonowy jest laserem gazowym, na ogół o pracy ciągłej, w którym ośrodkiem czynnym są jony gazów szlachetnych lub pary metali takich jak: ksenon, krypton, argon, neon, a także chlor, pary fosforu czy siarki.

Inwersję obsadzeń osiąga się na skutek wzbudzenia jonów na wyższe poziomy energetyczne w procesie ich zderzeń z wolnymi elektronami tworzącymi się w wyładowaniu elektrycznym. Przed wzbudzeniem poziomów jonowych gaz ulega jonizacji. Jonizację taką wywołuje przepływający przez gaz prąd, od wartości którego w dużym stopniu zależy wyjściowa moc laserów. Największą moc (kilkaset W) otrzymano m. in. na jonach argonu i kryptonu.

Podział laserów jonowych:

- ❖ Lasery, w których ośrodkiem czynnym są pobudzone jony takich gazów, jak Ar⁺. Lasery te są pobudzone wyładowaniem elektrycznym w gazie przy przepływie prądu rzędu kilku do kilkudziesięciu amperów. Lasery te mogą równocześnie generować kilka długości fali z zakresu widzialnego i nadfioletu. Na przykład dla Ar⁺ największą moc uzyskuje się dla 0,488 μm oraz 0,5145 μm. Z laserów tych uzyskuje się moce od kilku do kilkunastu W dla wszystkich długości fal emitowanych równocześnie.
- ❖ Lasery, w których ośrodkiem czynnym są pobudzone jony takich metali, jak Cd⁺, Se⁺. Pary metali, zwykle z dodatkiem gazu pomocniczego, są pobudzane przez wytworzenie w nich wyładowania elektrycznego przy przepływie prądu rzędu kilkudziesięciu mA. Dla Cd⁺ uzyskuje się generację na długości fali 0,441 μm i 0,325 μm. Moce laserów Cd⁺ zwykle są rzędu kilkunastu do kilkudziesięciu mW.

Zastosowanie laserów jonowych:

- badania fizyczne
- łączność optyczna
- technologia
- fotochemia
- fotobiologia
- separacja izotopów

11. LASER BARWNIKOWY

Laser barwnikowy jest laserem o pracy ciągłej lub impulsowej, którego ośrodkiem aktywnym jest roztwór barwnika w stanie ciekłym, stałym lub w postaci pary.

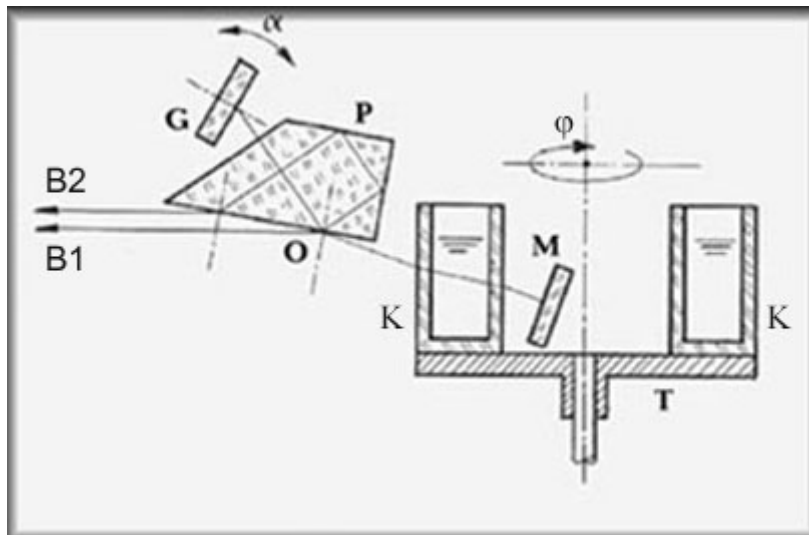
Umożliwia ciągłą zmianę długości fali z zakresie ok. 0,4-0,8 μm lub od bliskiej podczerwieni do bliskiego ultrafioletu (1 μm ÷ 0,2 μm). Zakresy te uzyskuje się przez stosowanie kolejno różnych barwników. Najbardziej znane z nich to fluoresceina, rodamina G6 i rodamina B, pokrywająca środkową część widma widzialnego. Przesztrajanie może odbywać się za pomocą siatek dyfrakcyjnych,

pryzmatów lub poprzez zmianę ciśnienia barwnika. Cechą charakterystyczną lasera barwnikowego jest możliwość płynnego przestrajania długości fali, tak w laserach ciągłego działania, jak i impulsowych, włącznie do pikosekundowych czasów trwania impulsów.

Generacja w laserze barwnikowym realizowana jest na przejściach między wzbudzonym stanem singletowym (o wypadkowym spinie elektronów równym zero) i stanem podstawowym złożonych molekuł barwników organicznych. Zwykle stosowane są roztwory barwników o małej koncentracji. Inwersja obsadzeń realizowana jest wg czteropozomowego schematu pompowania optycznego. Pompowanie optyczne z kolei odbywa się na drodze wykorzystania jako źródła energii wzbudzającej lamp błyskowych, lasera YAG lub impulsowego lasera azotowego. Lasery barwnikowe o pracy ciągłej są pompowane zwykle laserem jonowym argonowym.

Jeśli promieniowanie lasera pompującego jest spolaryzowane, to promieniowanie lasera barwnikowego jest również spolaryzowane.

Lasery barwnikowe - zasada działania:



Rys. Schemat lasera barwnikowego.

G - siatka dyfrakcyjna
P - pryzmat rozszerzający wiązkę
K - kuweta z roztworem barwnikowym
M - zwierciadło płaskie
T - obrotowy stół

Siatka dyfrakcyjna G, pryzmat P i zwierciadło płaskie M tworzą rezonator. Rezonator pełni tu rolę sprzężenia zwrotnego dla wybranych częstotliwości. Tylko te fotony, dla których układ optyczny jest rezonatorem, wielokrotnie przebiegają przez ośrodek czynny, wywołując emisję kolejnych fotonów spójnych z nimi. Pozostałe fotony zanikają w ośrodku czynnym lub układzie optycznym.

We wnękę rezonatora wprowadzana jest jedna z 6 kuwet K zawierających roztwory barwników, umieszczonych w obrotowym uchwycie T. Ustawienie kąta siatki dyfrakcyjnej G oraz wprowadzenie właściwego barwnika sterowane jest komputerowo, zgodnie z wybranym zakresem strojenia długości fali promieniowania.

Istotną cechą konstrukcji lasera jest możliwość wykorzystania dwóch wiązek promieniowania (B1) i (B2) wyprowadzonych z rezonatora. Wiązka B1 wychodząca bezpośrednio od strony kuwety K ma większą moc, ale mniejszą jakość spektralną. Odpowiedni kształt pryzmatu P umożliwia jednak wyprowadzenie drugiej wiązki B2 wychodzącej bezpośrednio od strony siatki dyfrakcyjnej G.

Charakterystyczne parametry:

Energie uzyskiwane przez laser barwnikowy w impulsie wynoszą od kilkudziesięciu μJ do kilku mJ, natomiast moce - od kilku kW do kilkunastu kW.

Częstotliwości powtarzania impulsów wynoszą przy pobudzaniu laserem azotowym do ok. 100 Hz, przy pobudzeniu lampą błyskową ok. 15 Hz. W zależności od rodzaju barwnika i zakresu emitowanej długości fali uzyskuje się różne sprawności przetwarzania mocy pompowania na moc wyjściową, zwykle od kilku do ok. 25%.

Główne obszary zastosowania lasera barwnikowego:

- ❖ spektroskopia (nauka o powstawaniu i interpretacji widm powstających w wyniku oddziaływań wszelkich rodzajów promieniowania na materię)
- ❖ chemia
- ❖ diagnostyka
- ❖ badania naukowe

Pierwszy laser barwnikowy został zbudowany w 1966 r. przez P. P. Sorokina i J. R. Lankarda z IBM (USA). W 1968 r. O. G. Peterson zbudował pierwszy laser barwnikowy z ośrodkiem aktywnym w postaci stałego roztworu rodminy w szkle organicznym.

12. LASER PÓŁPRZEWODNIKOWY

Zasada działania lasera półprzewodnikowego:

Zasada działania lasera półprzewodnikowego (diody laserowej) jest zbliżona do zasady działania diody LED. Zasadnicze znaczenie ma tu emisja wymuszona oraz inwersja obsadzeń (rozkład antybolzmanowski).

W normalnym stanie w ciele stałym liczba elektronów o danej energii jest tym mniejsza, im wyższa jest ta energia. W celu wywołania akcji laserowej rozkład ten trzeba odwrócić. W atomie mogą powstać metastabilne poziomy energetyczne. Prawdopodobieństwo rekombinacji elektronu z pasma metastabilnego jest małe, co sprzyja obsadzeniu tego pasma przez dużą liczbę elektronów.

Aby jednak elektrony znalazły się na poziomach metastabilnych należy dostarczyć im energię (pompowanie). Po wzbudzeniu tylko niewielka część elektronów powraca do pasma walencyjnego rekombinując promieniście. Większość elektronów trafia na poziomy metastabilne, zawarte między pasmem walencyjnym, a pasmem przewodnictwa.

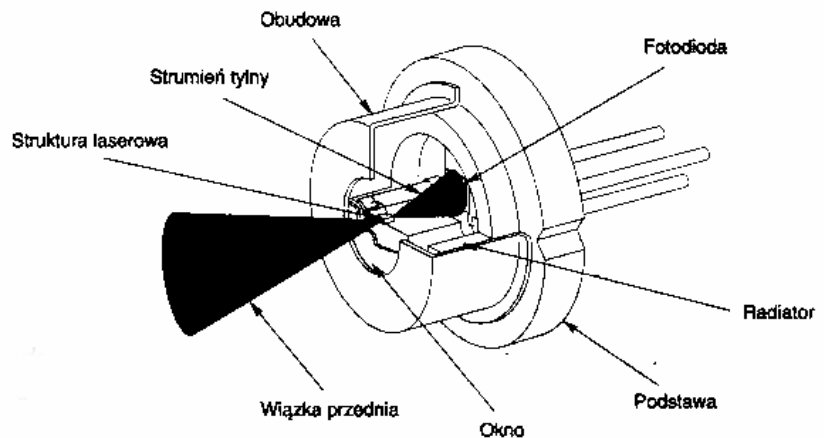
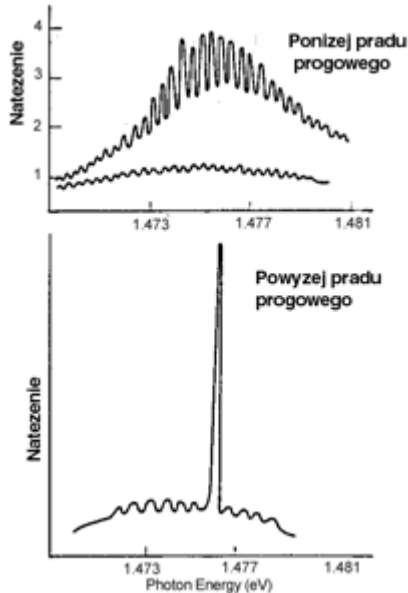
Rekombinacja następuje lawinowo i jest wymuszona fotonami powstałymi we wcześniejszej rekombinacji promienistej.

W laserze półprzewodnikowym funkcję pompowania spełnia ciągły przepływ nośników (zarówno dziur jak elektronów), które następnie rekombinują ze sobą.

Obszary n i p wokół obszaru aktywnego domieszkowane są dodatkowo Al w celu uzyskania warstw odbijających promienie wyemitowane spontanicznie. Promienie te odbijane są wielokrotnie od warstw bocznych i tworzą w ten sposób tzw. rezonator Fabry-Perota. Promienie odbijające się w rezonatorze wywołują powtarzającą się rekombinację promienistą, przez co światło jest wzmacniane. Promienie

odbijające się w rezonatorze częściowo wydostają się z warstwy aktywnej tworząc wiązkę światła laserowego.

Akcję laserową otrzymujemy gdy zwiększymy prąd diody powyżej pewnego prądu progowego (ok. 250mA). Poniżej tej wartości dioda zachowuje się podobnie do diody LED. Po przekroczeniu prądu progowego w widmie światła diody pojawiają się prążki o dużo większej mocy (akcja laserowa) niż reszta widma powstała w wyniku emisji spontanicznej.



Sama konstrukcja LD jest zbliżona do diody LED. Wiązka wychodząca z diody jest dość rozproszona, konieczne jest zatem zastosowanie odpowiedniej soczewki skupiającej. Duże znaczenie dla diody LD ma stabilizacja warunków pracy.

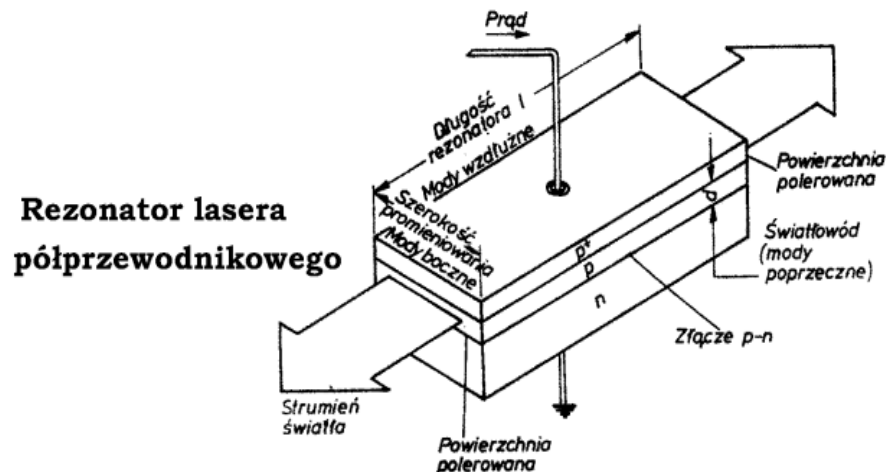
Dioda jest bardzo wrażliwa na zmiany temperatury. Im większa temperatura diody tym wyższa wartość prądu progowego, od temperatury zależy również czas życia diody.

Moc diody kontrolowana jest przez umieszczoną w tej samej obudowie diodę monitorującą (fotodiodę).

W laserach półprzewodnikowych inwersję obsadzeń uzyskuje się przez wstrzykiwanie nośników mniejszościowych do spolaryzowanego w kierunku przewodzenia złącza p-n lub heterozłącza.

Rezonator:

Rezonator ma postać prostopadłościanu o wymiarach rzędu ułamka milimetra, natomiast sprzężenie optyczne uzyskuje się dzięki parze zwierciadeł prostopadłych do płaszczyzny obszaru czynnego, lub specjalnie



pofalduwanej powierzchni równoległej do tego obszaru.

Zalety laserów półprzewodnikowych:

Zalety tego typu laserów są typowe dla urządzeń półprzewodnikowych:

- ✓ małe wymiary i masa
- ✓ duża sprawność i niskie napięcie zasilania
- ✓ możliwość modulacji częstotliwości w zakresie nawet do kilku GHz

Najczęściej do produkcji laserów wykorzystuje się półprzewodniki o prostej przerwie energetycznej. Nie występuje tu emisja fononów w trakcie rekombinacji, powodująca podgrzewanie danego półprzewodnika, a interesującemu nas przejściu energetycznemu nie towarzyszy zmiana pędu elektronu.

Najpopularniejszy półprzewodnik – krzem ma przerwę skośną, rekombinacja w nim ma zatem charakter bezpromienisty.

Prąd progowy:

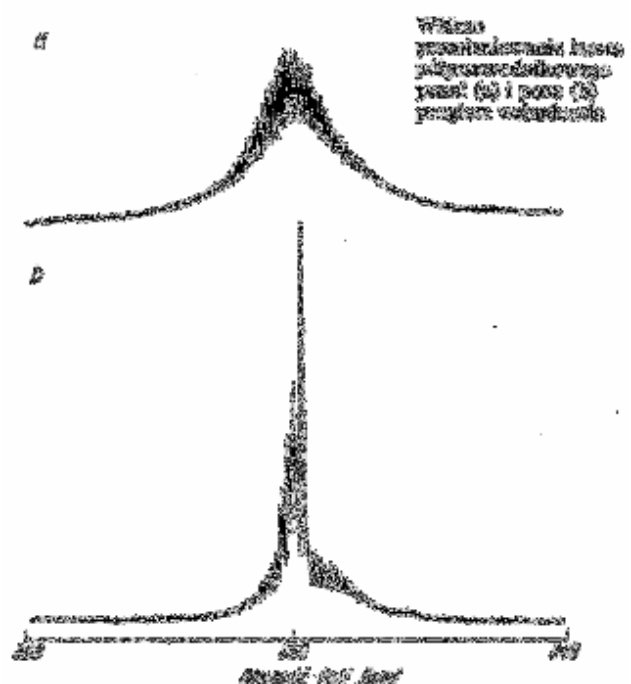
Prąd progowy jest to takie natężenie prądu zasilającego laser półprzewodnikowy, przy którym występuje wzbudzenie lasera, czyli w emitowanej mocy zdecydowanie większy udział niż emisja spontaniczna ma emisja wymuszona.

$$I_p = I_o \exp\left(-\frac{\Delta T}{T_L}\right)$$

I_o - nat. p.p. w temp. T_o ,
 $\Delta T = T - T_o$ - przyrost temp. obszaru czynn.,
 T_L - charakterystyczny parametr lasera.

Widmo promieniowania:

Widmo częstotliwościowe lasera półprzewodnikowego jest bardzo wąskie, często rzędu jedynie kilku nm. Jednak obecność zwierciadeł na końcach struktury powoduje powstanie promieniowania o kilku różnych długościach fal. Jest to spowodowane tym, że długość rezonatora jest skwantowana i powstaje kilka fal stojących. Z tego też powodu charakterystyka widmowa składa się zwykle z wielu wierzchołków, wynikających z wzbudzenia tych modów, którym odpowiada największa dobroć rezonatora.



Charakterystyka emisyjna:

Jest to zależność mocy promieniowania emitowanego od natężenia prądu zasilającego. Idealna charakterystyka emisyjna składa się z dwóch odcinków. Pierwszemu odpowiada moc promieniowania spontanicznego, natomiast drugiemu, dla prądu większego od prądu progowego, odpowiada moc promieniowania spójnego.

Sprawność kwantowa przyrostowa:

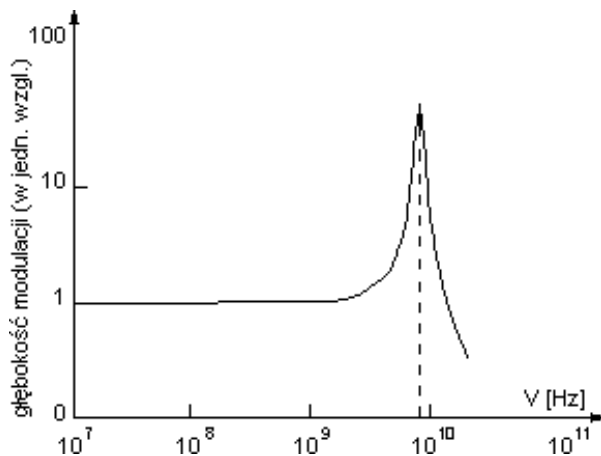
Miarą sprawności kwantowej przyrostowej jest nachylenie charakterystyki emisyjnej powyżej prądu progowego. Można stąd wnioskować, że jest ona wprost proporcjonalna do przyrostu liczby fotonów składających się na emitowany strumień promieniowania, a odwrotnie proporcjonalna do ilości nośników ładunku przepływających przez złącze p-n, więc:

$$\eta_d = \frac{\frac{\Delta \phi}{h\nu}}{\frac{\Delta I}{e}}$$

ϕ - strumień prom. spójnego,
 $h\nu$ - energia emitowanych fotonów
 h - stała Plancka
 I - nat. prądu płynącego przez laser,
 e - ładunek elektronu

Częstotliwość rezonansowa:

Jest to częstotliwość, przy której występuje gwałtowny wzrost głębokości modulacji mocy wyjściowej lasera, co ogranicza szerokości pasma tej modulacji.



Modulację mocy wyjściowej lasera półprzewodnikowego realizuje się z reguły poprzez modulację natężenia prądu zasilającego.

Problem długości fali świetlnej emitowanej przez LD:

Długość fali emitowanego przez laser promieniowania zależy przede wszystkim od szerokości przerwy energetycznej materiału, z którego jest on wykonany. Przyjmuje się więc w przybliżeniu, iż:

$$\lambda = \frac{1,24}{E_g [eV]} [\mu m]$$

Diody homeozłączowe mają ściśle określoną wartość przerwy energetycznej.

Jednak w przypadku podwójnych i poczwórnych związków półprzewodnikowych poprzez odpowiedni dobór ich składu molowego można w płynny sposób zmieniać szerokość przerwy energetycznej w dość szerokich granicach.

Stosując różne materiały półprzewodnikowe można wykonać lasery pokrywające praktycznie całe widmo – od światła niebieskiego do podczerwieni.

Do sterowania długością światła możemy wykorzystać również zależność przerwy energetycznej E_g od temperatury i ciśnienia:

$$E_g = E_{g0} + \left(\frac{\partial E_g}{\partial p} \right)_T \Delta p + \left(\frac{\partial E_g}{\partial T} \right)_p \Delta T$$

Praca lasera:

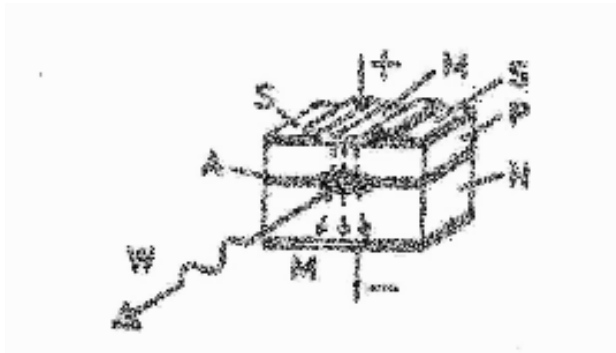
- Lasery homeozłączowe mogą pracować jedynie impulsowo w niskich temperaturach.
- Lasery z pojedynczym heterozłączeniem posiadają niedomieszkowaną warstwę aktywną umieszczoną pomiędzy dwoma warstwami o różnym składzie i różnej szerokości przerwy energetycznej np. GaAs oraz GaAlAs. Pozwala to ograniczyć wzbudzenie elektronów i emisję światła do warstwy aktywnej GaAlAs i umożliwia pracę impulsową lasera o dużej mocy szczytowej w temperaturze pokojowej. Niestety, lasery te nie mogą pracować w sposób ciągły.
- Lasery z podwójnym heterozłączeniem są znacznie wydajniejsze i mogą emitować promieniowanie w sposób ciągły w temperaturze pokojowej.

Lasery półprzewodnikowe o geometrii taśmowej:

Aktywna warstwa w heterostrukturze jest zawężana w dodatkowym kierunku np. poprzez naniesienie brzozy izolatora (SiO_2) pomiędzy elektrodę metalową i resztę struktury lasera półprzewodnikowego., co znacznie poprawia efektywność emisji laserowej.

S –

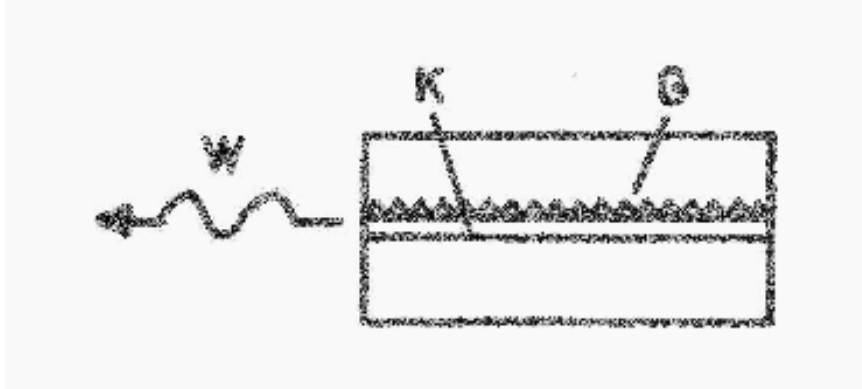
izolator; M – elektrody metalowe



Lasery półprzewodnikowe z rozłożonym sprzężeniem zwrotnym (DFB):

Powierzchnie odbijające są zastępowane siatkami dyfrakcyjnymi. Powodują one występowanie sprzężenia w bardzo wąskim przedziale długości fal, co poprawia stabilność widmową i temperaturową laserów półprzewodnikowych.

K- warstwa aktywna; G – siatka dyfrakcyjna; W – wiązka promień. laserowego



13. KROPKI KWANTOWE

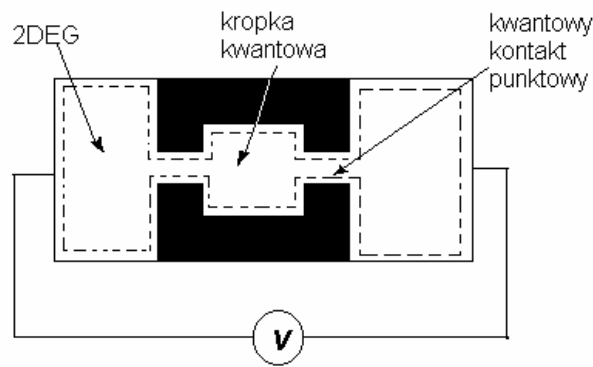
Badania półprzewodników doprowadziły do otrzymania struktur dwu-, jedno- i zerowymiarowych. Elektrony są w nich zlokalizowane w płaszczyznach, liniach lub punktach nazywanych kropkami kwantowymi. Kropki kwantowe są obecnie intensywnie badane, ponieważ ich fizyka jest bogata i elegancka, a ich odkrycie zapowiada bardzo interesujące wyniki naukowe. Mogą one znajdować zastosowanie w elektronice i optyce. Kropki można nazwać sztucznymi atomami, lub kwantowo-mechanicznymi pudłami wiążącymi elektrony.

Inżynieria półprzewodnikowa w ograniczonej liczbie wymiarów została zapoczątkowana w latach siedemdziesiątych. Za pomocą technik epitaksjalnych, w których półprzewodnik rośnie warstwowo, grupy badawcze z AT&T Bell Laboratories i IBM uzyskały pierwsze studnie kwantowe - cienkie warstwy półprzewodnika (arsenku galu), w których znajdują się elektrony.

Energia elektronów znajdujących się poza studnią jest wyższa niż elektronów wewnątrz, co powoduje napływanie ich do studni. Studnie takie znalazły zastosowanie np. w diodach laserowych.

Rodzaje struktur:

- ✓ 3D – półprzewodnik objętościowy (lity)
Ruch nośników nie jest ograniczony w żadnym kierunku
- ✓ 2D – studnia kwantowa dwuwymiarowa (warstwa półprzewodnikowa)
Ruch nośników jest ograniczony w jednym wymiarze
- ✓ 1D – drut kwantowy
Ruch nośników ograniczony w dwóch wymiarach
- ✓ 0D – kropka kwantowa
Ruch nośników ograniczony w trzech wymiarach



Istota kropek kwantowych :

Wytwarzanie kropek kwantowych odbywa się w serii procesów trawienia i maskowania. Najpierw z wytworzonych na powierzchni podłoża struktury studni kwantowej wycina się druty i kropki kwantowe metodą trawienia jonowego. Metoda ta polega na skierowaniu na materiał wiązki agresywnych chemicznie jonów, np. fluoru. Miejsca, które mają oprzeć się trawieniu, muszą być zabezpieczone warstwą ochronną wytworzoną przy pomocy fotolitografii.

Istnieją również inne metody wytwarzania nanostuktur. Kropki kwantowe są zwykle modelowane przez stosowanie cylindrycznego potencjału poprzecznie ograniczającego układ elektronowy. Stosując różne metody można elektrony ograniczać tak, by możliwa była ich kontrola (przy użyciu tych samych metod, które doprowadziły do tego, że potrafimy projektować układy scalone w skali jednej milionowej metra).

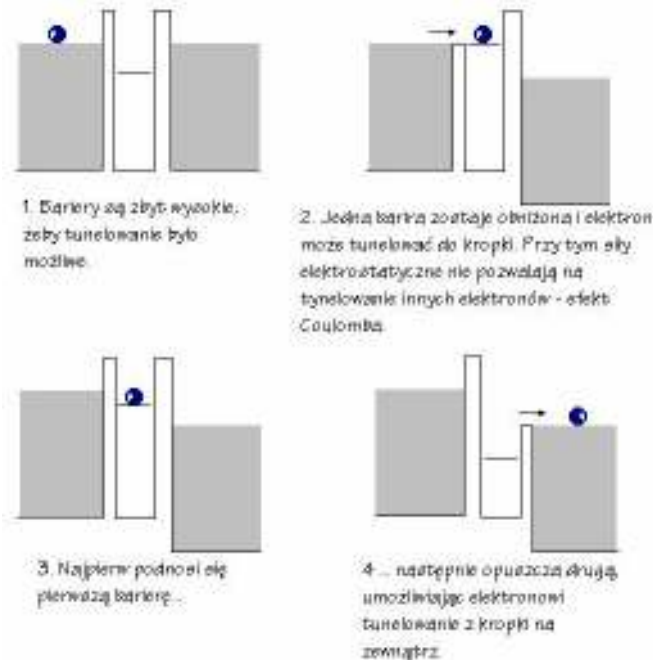
Jest to tzw. studnia kwantowa. Jeśli ograniczymy o jeszcze jeden wymiar, to zmusimy je do poruszania się po linii. Reguły kwantowe ograniczają tu energie ruchu w dwóch kierunkach. Jest to wtedy linia lub drut kwantowy. W przypadku ponownego ograniczenia gazu elektronowego, otrzymamy kwantową kropkę. Jest to swego rodzaju maleńkie pudełko, które może pomieścić ok. 100 elektronów.

Kropka kwantowa jest to naturalny cel ostateczny na drodze wytwarzania urządzeń w coraz mniejszej skali. Zainteresowanie takim wytworem wiąże się z możliwością działania na poziomie pojedynczego elektronu, co jest niewątpliwie granicą urządzeń elektronicznych. Można powiedzieć, że kropka kwantowa to sztuczny atom, tylko 100 razy większy. Zamiast dodatniego jądra utrzymującego elektrony na miejscu, hydrostruktury i bramki powierzchniowe z odpowiednimi napięciami zamykają elektrony w płytkich „jeziorkach”, które mogą zawierać kilkanaście elektronów. Bramki powierzchniowe można obecnie wytwarzać w kryształach, tak aby kropki kwantowe łączyły się z większymi obszarami za pomocą specjalnych przewężeń kwantowych kontaktów punktowych.

Kropki kwantowe są znacznie większe od atomów, więc w konsekwencji przerwy pomiędzy dozwolonymi poziomami energii są dużo mniejsze. Na razie nie udało się wytworzyć tak małych kropek, aby można było badać ich poziomy energetyczne za pomocą światła.

Używając prądu do dodawania i odejmowania pojedynczych elektronów, napotyka się zjawisko, które w zasadniczy sposób różni przepływ prądu od przepływu cieczy – ładunek przenoszony jest w elementarnych porcjach równych ładunkowi elektronu. Jest to minimalna ilość ładunku jaką można dodać lub odjąć od kropki kwantowej. Jeżeli do natomiast do układu doda się pole magnetyczne możliwości stają się niemalże nieskończone.

Jednym z takich zastosowań może być kołowrót dla elektronów, wykorzystujący kropkę kwantową i efekt blokady Coulomba. W takim urządzeniu podnosi się i opuszcza w regularnych odstępach czasu bariery oddzielające kropkę kwantową od 2DEG, aby umożliwić za każdym razem przejście przez nią tylko jednemu elektronowi. W wyniku działania tego urządzenia, przedstawionego na rysunku, powstaje bardzo regularny przepływ prądu, w którym pojedyncze elektrony z regularnością mechanizmu zegarowego przechodzą przez kropkę.



Molekuły Wignera:

W zerowym polu magnetycznym rozkład gęstości elektronów uwięzionych w kropce kwantowej odtwarza geometryczną symetrię kropki. Przyłożone do kropki silne pole magnetyczne powoduje łamanie tej symetrii, gęstość elektronowa zaczyna wykazywać wyraźne maksima, których liczba pokrywa się z ilością uwięzionych elektronów. W granicy bardzo silnych pól następuje rozdział elektronów na pojedyncze chmury. Tworzy się odpowiednik przewidzianego przez Wignera kryształu elektronowego. Ponieważ układ jest kilkuelektronowy, możemy go nazwać molekułą Wignera.

Kropki samorosnące:

Kropki kwantowe wytworzone przez wzrost związku półprzewodnikowego o węższej przerwie energetycznej na powierzchni związku o szerszej przerwie energetycznej oraz znacznej różnicy stałych sieciowych podłoża i warstwy nanoszonej nazywamy kropkami samorosnącymi lub samoorganizującymi się (ang. self-assembled dots -SAD). Najczęściej badanymi kropkami samorosnącymi są kropki InAs/GaAs.

Na podłożu wykonane z arsenku galu (GaAs) przeprowadzamy wzrost arsenku indu (InAs). W przypadku tej pary związków różnica stałych sieciowych wynosi 7%. Pierwsza monoatomowa warstwa InAs, zwana jest warstwą zwilżającą, pokrywa równomiernie całą powierzchnię GaAs.

Tylko pierwsze nanoszone monowarstwy krystalizują się w formie warstwy epitaksjalnej, o stałej sieciowej równej stałej sieciowej podłoża. Po przekroczeniu krytycznej grubości (około 1,8 monowarstwy) znaczne naprężenie - spowodowane różnicą stałych sieciowych materiałów -

występujące w warstwie prowadzi do spontanicznego utworzenia przypadkowo rozmieszczonych wysp o regularnym kształcie i zbliżonych rozmiarach. Kształt, średnia wielkość wysp i odległości między nimi zależą głównie od takich czynników, jak wielkość naprężenia w warstwie (zależna od niedopasowania stałych sieciowych), temperatura, w której prowadzony jest wzrost i szybkość wzrostu. Przejście fazowe od struktury epitaksjalnej do układu wysp nosi nazwę przejścia Strańskiego-Krastanowa.

Wyspy te pokrywamy materiałem podłoża (GaAs) o grubości znacznie większej od wysokości kropek, uzyskując strukturę typu studni kwantowej o znacznie zwiększonej grubości w bardzo małych obszarach.

Ze względu na duży wpływ powierzchni, samozorganizowane kropki kwantowe przed nałożeniem warstwy wierzchniej są nieaktywne zarówno optycznie jak i elektronicznie. Natomiast po przykryciu kropek warstwą GaAs ich kształty, rozmiary i skład chemiczny nie są już dobrze znane. Kształt, rozmiary kropek i odległości między nimi mogą być zatem badane przed nałożeniem warstwy wierzchniej GaAs.

Kształt kropek samorosnących nie jest jednoznacznie określony. Jedni twierdzą, że mają one kształt piramid o kwadratowej podstawie (np. o długości boku podstawy ok. 24 nm i wysokości ok. 2,8 nm). Według innych mają kształt płaskich soczewek (np. o średnicach ok. 36 nm i wysokościach ok. 4,4 nm). Rozmiary kropek są różne: wysokości kropek są rzędu pojedynczych nanometrów a pozostałe wymiary rzędu dziesiątek nanometrów. Przeprowadzone pomiary rentgenowskie składu kropek po nałożeniu wierzchniej warstwy GaAs wykazują na znaczny udział galu w materiale kropek oraz na rozmywanie się warstwy zwilżającej.

Metody badania kropek kwantowych :

- elektronowej mikroskopii tunelowej (STM)
- transmisyjnej mikroskopii elektronowej (TEM)

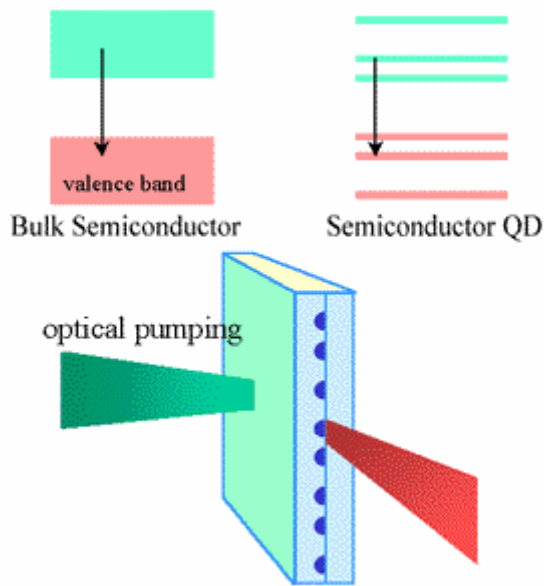
Laser na kropkach kwantowych:

Nie bez znaczenia są również bardzo obiecujące wyniki konstrukcji laserów na kropkach kwantowych. Urządzenia te w porównaniu z innymi laserami półprzewodnikowymi odznaczają się lepszymi parametrami sprawnościowymi. Mogą też pracować w wysokich temperaturach, niedostępnych dla konstrukcji opartych na studniach kwantowych czy litych półprzewodnikach.

Jak już wspomniano do budowy laserów wykorzystuje się studnie kwantowe. Zarówno badania jak i przewidywania teoretyczne pokazują, że lasery wykorzystujące kropki kwantowe są bardziej precyzyjne i bardziej wydajne.

Wyraźne kwantowanie stanów elektronowych o parametrach dogodnych dla akcji laserowej, szczególnie w kropkach samorosnących, sprawia, że lasery oparte na tych kropkach mogą pracować w wyższych temperaturach. Mogą być także łatwo i w dość szerokim zakresie przestrajane przez umieszczenie ich w odpowiednim polu magnetycznym. To czyni kropki bardzo atrakcyjne pod względem technologicznym.

Konstruowanie lasera:



Pompowany optycznie laser na kropkach kwantowych InP. Pary elektron dziura wzbudzone są przez zogniskowane światło zielone padające z lewej strony (ognisko ma kształt paska). Czerwone światło emisji wymuszonej z kropek (promieniowanie lasera) jest obserwowane z prawej strony. Warstwa QD z InP w środku warstwy GaInP która ulokowana była pomiędzy warstwami AlInP o mniejszym współczynniku załamania tworząc falowód utrzymujący światło w bezpośrednim sąsiedztwie obszaru czynnego.

Szeroko zakrojone studia nad kropkami kwantowymi ze związku InGaAs pokazują teraz, że emisja długości fal w 3-D strukturach koherentnych warstw epitaksjalnych może być rozszerzona poza możliwą 2-D koherentną naprężoną heterostrukturę z tego samego materiału. Ta cecha została zademonstrowana na kropkach kwantowych opartych na podłożu GaAs- związku InGaAs o laserach działających poza 1.3 μm - długościami fal które teraz działają na falach CW (continuous-wave) o prądach progowych zamkniętych do 1mA i progowych gęstościach prądów mniejszych jak 20A/cm².

14. ZASTOSOWANIE LASERÓW

Telekomunikacja:

Kable światłowodowe, przewodzące sygnały w formie impulsów świetlnych o różnej intensywności, przenoszą wielokrotnie więcej informacji, niż tradycyjne miedziane kable telefoniczne. W światłowodowych sieciach telekomunikacyjnych pojedyncze włókno może równocześnie przesyłać tysiące rozmów telefonicznych.

Medycyna:

We współczesnej medycynie znalazło zastosowanie kilkanaście, jeśli nie kilkadziesiąt, różnego rodzaju urządzeń laserowych. Trudno byłoby obecnie wymienić dziedzinę medycyny, która nie korzystałaby z takiego źródła promieniowania, jakim jest laser.

Między innymi laser stosujemy:

- ❖ W okulistyce - do przecinania cyst powiek lub spojówek, zabiegów przeciwjaskrowych i przeciwwzrostowych, do korekcji wad wzroku (astygmatyzmu, krótkowzroczności i dalekowzroczności)
- ❖ W dermatologii - za pomocą laserów usuwają naczyniaki oraz niektóre nowotwory (np. raka podstawnokomórkowego).
- ❖ W laryngologii - laserem leczy się nowotwory krtani oraz wykonuje rekonstrukcję kosteczek słuchowych.
- ❖ W chirurgii - lasery służą do udrażniania przełyku w chorobach nowotworowych, hamowania krwawienia z górnego odcinka przewodu pokarmowego, leczenia łagodnych nowotworów jelita grubego.

Zaletą lasera jest to, że w porównaniu ze skalpelem nie powodują obfitych krwawień. Skalpele laserowe ograniczają krwawienia pooperacyjne, ponieważ ciepło, jakie wydzielają, zgrzewa przecinane naczynia krwionośne. Używane są one do wykonywania cięć subtelniejszych od włosa ludzkiego.

Do najczęściej stosowanych w medycynie laserów gazowych należą: lasery na dwutlenku węgla CO₂, helowo-neonowe He-Ne, lasery ekscimerowe, argonowe i kryptonowe. Z laserów na ciele stałym najbardziej znane są lasery na kryształach granatu itrowo-aluminiowego (YAG) domieszkowanego neodymem Nd, erbem Er (laser erbowy) lub holmem (laser holmowy). Jeśli chodzi o lasery półprzewodnikowe, to wykorzystywanych jest bardzo wiele ich typów emitujących promieniowanie od czerwieni do podczerwieni.

Przemysł:

Wkrótce po wynalezieniu lasera w roku 1960 w przemyśle zorientowano się, że za jego pomocą można wykonywać operacje dotąd niewykonalne.

W przemyśle mikroelektronicznym lasery są stosowane do precyzyjnego ciecicia, do mikroobróbki, wiercenia niezwykle małych otworów i usuwania bardzo cienkich warstw materiału - zadań niemożliwych do wykonania innymi narzędziami.

Lasery tną żelazo i stal, topiąc metal. Energia lasera jest tak skoncentrowana, że stopiona zastaje jedynie bardzo cienka warstwa metalu. Przy spawaniu laserowym skoncentrowana wiązka światła lasera wytwarza tak dużą ilość ciepła, że metal spoiny zostaje stopiony, a jej brzegi zespawane.

Pomiary:

Geodeci używają przyrządów zwanych dalmierzami laserowymi do bardzo dokładnych pomiarów odległości - od kilku metrów do około 3 km. Wiązka dalmierza laserowego jest kierowana na odbijający cel. A gdy natrafi na lustro, zostaje obita z powrotem do niego. Instrument rejestruje czas, który upłynął od wysłania impulsu świetlnego do jego odbioru, i oblicza z niego odległość do celu.

Wojsko:

Broń laserowa małej mocy jest używana do unieszkodliwiania czujników sterujących pocisków raketowych. Czujniki trafiane są skupioną wiązką światła laserowego małej mocy. Jeśli nawet moc tej wiązki nie wystarczy do zniszczenia czujnika, może go oślepić na tyle, aby nie mógł właściwie działać - tak jak w nocy silne światła samochodu oślepiają kierowcę i utrudniają mu widzenie. Lasery są także użyteczne do znakowania, czy "rozświetlania" celów. Wiązek laserowych używa się do oświetlania celów, ułatwiając samolotom ich identyfikację.

Badania naukowe:

- Określenie skażenia atmosfery - analizując pochłanianie światła o różnych długościach fali przez chemikalia zawarte w powietrzu, można mierzyć skażenie atmosfery. Niektóre związki chemiczne, pobudzone energią lasera, emitują charakterystyczne dla siebie światło. Zjawisko to nosi nazwę fluorescencji. Posługując się podniebnym laserem o odpowiedniej długości fali świetlnej i rejestrując wywołaną przez niego fluorescencję, naukowcy mogą badać tak różne zjawiska, jak stan zdrowia lasów czy rozmiary plamy ropy naftowej na morzu.
- Astrofizycy używają bardzo krótkich impulsów laserów wielkiej mocy do symulowania warunków panujących wewnątrz gwiazd. Jest to pomocne w ich badaniach nad powstawaniem i ewolucją wszechświata.
- Światło lasera jest intensywnie wykorzystywane także w laboratoriach chemicznych. W spektroskopii laserowej impulsem światła laserowego odparowuje się, czyli zamienia w gaz, drobną cząstkę badanej substancji. Obserwuje się następnie długości fal, które są przez ten materiał absorbowane lub emitowane. Informacja ta służy do identyfikacji jego składników.

Urządzenia elektroniczne:

Czytniki CD:

Zapis dźwięku i danych na CD składa się z ciągu zagłębień - wycinanych za pomocą małego lasera półprzewodnikowego w warstwie metalu pokrywającej plastikowy dysk. Płyta wiruje w napędzie z dużą szybkością, a wiązka światła laserowego jest skupiona na jej płaszczyźnie. Gdy wiązka trafi na zagłębienie zostaje rozproszona, a gdy płaska powierzchnia odbije ją do detektora, wytwarza impuls. Z impulsów tych składa się kod zarejestrowanych danych lub dźwięku. Układ elektroniczny odtwarzacza zamienia ten kod na prąd sygnału elektrycznego, który zostaje przekształcony w dane lub dźwięki.

Drukarki laserowe:

Laser sterowany mikroprocesorem drukarki naświetla w zaprogramowanych miejscach naładowaną elektrostatycznie powierzchnię światłoczułą bębna, powodując zmianę ładunku. W efekcie powstaje obraz strony na bębnie – wstępnie tylko w formie elektrostatycznej.

15. ŹRÓDŁA

- A.Kujawski, Paweł Szczepański (Lasery podstawy fizyczne)
Franciszek Kaczmarek (Wstęp do fizyki laserów)
Sławomir Kończak, Jerzy Mazur (Podstawy transmisji optycznej)
Lucjan Jacak, Arkadiusz Wójs, "Kropki kwantowe", Postęp fizyki, Wrocław 1998.
Karl Eberl, "Lasery na kropkach kwantowych", Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart, Niemcy, Physics World 10, nr 9, 47 (1997).
Marian Grynberg, "Druty i kropki kwantowe", Wiedza i Życie nr 6, 1998.
Chow, Weng W., "Semiconductor-laser fundamentals: physics of the gain materials. Berlin, Springer, 1999.
Dr Jerzy Kruszewski, "Chemia kwantowa dla wtajemniczonych", Cykl wykładów - chemia kwantowa, Uniwersytet Gdański, Wydział Chemii, Gdańsk, 1998-2000.
P.A.Maksym, H.Imamura, G.P.Mallon, H.Aoki "Molecular aspects of electron correlation in quantum dots"
H.M. Muller, S.E.Koonin "Phase transitions in quantum dots"
Shikin V., Nazin S., Heitman D., Demel T. "Dynamic response of quantum dots"
M.a Reed "Kropki kwantowe"
Michał Kozubal „Struktury niskowymiarowe” – praca pod kierunkiem dra Krzysztofa Korony 03. 03. 2004

Wykłady prof. L. Maksymowicz

<http://www.igf.fuw.edu.pl/~prac1/ids/szk-laser.htm>
<http://www.zamkor.pl/programy%20fizyka%20liceum/atomphoton>
<http://www.pcworld.pl/artykuly/39396.html>
<http://physics.uwb.edu.pl/ptf/zjazd/kos-w.htm>
http://info.ifpan.edu.pl/grant_spr/sprawozd4.html
<http://www.ieee.org/organizations/pubs/newsletters/leos/jun00/quantum.htm>
<http://www.people.virginia.edu/~jcb6t>
<http://dione.ids.pl/~pborys/fizyka/faq/node71.html>
<http://www.howstuffworks.com/holographic-memory.htm>
<http://republika.pl/zarobekonline/>
<http://www.pckurier.pl/archiwum/art0.asp?ID=2862>
<http://www.krecik.vip.interia.pl/>
<http://pecety.webpark.pl/program/4.htm>
http://www.etnik.pl/dane/nieb_laser.htm
<http://cd.uq.pl/>
<http://www.pcworld.pl/news/news.asp?id=45706>
<http://www.pckurier.pl/archiwum/art0.asp?ID=2954>
<http://www.republika.pl/audioton/md.html>
<http://www.lasery.info/>
<http://republika.pl/pricho/fizyka/fizyka15.html>
<http://republika.pl/zarobekonline/zagadnienie.htm>
<http://www.opto.eti.pg.gda.pl/przedmioty.html#6>
<http://imik.wip.pw.edu.pl/lasers/strona9.htm>
<http://republika.pl/gg66/pomiary.htm>
<http://republika.pl/gg66>

OPRACOWALI:

Borkowski Piotr
Bystron Katarzyna
Chabowski Michał
Dudek Magdalena
Guzy Magdalena
Stańczyk Michał