

Temat 4. Zasada działania i budowa wybranych laserów gazowych

4.1. Charakterystyka laserów gazowych

Moce laserów gazowych wynoszą od ułamków mW do tysięcy watów mocy ciągłej.

Lasery gazowe można podzielić na [2]:

- atomowe, np. He-Ne,
- jonowe, np. Ar⁺,
- molekularne, np. CO₂.

Gazowy ośrodek czynny pod niskim ciśnieniem charakteryzuje się [1]:

- wąskimi liniami spektralnymi *,
- wzmocnienie gazu jest małe w porównaniu z innymi ośrodkami czynnymi, dlatego lasery gazowe muszą mieć dużą długość, a rezonatory muszą mieć dużą dobroć.
- wysoka czystość gazów pozwala na uzyskanie dużej czystości spektralnej i koherencji.
- Zakres spektralny emisji laserów gazowych rozciąga się od fal milimetrowych do ultrafioletu.

* Wąskie linie spektralne gazu roboczego wykluczają pompowanie szerokopasmowymi źródłami światła. Stosuje się pompowanie przez zderzenia atomów z elektronami wyładowania elektrycznego – najczęściej *wyładowania jarzeniowego*. Korzystne jest zastosowanie gazu pomocniczego, spełniającego funkcję magazynu energii przekazywanej atomom czynnym.

4.2. Notacja Pashena

Notacja Pashena liczy się od pierwszych stanów wzbudzonych gazu szlachetnego, tzn. ten sam symbol np. $1s$ odpowiada odmiennym konfiguracjom elektronowym w atomach różnych pierwiastków (tabela 4.1).

Tab. 4.1. Przykładowe oznaczenia poziomów elektronowych w neonie i argonie [Wikipedia, hasło „Term symbol”].

Notacja Pashena	Konfiguracja elektronowa neonu	Konfiguracja elektronowa argonu
stan podstawowy	$1s^2 2s^2 2p^6$	$3s^2 3p^6$
$1s$	$1s^2 2s^2 2p^5 3s^1$	$3s^2 3p^5 4s^1$
$2p$	$1s^2 2s^2 2p^5 3p^1$	$3s^2 3p^5 4p^1$
$2s$	$1s^2 2s^2 2p^5 4s^1$	$3s^2 3p^5 5s^1$
$3p$	$1s^2 2s^2 2p^5 4p^1$	$3s^2 3p^5 5p^1$
$3s$	$1s^2 2s^2 2p^5 5s^1$	$3s^2 3p^5 6s^1$

- W stanach $1s$, $2s$, $3s$, ... istnieją 4 różne poziomy energii oznaczane indeksami od 5 do 2, przy czym energia rośnie w kolejności $1s_5$, $1s_4$, $1s_3$, $1s_2$.
- Stany p mają 10 poziomów energii oznaczanych indeksami od 10 do 1 w kierunku rosnącej energii, tzn. $2p_{10}$ jest stanem o najmniejszej energii w grupie $2p$.
- Notacja Pashena nie daje żadnych informacji o rodzaju sprzężenia elektronów w atomie, a jedynie o poziomie energii.

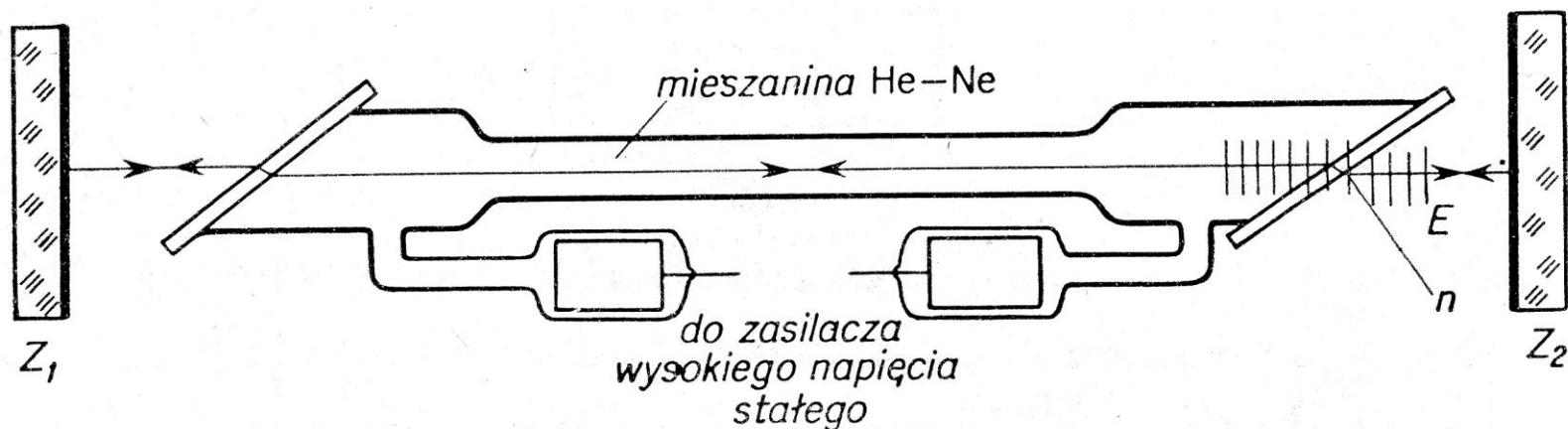
4.3. Laser He-Ne

Wzbudzenie: obecnie stosuje się głównie wzbudzenie prądem stałym, ze źródła o napięciu rzędu kilka kV; dawniej wyładowania pod wpływem prądów wysokiej częstotliwości.

Długość fali: możliwe ok. 30 długości fali $0,5939 \div 3,39 \mu\text{m}$, najpopularniejsze $0,6328 \mu\text{m}$.

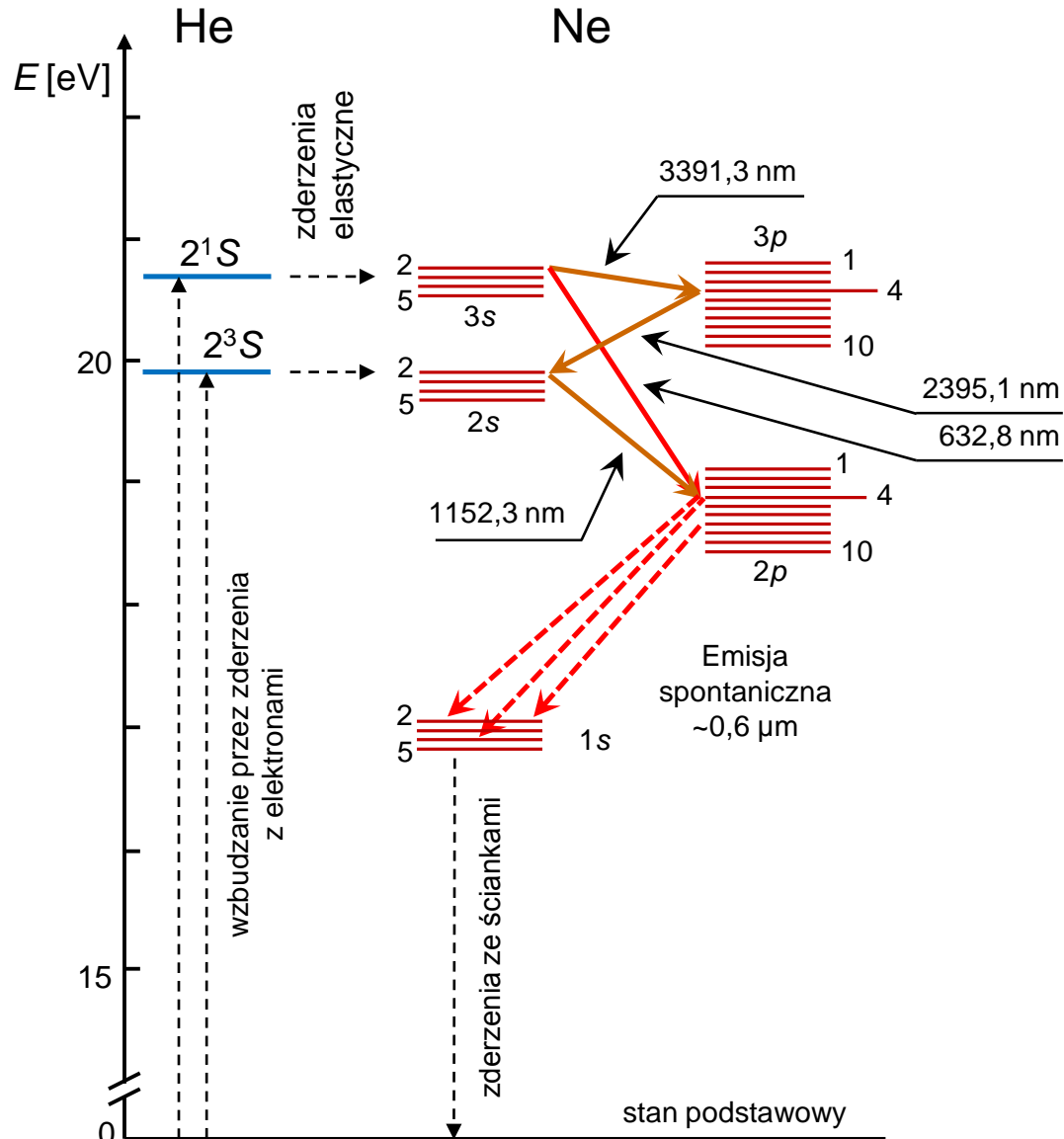
Budowa: Głównym elementem jest rura wyładowcza o długości $10 \div 100 \text{ cm}$ z mieszaniną He-Ne w stosunku od 5:1 do 20:1, o ciśnieniu rzędu dziesiątych części kPa. Możliwe są dwa warianty konstrukcji [1,2,4]:

1. Zwierciadła wewnątrz rury: - narażenie na bombardowanie jonowe,
- brak możliwości regulacji i wymiany zwierciadeł,
- emitowane światło jest niespolaryzowane.
2. Zwierciadła na zewnątrz rury (rys. 4.1): - okna zamykające rurę pod kątem Brewstera,
- emitowane światła jest spolaryzowane liniowo.



Rys. 4.1. Schemat rury lasera He-Ne zamkniętej płytkami brewsterowskimi [2].

c.d. laser He-Ne... mechanizm wzbudzenia



Rys. 4.2. Schemat poziomów energetycznych lasera He-Ne [1,2,4]. Notacja Pashena po stronie Ne.

Mechanizm emisji 0,6328 μm:

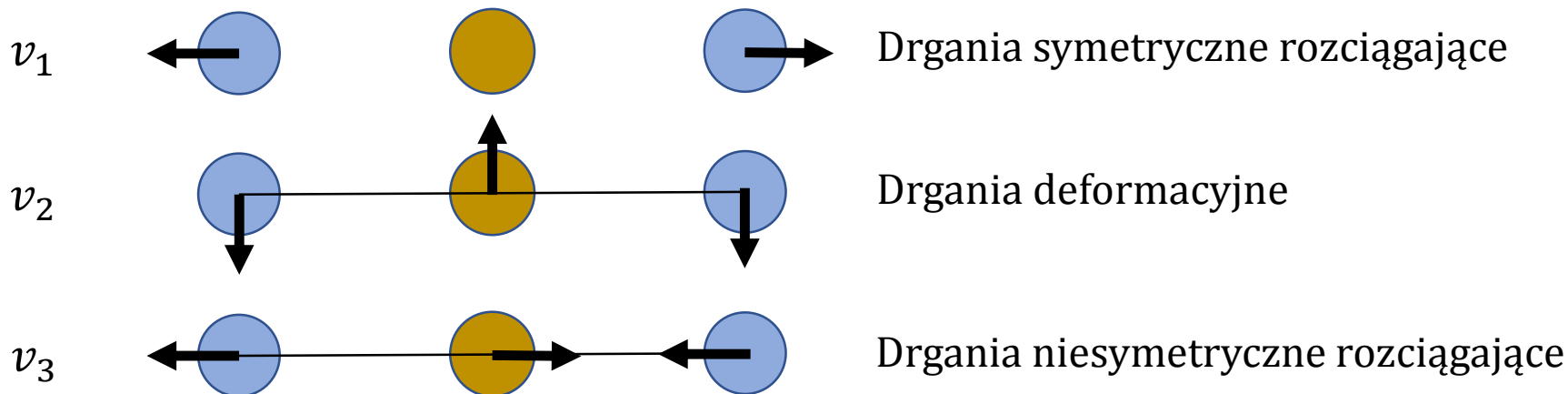
- 1). Elektrony swobodne powstają podczas jonizacji gazów.
- 2). $e + He(1^1S) \rightarrow He(2^1S) + e$,
 2^1S – czas życia rzędu sekund.
- 3). $He(2^1S) + Ne \rightarrow Ne(3s_2) + He$,
 $3s_2$ – czas życia rzędu 10^{-7} s
- 4). $Ne(3s_2) \rightarrow Ne(2p_4) + h\nu$,
 $2p_4$ – czas życia rzędu 10^{-8} s
- 5). Opróżnianie $2p_4$ przez przejścia spontaniczne do $1s$.

Wzrost ciśnienia neonu lub zwiększenie mocy wzbudzenia prowadzi do **niekorzystnego zmniejszenia inwersji obsadzeń** [1,4]:

- opróżniania poziomów $2s$ i $3s \rightarrow$ stan podstawowy, przy zderzeniach z elektronami,
- zapełnianie poziomu $1s \rightarrow 2p$ przy zderzeniach elektronów z atomami Ne w stanie $1s$.

4.4. Laser CO₂

Wykorzystuje się przejścia pomiędzy stanami wibracyjnymi cząsteczki CO₂. Cząsteczka CO₂ jest liniowa i nie ma momentu dipolowego, a jej oscylacje można sprowadzić do trzech typów drgań przedstawionych na rys. 4.3.



Rys. 4.3. Trzy podstawowe typy drgań cząsteczki CO₂ [1,2].

Poziomy oscylacyjne w notacji Herzberga zapisuje się zestawem liczb kwantowych

$$(v_1, v_2^l, v_3),$$

gdzie liczba l opisuje degenerację poziomu związanego z drganiami deformacyjnymi. Ponieważ opis tych drgań wymaga dwóch współrzędnych położenia, stąd podwójna degeneracja, a liczba l opisuje rozkład i fazę drgań w dwóch współrzędnych.

Całkowita oscylacyjna energia cząsteczki wynosi: częstotliwość

$$E(v_1; v_2; v_3) = hv_1(v_1 + \frac{1}{2}) + hv_2(v_2 + 1) + hv_3(v_3 + \frac{1}{2}). \quad (4.1)$$

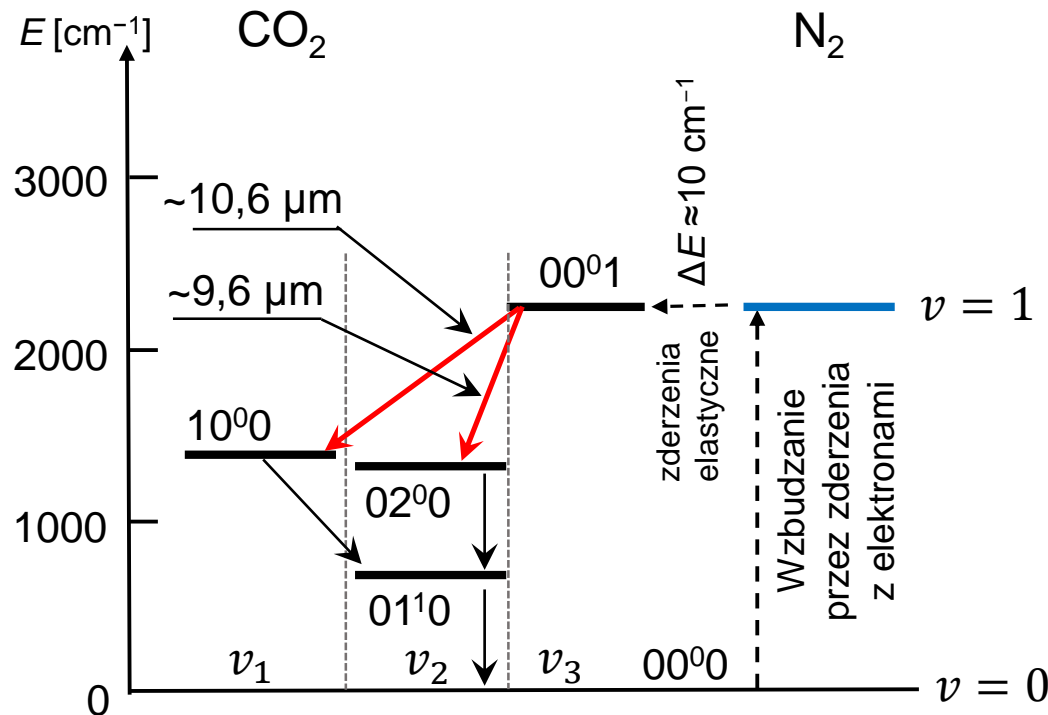
↙
↘ liczba kwantowa

c.d. laser CO₂

Mechanizm emisji 0,6328 μm:

W cząsteczkach N₂ możliwe są tylko oscylacje wzdłuż osi cząstki – jedna liczba kwantowa.

Wyładowania elektryczne powodują bardzo efektywne wzbudzenia cząsteczek N₂. Ich stan wzbudzony jest stabilny i zanika tylko przez zderzenia - głównie z cząsteczkami CO₂.



Najsilniejsza linia emisyjna ma długość ok. 10,6 μm (podczerwień).

Stany 10⁰⁰, 02⁰⁰ i 01¹⁰ są szybko opróżniane dzięki zderzeniom z cząsteczkami niewzbudzonymi.

W celu poprawy szybkości zaniku tych stanów stosuje się domieszkę trzeciego gazu, np. hel, wodór, lub para wodna.

Rys. 4.4. Schemat poziomów energetycznych lasera CO₂-N₂ [1,2].

Konstrukcja lasera CO₂ jest podobna do lasera He-Ne, ale:

- do wykonania lustra półprzepuszczalnego stosuje się np. kryształ Ge, ZnSe, NaCl, lub KCl, ponieważ szkło jest nieprzeźroczyste w podczerwieni,
- przy dużych mocach potrzebne jest chłodzenie rury płaszczem wodnym.

Zaletą lasera wykorzystującego CO₂ jest wysoka sprawność (typowo 2...3 rzędy większa niż dla laserów wykorzystujących wzbudzone stany elektronowe) i wysoka moc maksymalna.

Wynika to z dwóch powodów:

- 1). Czasy spontanicznego zaniku stanów wzbudzonych są długie (setne części sekundy), dzięki czemu można uzyskiwać wysokie koncentracje na poziomach wzbudzonych.
- 2). Wysoka teoretyczna sprawność kwantowa [4]:

$$\frac{E_2 - E_1}{E_2} \approx 0,41 \quad (4.2)$$

gdzie:

E_2 – górny poziom laserowy (energia dostarczana podczas zderzenia z N₂),

E_1 – dolny poziom laserowy (zależy od wybranej długości fali).

Sprawność rzeczywistych laserów CO₂ wynosi ok. 15 %, a moce ciągłe dochodzą do 100 kW.

Główne zastosowania laserów CO₂:

- cięcie, grawerowanie i znakowanie materiałów trudno topliwych,
- chirurgia laserowa,
- w badaniach naukowych, np. nagrzewanie plazmy do bardzo wysokich temperatur.

Literatura do tematu 4

- [1] B. Ziętek, Lasery, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 2009.
- [2] F. Kaczmarek, „Wstęp do fizyki laserów”, wydanie 2, PWN, Warszawa 1986.
- [4] H. Klejman, „Lasery”, wydanie 2, PWN, Warszawa 1979.