

OPTOELEKTRONIKA

Seweryn Lipiński

A209 WNT

seweryn.lipinski@uwm.edu.pl

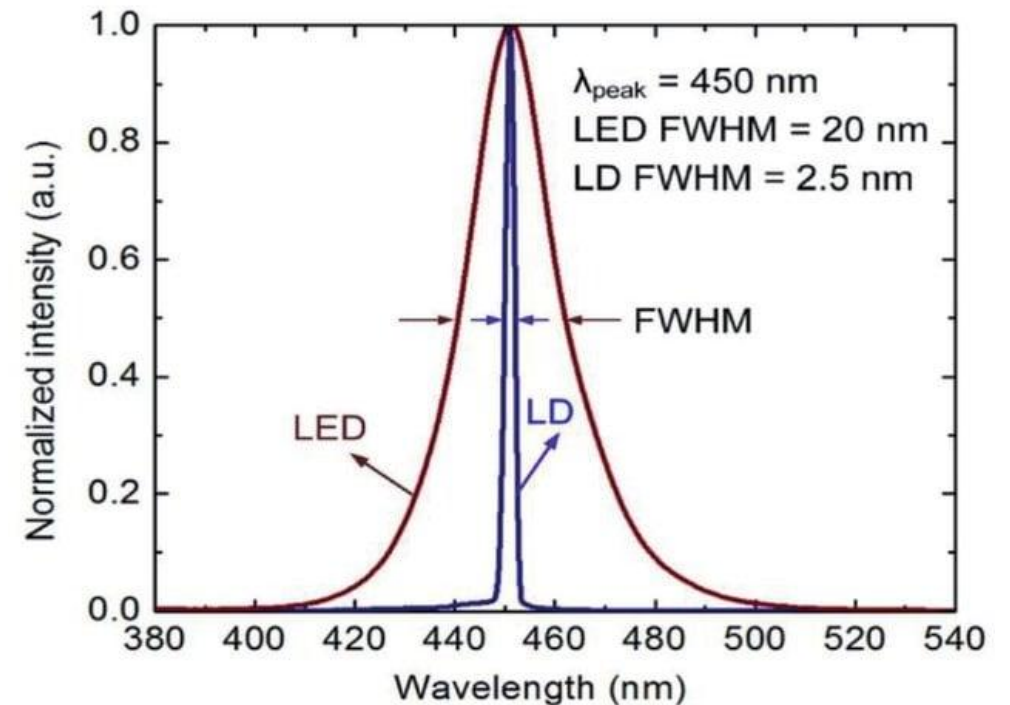
Lasery i diody laserowe

Wstęp

Po wykładzie o LEDach naturalne jest pytanie - co zrobić, gdy LED nie wystarcza?

Jeśli potrzebujemy:

- większej kierunkowości,
 - węższego widma,
 - większej szybkości,
 - lepszego sprzęgania do światłowodu...
- to wchodzimy w świat laserów.



Laser jest **alternatywą** dla LED tam, gdzie rosną wymagania aplikacyjne.

Co jeszcze odróżnia światło laserowe od zwykłego?

- możliwość silnej koncentracji energii,
- koherencja czasowa i przestrzenna,
- łatwość modulacji i sprzęgania.

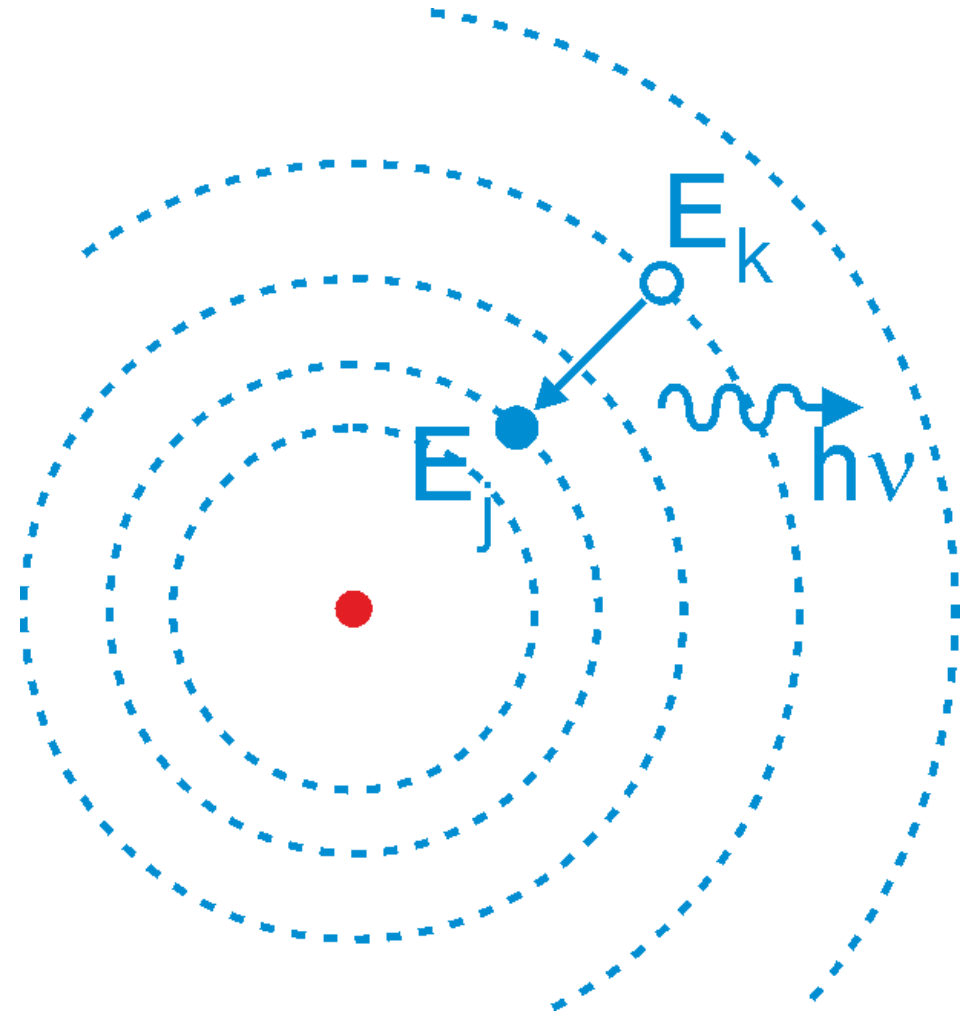
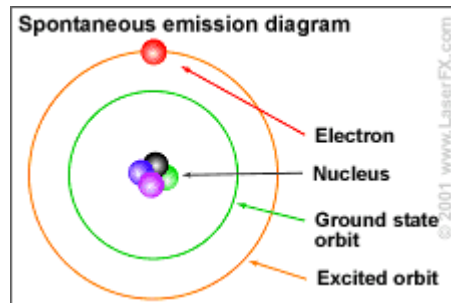


Jak światło „zwykłe” ma się do laserowego?

W półprzewodniku światło może powstać w wyniku rekombinacji elektronu i dziury:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Natomiast **w ogólności** światło powstaje w wyniku przemieszczeń elektronów wewnątrz atomu...

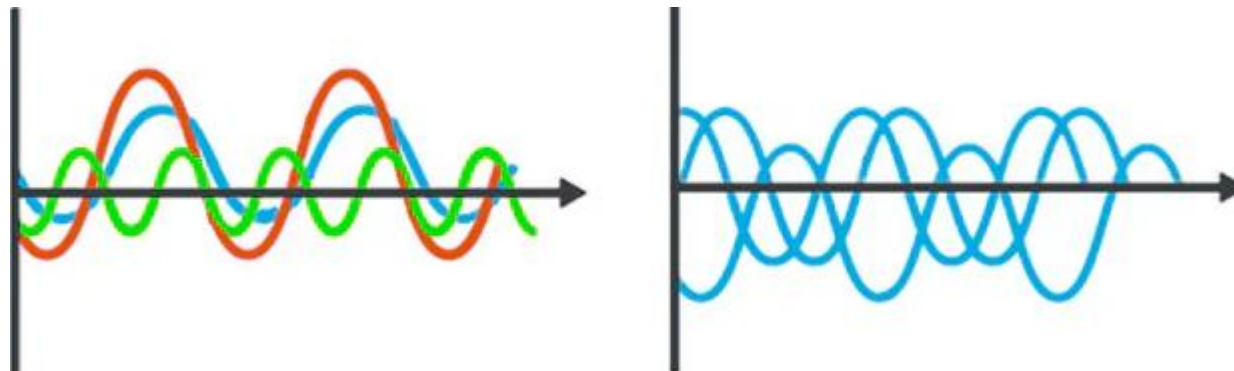


Emisja spontaniczna i wymuszona

Wytwarzanie światła w ten sposób jest procesem **emisji spontanicznej**.

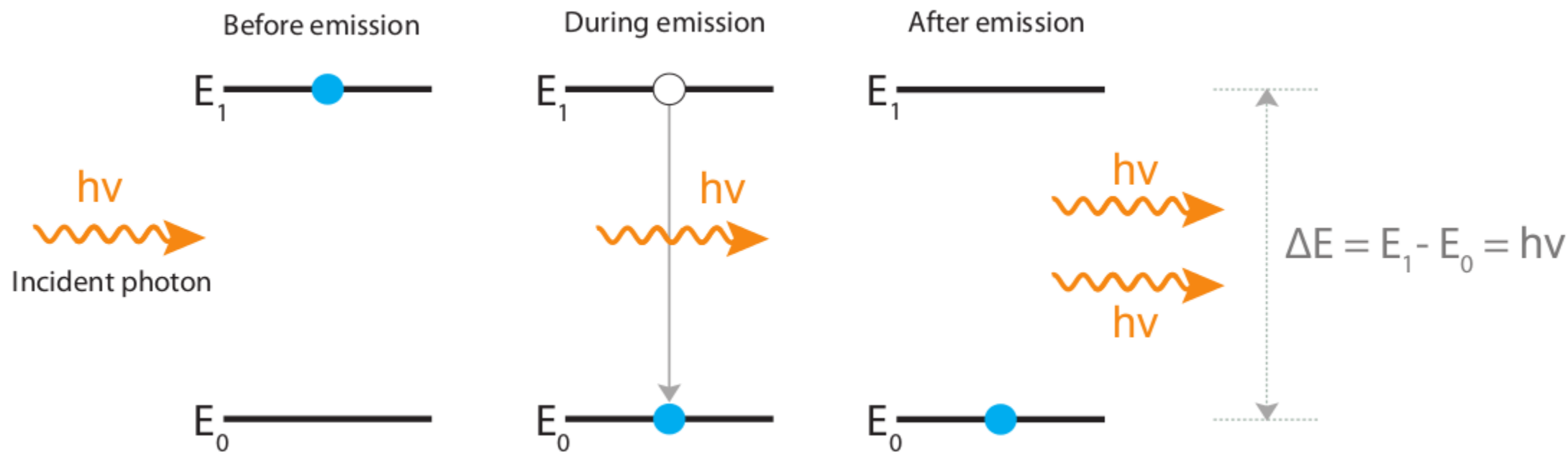
Innymi słowy, atom traci wtedy nadmiarową energię, w pewnej chwili, zależnej tylko od zjawisk zachodzących w atomie.

Efekt – promieniowanie o dowolnym kierunku, przypadkowej fazie, pojawiające się w losowej chwili. Może być monochromatyczne.



Atom może emitować foton spontanicznie, ale może też zostać do tej emisji „zachęcony”, poprzez przejście innego fotonu o właściwej energii w pobliżu wzbudzonego atomu.

Jest to właśnie tzw. **emisja wymuszona**.



Emisja wymuszona ma znaczenie przede wszystkim ze względu na zależność występującą między fotonem emitowanym i wymuszającym.

Oba te fotony mają:

- tę samą energię,
- ten sam kierunek poruszania się,
- tę samą fazę,
- taką samą polaryzację.

Właściwości te są ściśle związane ze światłem laserowym, więc już wiemy, jaki rodzaj emisji jest konieczny po to, by skonstruować laser.

Laser = *light amplification by the stimulated emission of radiation*.

Zajmijmy się teraz pierwszą częścią nazwy, czyli wzmacnieniem światła.

Wyobraźmy sobie, że mamy w pojemniku 100 atomów.

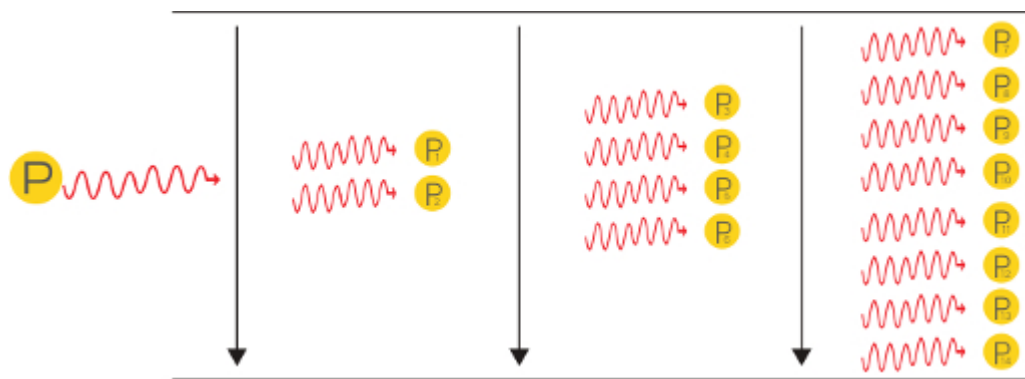
Zakłóciliśmy równowagę poziomów energetycznych - 50 atomów jest teraz w stanie wzbudzonym, 50 nadal w podstawowym.

Jeden ze wzbudzonych atomów wraca do stanu podstawowego, emitując foton.

Foton ten, przechodząc obok innego wzbudzonego atomu, wywołuje wymuszoną emisję drugiego fotonu.

Mamy więc dwa fotony. Wymuszają one emisję dwóch kolejnych, otrzymujemy cztery.

Te cztery, wymuszają emisję kolejnych czterech... Jest osiem... itd.



Inwersja obsadzeń

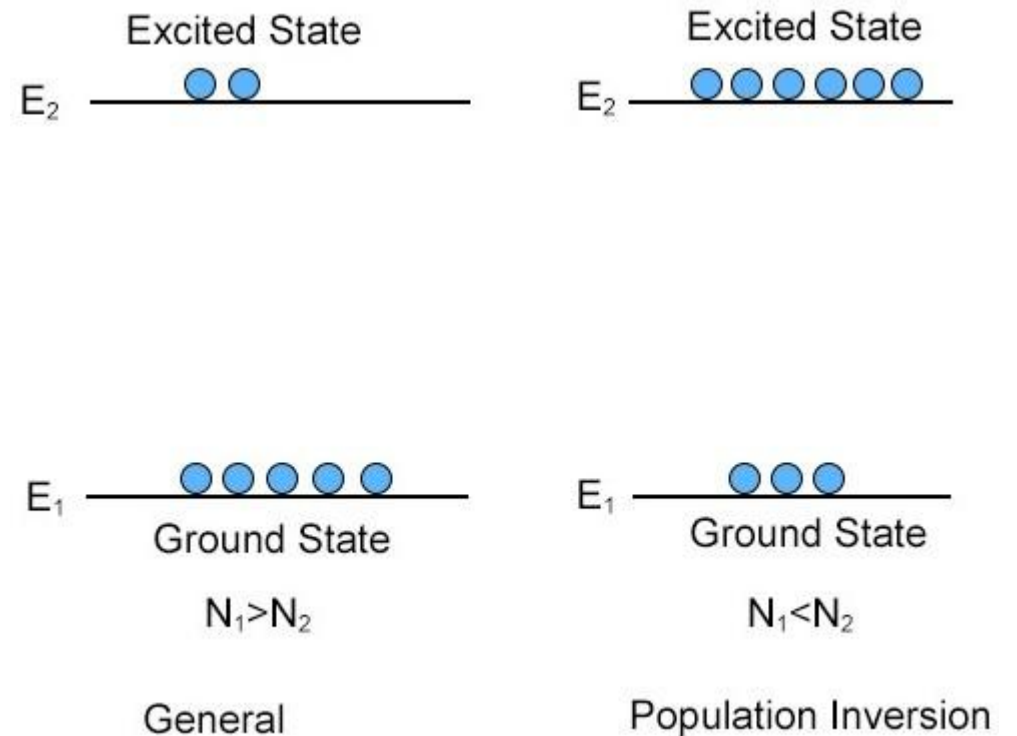
Ale...

W naturze większość atomów chce być (i jest) w stanie podstawowym.

Laser wymaga sytuacji nienaturalnej - więcej atomów musi być pobudzonych niż niepobudzonych, po to, by emisja wymuszona przeważała nad spontaniczną.

Inwersja obsadzeń to stan, w którym liczba cząstek na wyższym poziomie energetycznym przewyższa liczbę cząstek na poziomie niższym.

To kluczowy warunek działania lasera.

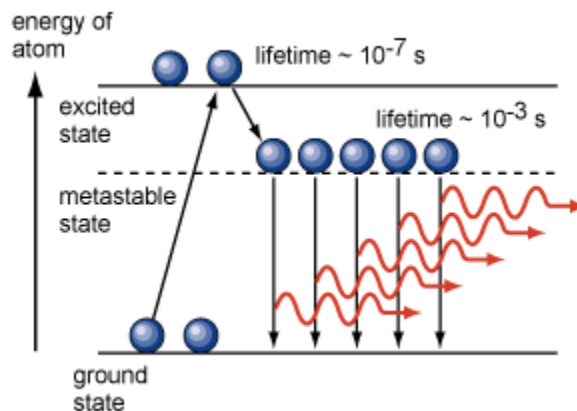


Jak uzyskać inwersję obsadzeń?

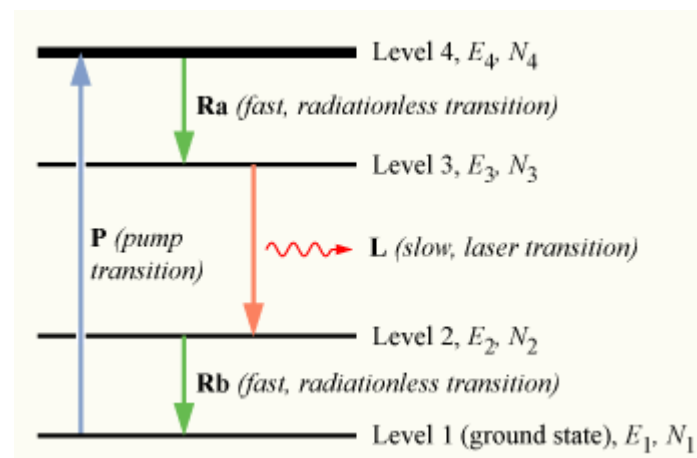
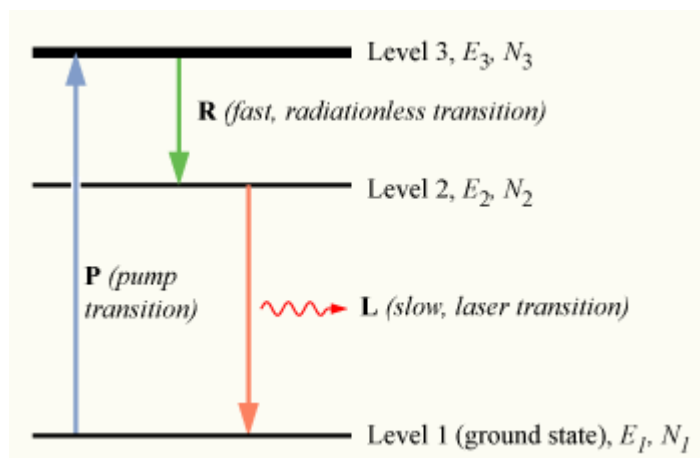
W zależności od typu lasera stosuje się różne metody doprowadzenia energii do ośrodka czynnego, np.:

- pompowanie optyczne - wykorzystanie błysku lampy lub innego lasera do naświetlania ośrodka czynnego, co przenosi atomy do stanu o wyższej energii;
- **pompowanie elektryczne - stosowane w laserach półprzewodnikowych, polega na przepływie prądu elektrycznego przez złącze p-n, co powoduje wstrzykiwanie nośników (elektronów i dziur).**

Kluczowe jest wykorzystanie poziomów metastabilnych - aby inwersja była trwała, stan górny musi mieć stosunkowo długi czas życia, co pozwala na zgromadzenie się w nim większej liczby cząsteczek:



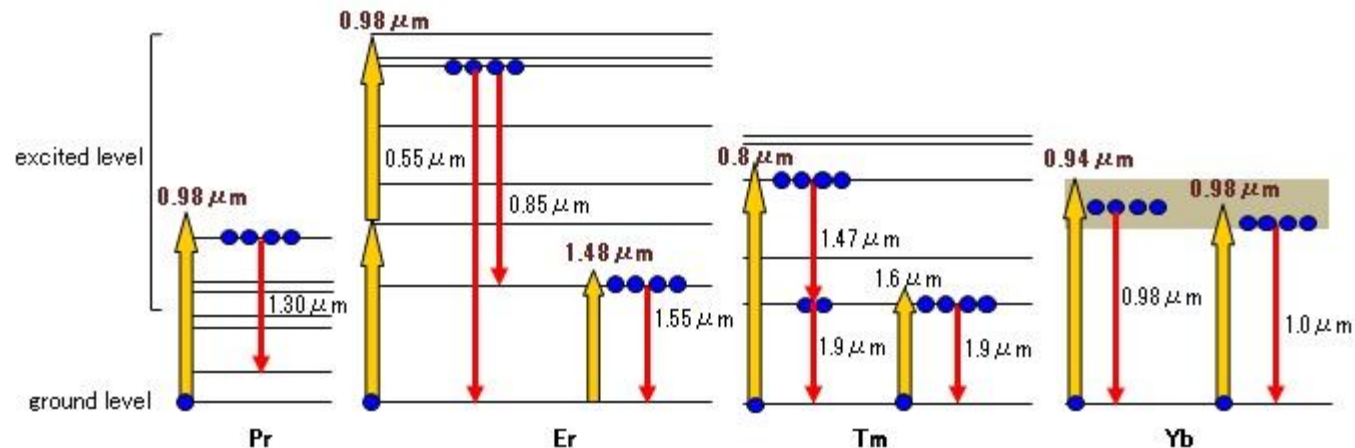
Inwersję obsadzeń uzyskuje się w układach trzy- i czteropoziomowych:



Ośrodek czynny

Materiał, w którym zachodzi wzmacnianie światła, czyli ośrodek czynny jest także kluczowy - jego własności decydują o długości fali i parametrach pracy.

To on decyduje, jakie promieniowanie może być wzmacniane i jakie będą podstawowe własności źródła.



Rezonator

Nawet jeśli ośrodek wzmacnia światło, trzeba jeszcze stworzyć warunki, by promieniowanie mogło się „rozbudować” i ustabilizować.

Laser działa wtedy, gdy wzmocnienie przewyższa straty.

Tu pojawia się rezonator.

Warto przypomnieć sobie proces kaskadowy, w którym jeden foton, pochodzący z emisji spontanicznej pociąga za sobą wszystkie inne.

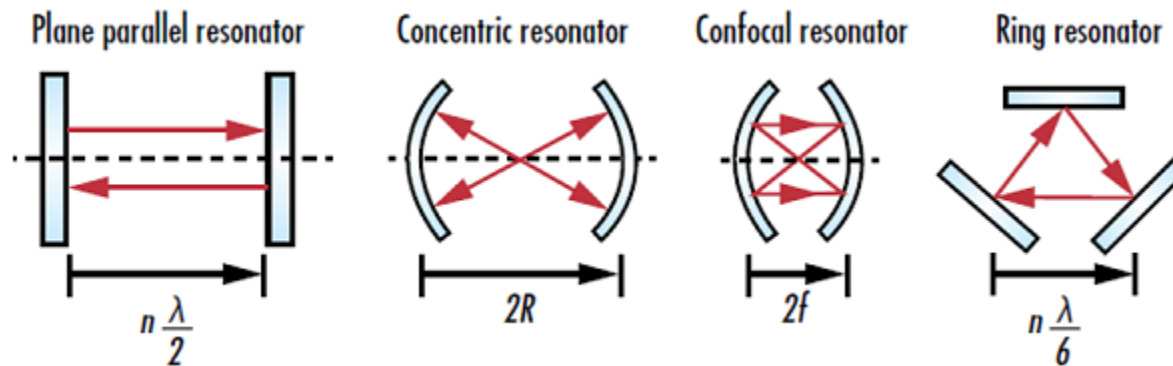
W rzeczywistości, oczywiste jest, że więcej niż jeden atom spontanicznie wygeneruje „pierwszy” foton. Każdy z fotonów generujących własną kaskadę, sprawi, że koniec końców otrzymamy fotony o różnych fazach, polaryzacjach i kierunkach.

Jak wybrać z nich te „potrzebne”?

Odpowiednio projektując laser wesprzemy fotony „właściwe”, kosztem tych niepożądanych.

Do tego celu stosujemy odpowiedni układ optyczny, czyli właśnie rezonator.

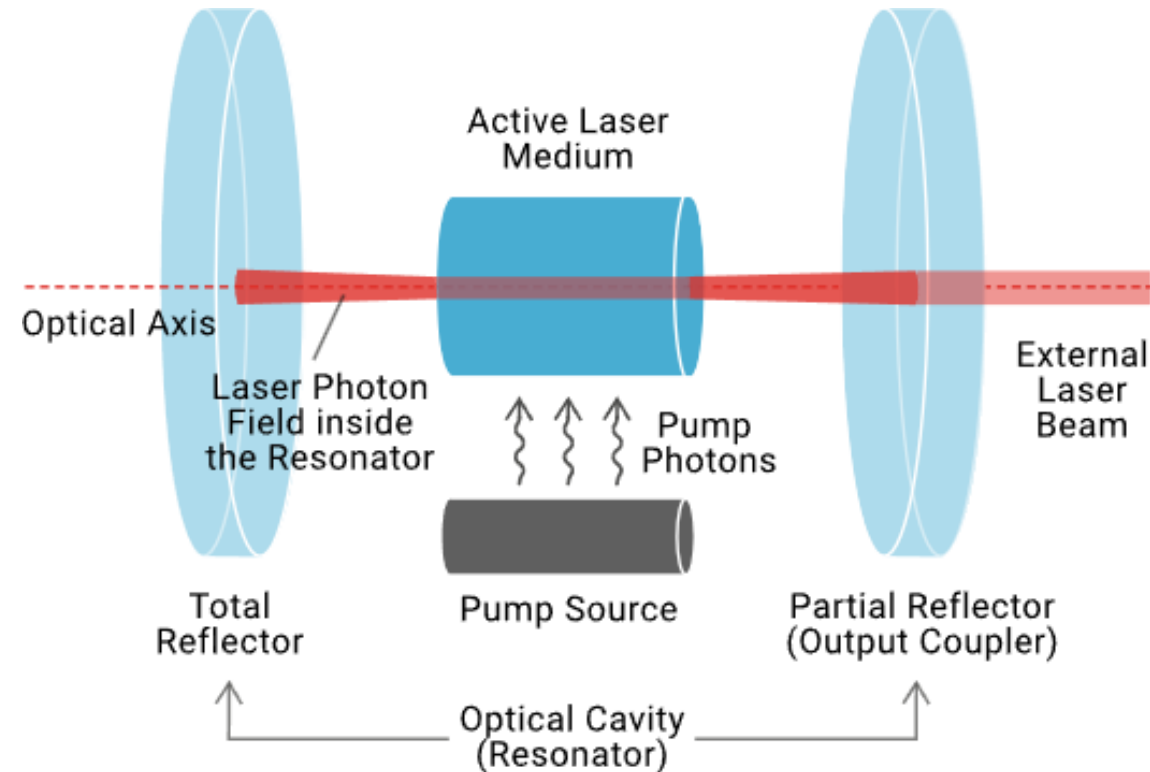
Układ optyczny rezonatora składa się zazwyczaj z dwóch dokładnie wykonanych i odpowiednio ustawionych zwierciadeł.



Układ ten pełni funkcję dodatniego sprzężenia zwrotnego dla światła o wybranym kierunku i określonej długości fali.

Spośród wszystkich możliwych kierunków świecenia i wszystkich dostępnych dla ośrodka długości fal, jedynie światło o parametrach ustalonych przez rezonator będzie wzmacniane na tyle mocno, by doprowadzić do akcji laserowej.

Sprężenie zwrotne polega na możliwości wielokrotnego przepływu fotonów przez ośrodek, połączonego z ich kaskadowym powielaniem wskutek emisji wymuszonej, dzięki czemu laser generuje spójne światło.

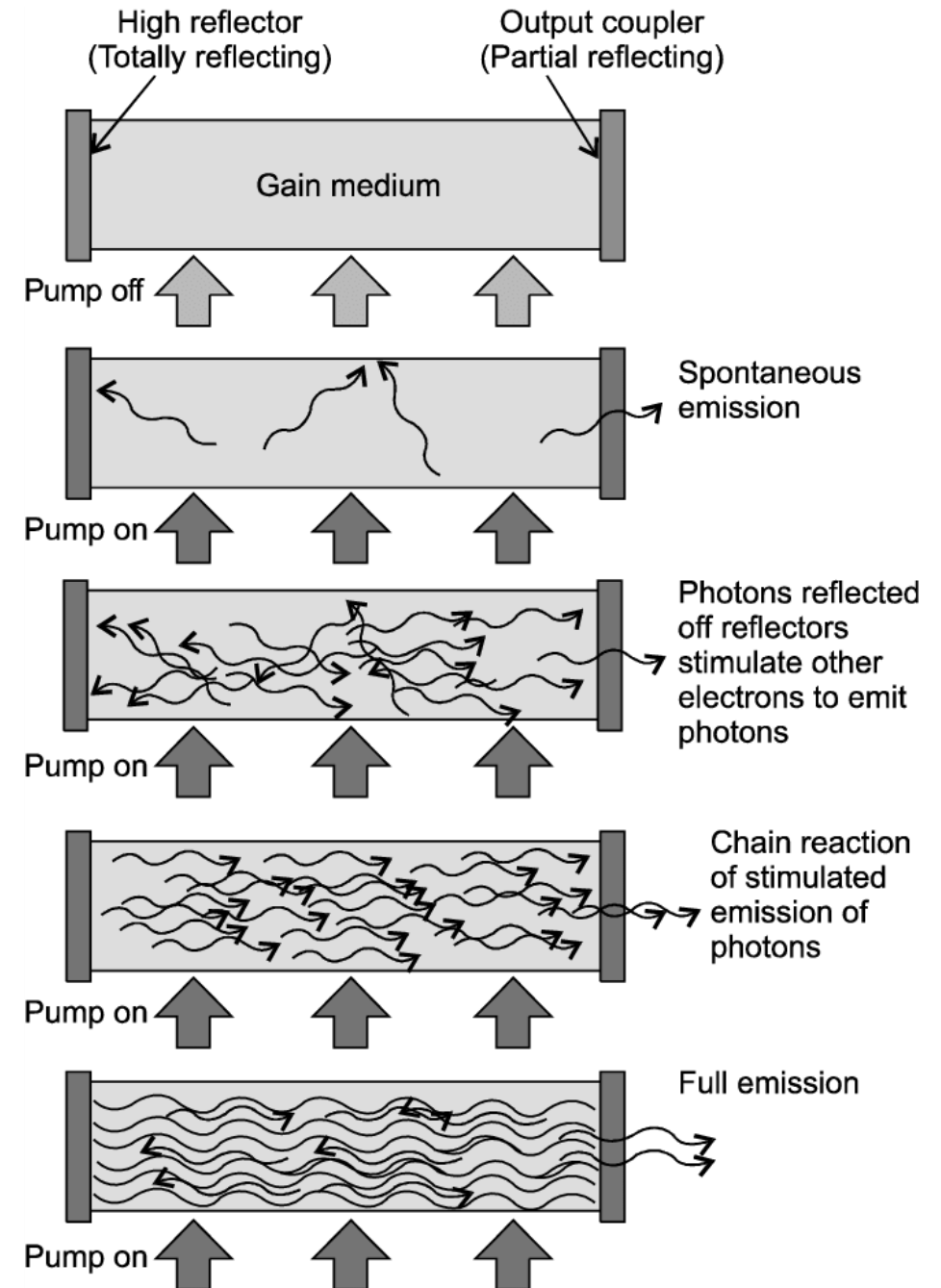


Aby emitowane światło laserowe mogło wydostać się poza rezonator (na zewnątrz lasera), przynajmniej jedno z luster musi być częściowo przepuszczalne.

Podsumowanie

Jak działa laser w 6 krokach:

1. pompujemy ośrodek,
2. uzyskujemy inwersję,
3. emisja spontaniczna inicjuje akcję,
4. emisja wymuszona wzmacnia,
5. rezonator wybiera kierunek i mod,
6. część światła wychodzi przez zwierciadło wyjściowe.



Typy laserów

Lasery gazowe:

- He-Ne, CO₂, excimerowe,
- wzbudzanie wyładowaniem,
- dobre własności wiązki, szeroki zakres widmowy.

Lasery ciała stałego:

- kryształy domieszkowane (Nd:YAG, rubin, Er:YAG),
- pompowanie optyczne,
- duża moc i stabilność.

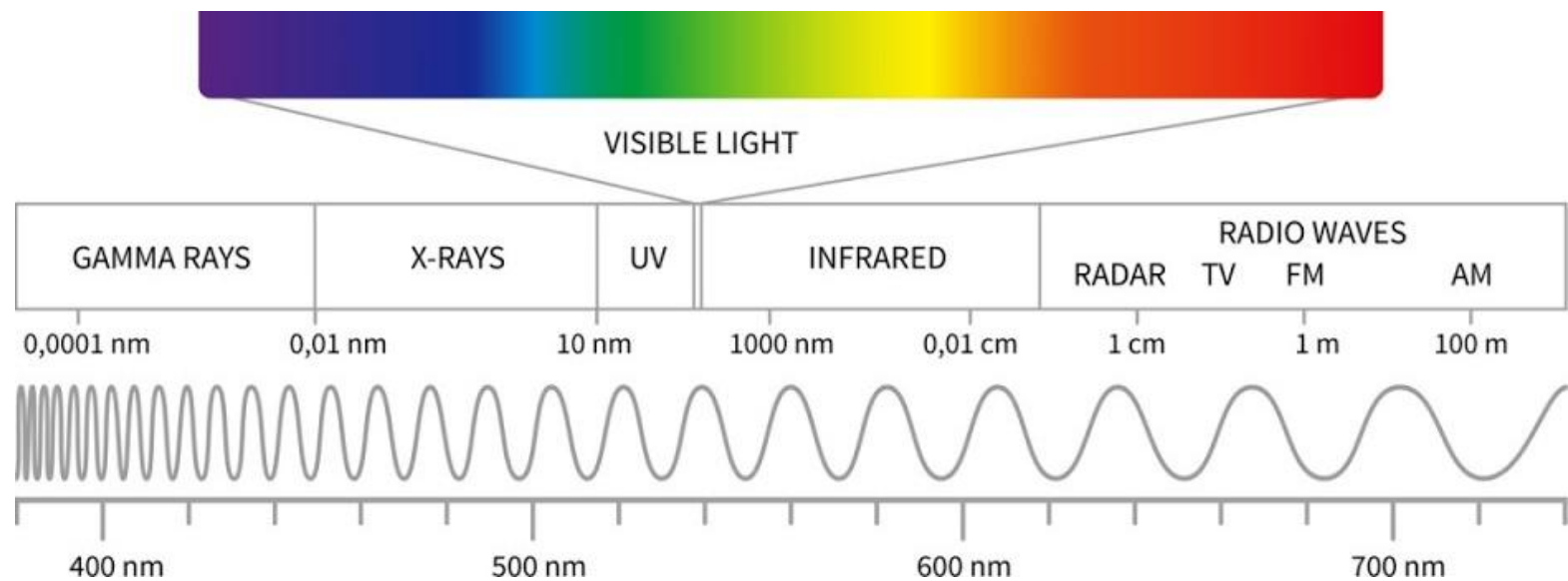
Lasery półprzewodnikowe:

- diody laserowe (GaAs, InP, VCSEL, DFB),
- pompowane elektrycznie,
- kompaktowe, bardzo sprawne.

Lasery włóknowe:

- światłowody domieszkowane jonami ziem rzadkich (Er, Yb, Tm),
- wysoka jakość wiązki, duża moc.

Rodzaj lasera	Długość fali emisji
Argonowo-fluorowy	193 nm
Azotowy	338 nm
Argonowy	488 nm
Helowo-Neonowy	633 nm
Laser półprzewodnikowy z GaN	400 nm
Laser półprzewodnikowy z InGaN	od 400 nm do 500 nm
Rubinowy	694 nm
Laser półprzewodnikowy z InGaASP	od 1000 nm do 2100 nm
Nd:YAG	1064 nm
Ho:YAG	2100 nm
Er:YAG	2940 nm
CO ₂	10 600 nm



Lasery gazowe:

- He-Ne: precyzyjne pomiary, wyrównania optyczne, podstawowa metrologia,
- CO₂: cięcie i grawerowanie materiałów, IR,
- Excimerowe: zakres UV, precyzyjna fotolitografia, ablacja bez nagrzewania.

Dlaczego?

Gazowe mają bardzo dobre własności wiązki, mogą pracować w UV i dalekiej IR, zapewniają stabilną koherencję na dużych odległościach.

Lasery ciała stałego:

- Nd:YAG: praca ciągła i impulsowa, możliwość generacji harmoniczných (532 nm itd.),
- Rubin: krótkie, bardzo energetyczne impulsy,
- Er:YAG: długości fal absorbowane przez wodę (np. diagnostyka i obróbka biologiczna).

Dlaczego?

Kryształy domieszkowane są wydajne, stabilne i potrafią magazynować energię - świetnie nadają się do dużych mocy i laserów impulsowych.

Lasery półprzewodnikowe:

- VCSEL, DFB, FP: telekomunikacja światłowodowa,
- LD GaAs/InP: czujniki, projektory, czytniki, lasery pompujące.

Dlaczego?

Są małe, elektrycznie pompowane, tanie, wydajne i łatwe do modulacji.

Lasery włóknowe:

- systemy cięcia i spawania metali,
- laboratoria (stabilne źródła światła),
- lasery średnich i dużych mocy.

Dlaczego?

Bo duża moc, duża jakość wiązki, niezawodność.

Światłowód daje wysoką jakość wiązki przy dużej mocy, a konstrukcja jest odporna i niedroga w skalowaniu.

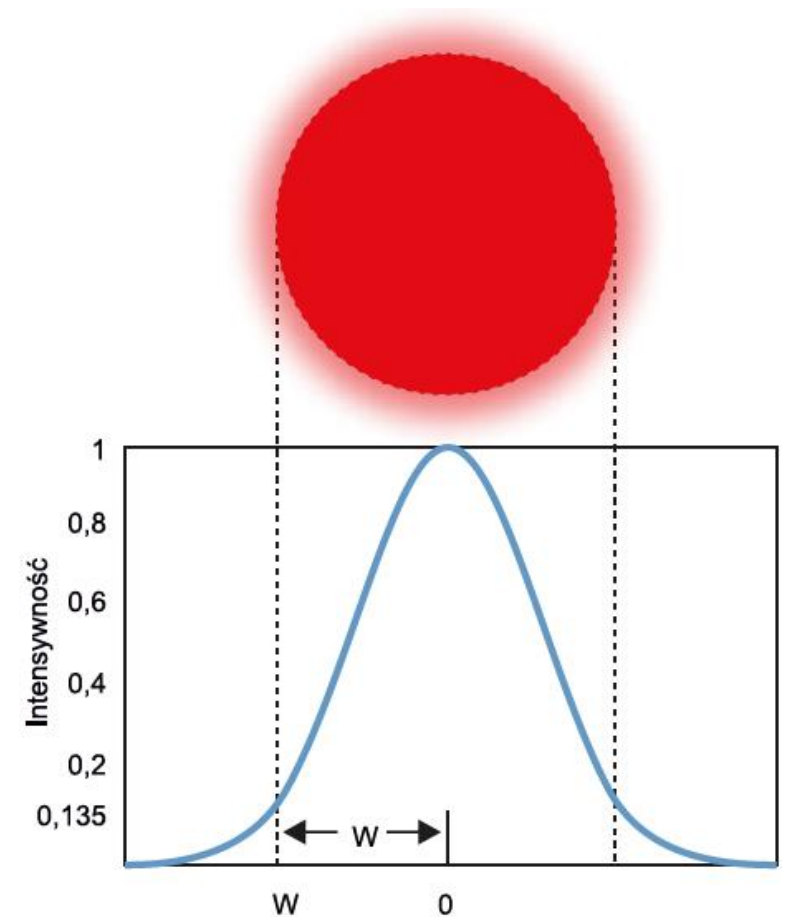
Parametry laserów

Długość fali

Średnica wiązki odnosi się do średnicy wiązki laserowej mierzonej na powierzchni wyjściowej obudowy lasera.

Średnicę wiązki można zdefiniować na kilka różnych sposobów, a w przypadku wiązek o profilu gaussowskim typowo określa się ją szerokością $1/e^2$.

Szerokość $1/e^2$ to odległość między dwoma punktami na rozkładzie krańcowym, których intensywności wynoszą $1/e^2$ maksymalnej amplitudy, czyli 0,135-krotność maksymalnej wartości intensywności.



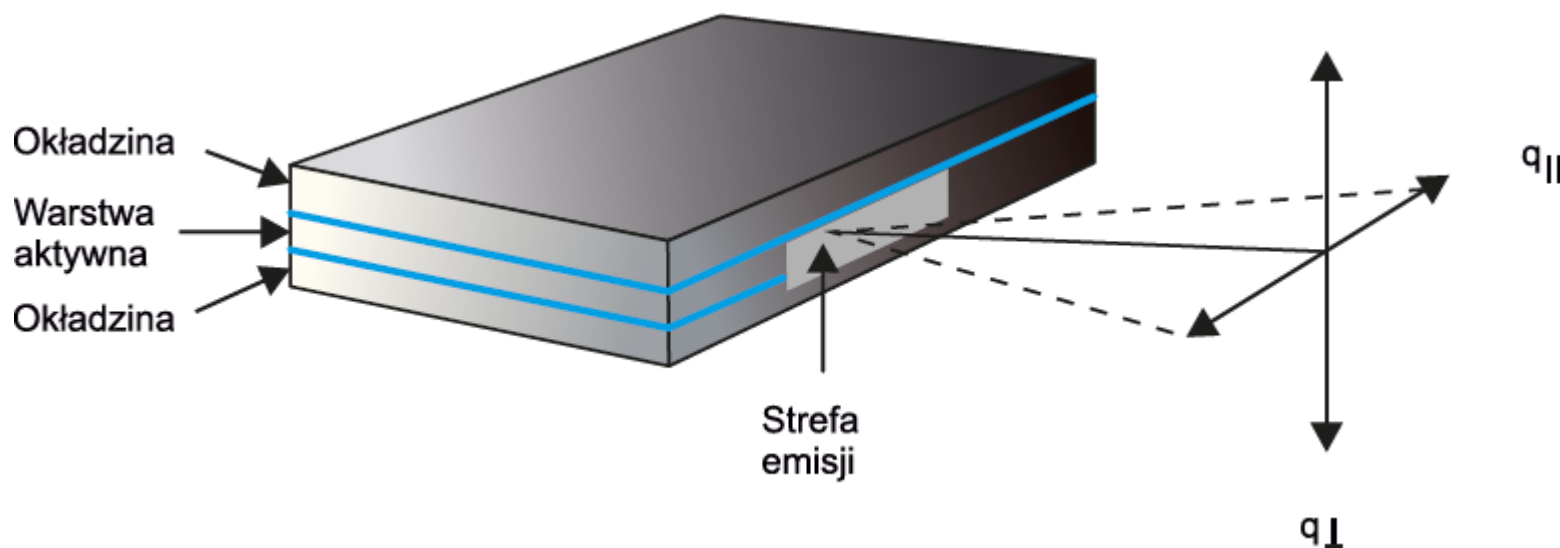
Długość spójności (koherencji) określa odległość propagacji, przez jaką promień lasera będzie koherentny.

W przypadku klasycznych źródeł światła, wynosi ona kilka milimetrów do centymetra. Nawet najtańsze lasery półprzewodnikowe osiągają długości koherencji na poziomie 20 cm, a typowe lasery tego rodzaju do 100 metrów. Zaawansowane, profesjonalne lasery osiągają długości spójności przekraczające 100 km.

Rozbieżność wiązki

Chociaż przyjmuje się, że wiązki laserowe są skolimowane – wszystkie promienie we wiązce biegną równoległe do siebie – to zawsze do pewnego stopnia promień wyjściowy z lasera jest rozbieżny. Dla każdego lasera określa się rozbieżność wiązki, czyli to jak bardzo wiązka rozchodzi się na boki wraz z coraz większą odległością od wyjścia światła z urządzenia. Rozbieżność wiązki jest określona przez pełny kąt wiązki.

W diodach laserowych rozbieżność wiązki jest określona dwiema wartościami ze względu na obecność astygmatyzmu – rozbieżność zmienia się w zależności od osi wiązki. W takim przypadku należy określić orientację rozbieżności wiązki.



Moc wyjściowa

Podawana w specyfikacji urządzenia moc wyjściowa to maksymalna wartość mocy światła laserowego po wyjściu wiązki z obudowy lasera.

Typowo moc wyjściową lasera podaje się z tolerancją na poziomie $\pm 10\%$.

Moc lasera jest mierzona przed przejściem przez optykę na zewnątrz obudowy lasera.

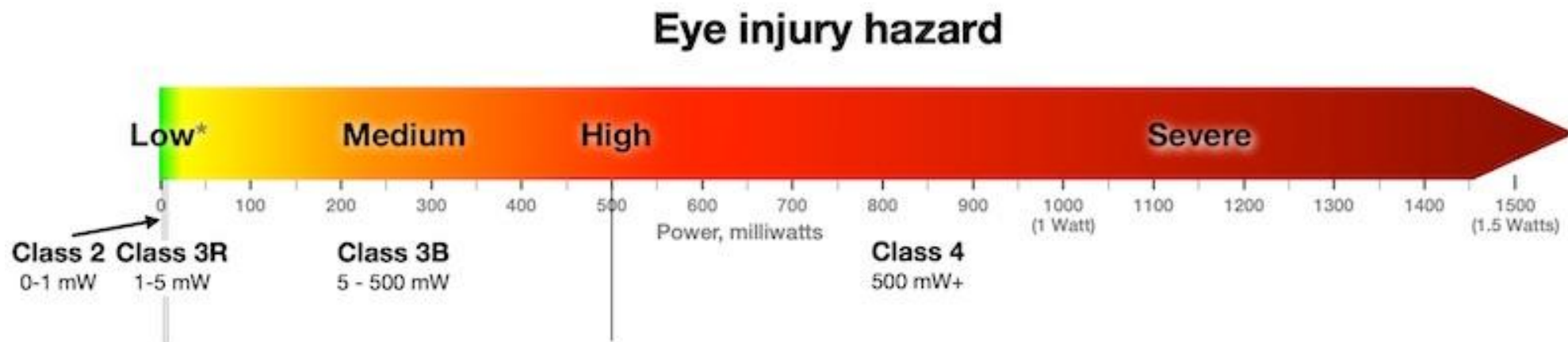
Oznacza to, że moc dostarczana w dalszej części urządzenia może być niższa.

Jest to szczególnie istotne w przypadku np. urządzeń światłowodowych, gdyż moc całego systemu mierzy się za włóknem – laser musi dysponować zapasem mocy, by skompensować jej spadek na światłowodzie.

Klasa

Jest to tzw. klasa bezpieczeństwa, która mówi o tym, jak duże ryzyko dla człowieka i otoczenia stanowi dany laser. Klasy lasera, zdefiniowane w normie IEC 60825, uzależnione są od mocy i długości fali lasera.

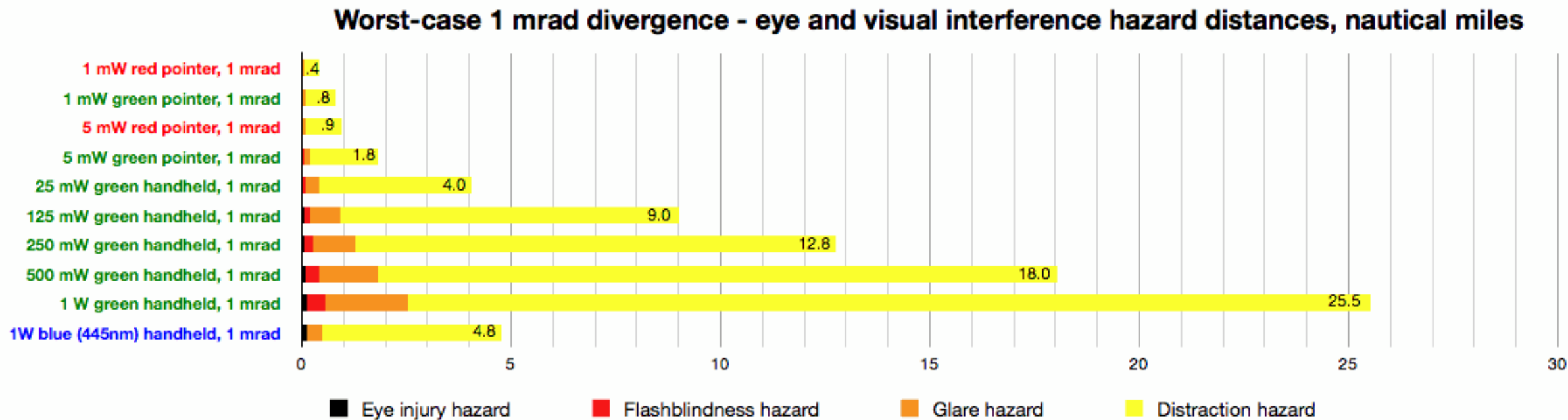
Klasy



*Eye injury hazard descriptions above are valid for exposures relatively close to the laser. Because the beam spreads, less light will enter the pupil at greater distances. The hazard decreases the farther a person is from the laser, and the shorter the exposure time (e.g., do not deliberately look or stare into the beam). For example, a 1mW Class 2 laser beam is eye safe for unintentional exposures after about 23 ft (7 m), a 5mW Class 3R beam is eye safe after about 52 ft (16 m), a 500 mW Class 3B beam is eye safe after about 520 ft (160 m), and a 1500 mW Class 4 beam is eye safe after about 900 ft (275 m). (Calculations are for visible light, a 1 milliradian beam, and a 1/4 second Maximum Permissible Exposure limit.)

Klasa	Parametry	Bezpieczeństwo
Klasa 1	$P < 0,39 \text{ mW}$	Laser bezpieczny bezwarunkowo.
Klasa 1M		Laser bezpieczny przy braku używania urządzeń optycznych (teleskopy, mikroskopy itp.).
Klasa 2	$P < 1 \text{ mW}$, $\lambda = 400...700 \text{ nm}$	Laser bezpieczny przy ekspozycji do 0,25 s (odruchowe zamknięcie oka). Wpatrywanie się we wiązkę może być groźne.
Klasa 2M		Laser bezpieczny przy ekspozycji do 0,25 s (odruchowe zamknięcie oka) bez używania urządzeń optycznych (teleskopy, mikroskopy itp.). Wpatrywanie się we wiązkę może być groźne.
Klasa 3R	$P < 5 \text{ mW}$ dla $\lambda = 400...700 \text{ nm}$ $P < 1,95 \text{ mW}$ dla λ poza zakresem 400...700 nm	Niewielkie ryzyko uszkodzenia wzroku przy przypadkowej ekspozycji na bezpośredni lub odbity promień lasera.
Klasa 3B	$P = 5..500 \text{ mW}$	Niebezpieczny dla wzroku, rozproszone odbicia nie są groźne dla wzroku.
Klasa 4	$P > 500 \text{ mW}$	Niebezpieczny dla wzroku, rozproszone odbicia są groźne dla wzroku. Istnieje ryzyko pożaru.

Więcej o bezpieczeństwie



nautical mile – mila morska = 1,852 kilometra

Hazard distances for selected consumer laser types and parameters (color, beam spread, and power)

LASER TYPE OR MODEL	BEAM COLOR Wavelength, nanometers	BEAM SPREAD Divergence, milliradians	LASER POWER, milliwatts	EYE HAZARD DISTANCE Nominal Ocular Hazard Distance Distance at which beam irradiance falls below 2.5 milliwatts per sq. cm. Laser light in the FAA Normal Flight Zone must be below this level.			FLASHBLINDNESS DISTANCE FAA Sensitive Flight Zone Exposure Distance Distance at which beam irradiance falls below 100 microwatts per sq. cm. Laser light in the FAA Sensitive Flight Zone must be below this level.			GLARE DISTANCE FAA Critical Flight Zone Exposure Distance Distance at which beam irradiance falls below 5 microwatts per sq. cm. Laser light in the FAA Critical Flight Zone must be below this level.			DISTRACTION DISTANCE FAA Laser Free Flight Zone Exposure Distance Distance at which beam irradiance falls below 50 nanowatts per sq. cm. Laser light in the FAA Laser Free Flight Zone must be below this level.			SKIN BURN HAZARD DISTANCE Distance at which laser can cause skin injury		FIRE HAZARD DISTANCE (From NFPA)	
				NOHD in feet	NOHD in miles	NOHD in meters	SFZED in feet	SFZED in miles	SFZED in meters	CFZED in feet	CFZED in miles	CFZED in meters	LFFZED in feet	LFFZED in miles	LFFZED in meters	In feet	In meters	In feet	In meters
CLASS 2 (less than 1 mW)																			
0.99 mW red pointer, typical beam spread	635	1.0	0.99	23	0.004	7.0	55	0.01	17	244	0.0	74	2,441	0.5	744	1.5	0.5	1.0	0.3
0.99 mW green pointer, typical beam spread	532	1.0	0.99	23	0.004	7.0	109	0.02	33	488	0.1	149	4,880	0.9	1,487	1.5	0.5	1.0	0.3
0.99 mW red pointer, tighter beam	635	0.5	0.99	46	0.009	14.1	109	0.02	33	488	0.1	149	4,881	0.9	1,488	3.1	0.9	2.0	0.6
0.99 mW green pointer, tighter beam	532	0.5	0.99	46	0.009	14.1	218	0.04	67	976	0.2	297	9,759	1.8	2,975	3.1	0.9	2.0	0.6
CLASS 3R (less than 5 mW)																			
4.99 mW red pointer, typical beam spread	635	1.0	4.99	52	0.010	15.8	123	0.02	37	548	0.1	167	5,480	1.0	1,670	3.4	1.0	2.3	0.7
4.99 mW green pointer, typical beam spread	532	1.0	4.99	52	0.010	15.8	245	0.05	75	1,096	0.2	334	10,955	2.1	3,339	3.4	1.0	2.3	0.7
4.99 mW red pointer, tighter beam	635	0.5	4.99	104	0.020	31.6	245	0.05	75	1,096	0.2	334	10,959	2.1	3,340	6.9	2.1	4.6	1.4
4.99 mW green pointer, tighter beam	532	0.5	4.99	104	0.020	31.6	490	0.09	149	2,191	0.4	668	21,910	4.1	6,678	6.9	2.1	4.6	1.4
CLASS 3B (5 to <500 mW)																			
50 mW green handheld, typical beam spread	532	0.5	50	328	0.062	100.0	1,551	0.29	473	6,936	1.3	2,114	69,356	13.1	21,140	21.7	6.6	14.5	4.4
250 mW green handheld, typical beam spread	532	0.7	250	524	0.099	159.7	2,477	0.47	755	11,078	2.1	3,376	110,775	21.0	33,764	34.7	10.6	23.1	7.0
499 mW green handheld, typical beam spread	532	1.0	499	518	0.098	157.9	2,450	0.46	747	10,955	2.1	3,339	109,552	20.7	33,392	34.3	10.5	22.9	7.0
CLASS 4 (500 mW and above)																			
Wicked Lasers S3 Arctic, 700 mW	445	1.5	700	409	0.077	124.7	360	0.07	110	1,610	0.3	491	16,103	3.0	4,908	27.1	8.3	18.1	5.5
Wicked Lasers S3 Arctic, 1.4 Watts	445	1.5	1400	579	0.110	176.3	509	0.10	155	2,277	0.4	694	22,773	4.3	6,941	38.3	11.7	25.5	7.8
Wicked Lasers S3 Arctic, 2 Watts	445	1.5	2000	691	0.131	210.8	609	0.12	186	2,722	0.5	830	27,219	5.2	8,296	45.8	14.0	30.5	9.3
Wicked Lasers S3 Inferno, 750 mW	635	3.0	750	212	0.040	64.5	501	0.09	153	2,239	0.4	683	22,393	4.2	6,825	14.0	4.3	9.3	2.8
Wicked Lasers S3 Krypton, 500 mW	532	1.5	500	346	0.065	105.4	1,635	0.31	498	7,311	1.4	2,228	73,108	13.8	22,283	22.9	7.0	15.3	4.7
1 Watt green laser, typical beam spread	532	1.5	1000	489	0.093	149.0	2,312	0.44	705	10,339	2.0	3,151	103,390	19.6	31,513	32.4	9.9	21.6	6.6
2 Watt green laser, typical beam spread	532	1.5	2000	691	0.131	210.8	3,269	0.62	997	14,622	2.8	4,457	146,216	27.7	44,567	45.8	14.0	30.5	9.3
5 Watt green laser, typical beam spread	532	2.0	5000	820	0.155	249.9	3,877	0.73	1,182	17,339	3.3	5,285	173,391	32.8	52,850	54.3	16.6	36.2	11.0

How divergence affects hazard distances: If a laser's divergence (beam spread) is increased, the hazard distances directly decrease.

For example, doubling the divergence will reduce the hazard distances by half. Usually, the more powerful a laser, the larger the typical divergence of the laser. Divergence can be improved (made tighter) using a lens or better engineering of the laser itself.

How laser power affects hazard distances: If a laser's power is increased, the hazard distances are longer by the square root of the power increase.

Going from a 5 mW to a 500 mW laser is a 100 times power increase -- but the hazard distances only become 10 times as long. (The square root of 100 is 10.)

How wavelength affects hazard distances: For visible lasers, the wavelength (color) does not affect the eye hazard (NOHD), skin hazard or fire hazard distances. But wavelength does affect the three visual interference distances: Flashblindness, glare and distraction.

The human eye is most sensitive to **green** light of **555** nanometers. This color would appear brightest, and most distracting to pilots, compared to other colors from an otherwise equivalent laser (e.g., having the same power and divergence).

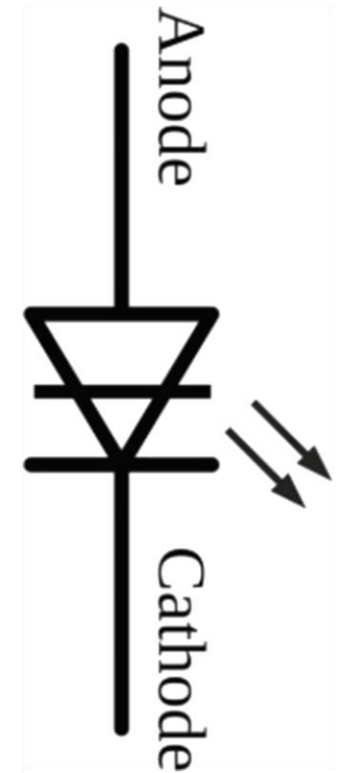
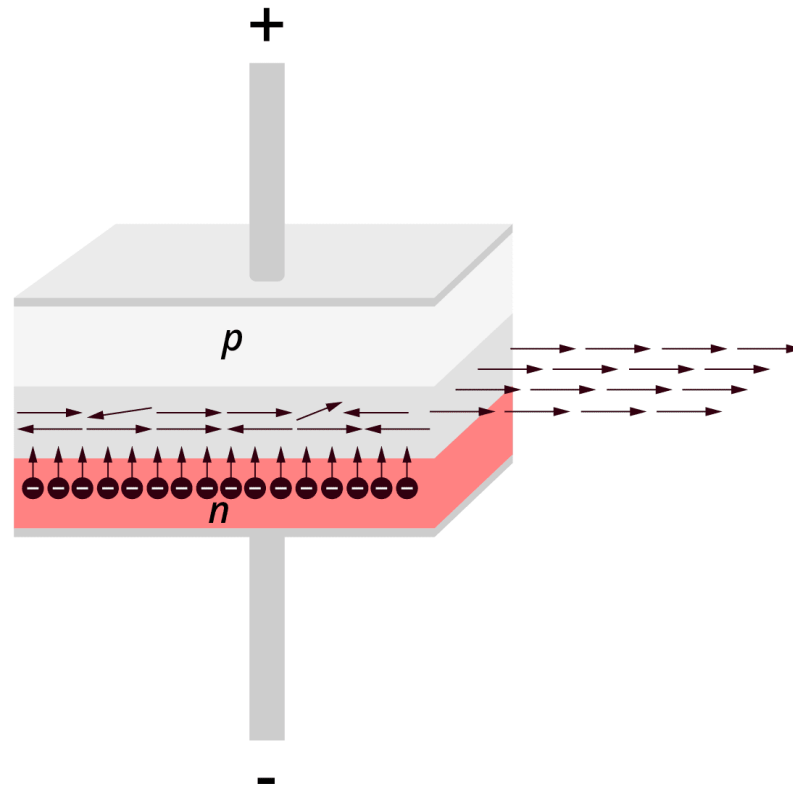
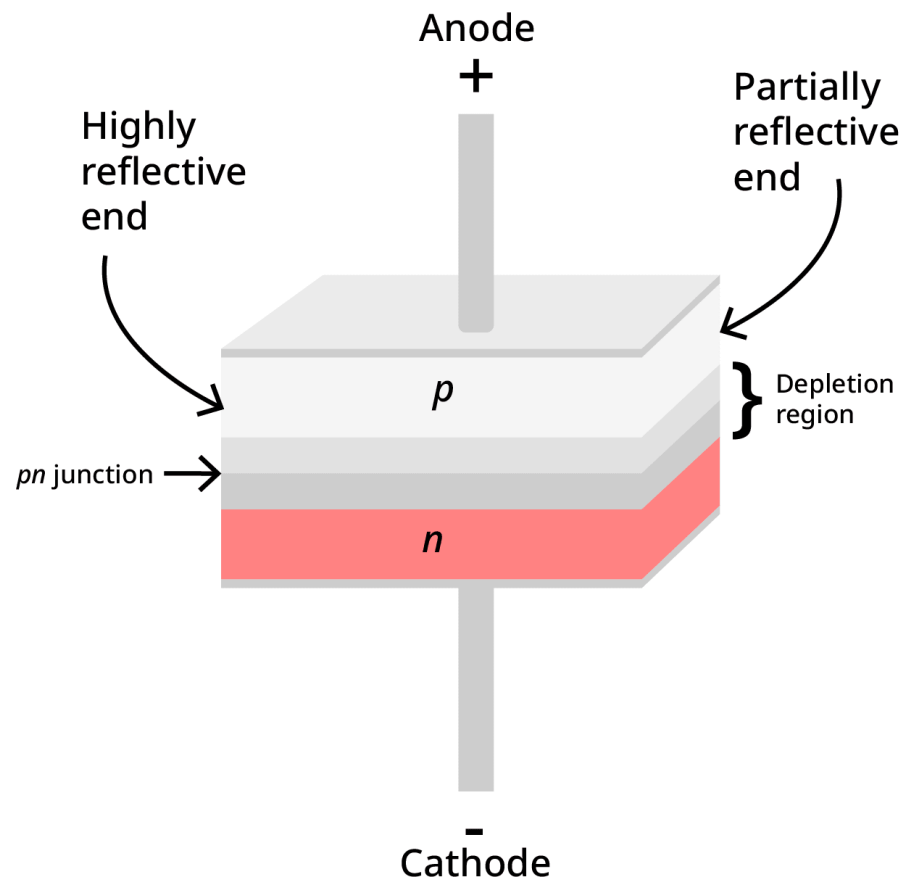
As of 2015, most consumer lasers emit **green** light at **532** nanometers. This appears only 88% as bright as **555** nm light. Because it is so common, we will use **532 green** as the baseline for "brightest available laser" in the following calculations:

-- Compared with **532 nm** light, the common **red** wavelength **635** nm appears only 27% as bright. This has a square root effect on the visual interference distances. A **532 green** laser appears 4 times as bright as a **635 red** laser -- but the **green** visual interference distances are only 2 times the **red** distances. (The square root of 4 is 2.)

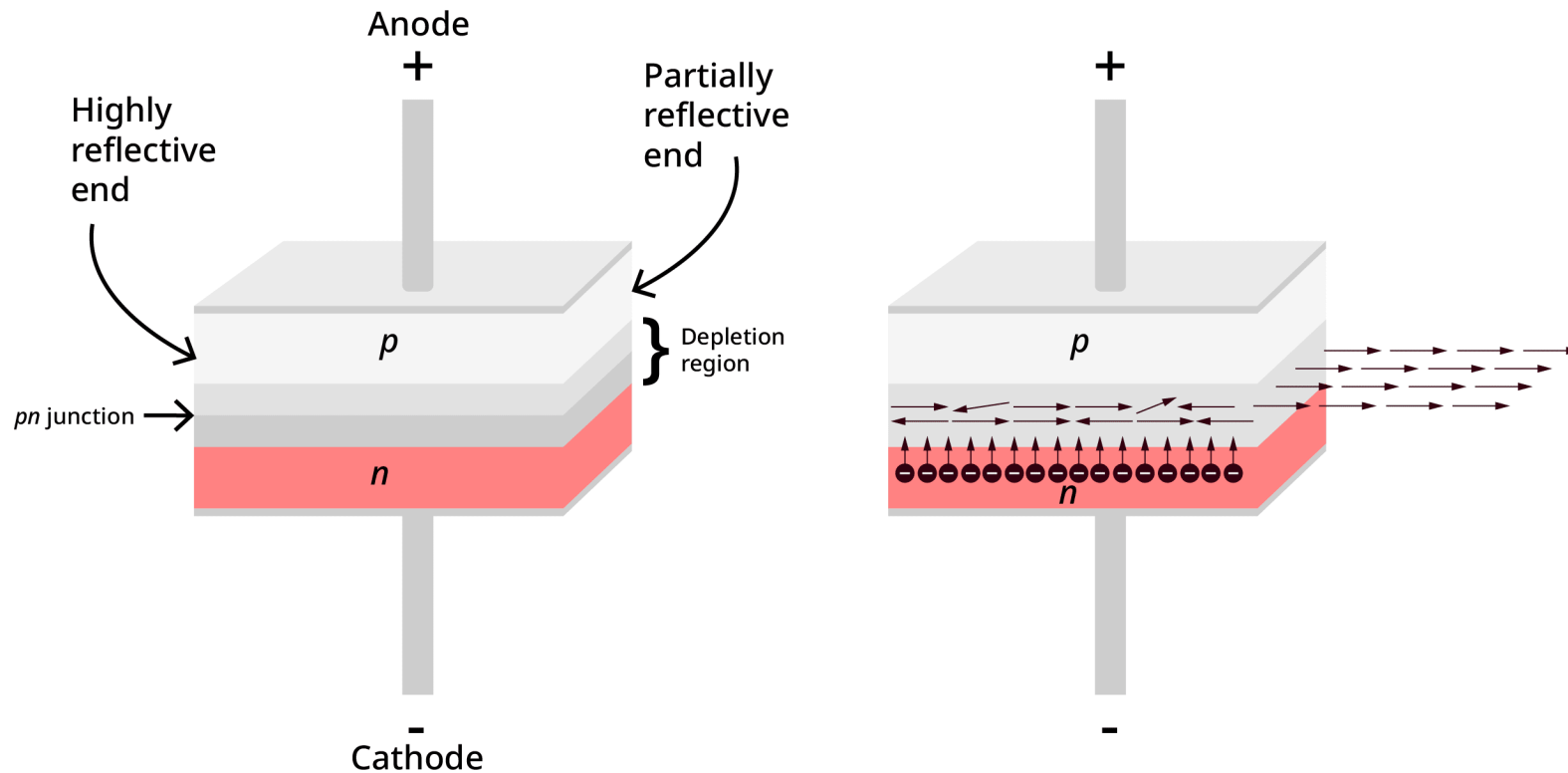
-- Compared with **532 nm** light, the common **blue** wavelength **445 nm** appears only 3.5% as bright. Again, there is a square root effect on the distances. A **532 green** laser appears 29 times as bright as a **445 blue** laser -- but the **green** visual interference distances are only 5.4 times longer than the **blue** distances. (The square root of 29 is 5.4.)

Dioda laserowa

Inne nazwy - Laser półprzewodnikowy, laser diodowy



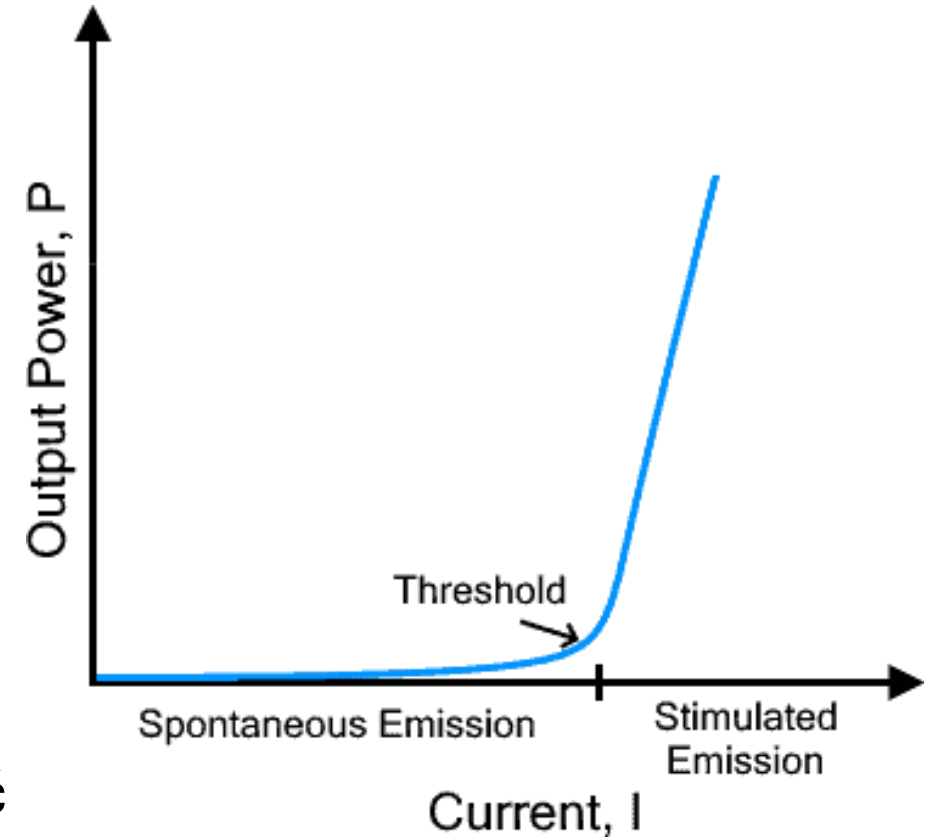
Lasery półprzewodnikowe są systemami pompowanymi elektrycznie. Do struktury półprzewodnikowej przykładane jest napięcie, które wymusza separację nośników – elektronów i dziur, w ilości proporcjonalnej do prądu. Następnie elektrony i dziury wstrzykiwane są do warstwy aktywnej złącza – dziury od strony półprzewodnika typu P, a elektrony od strony półprzewodnika typu N.



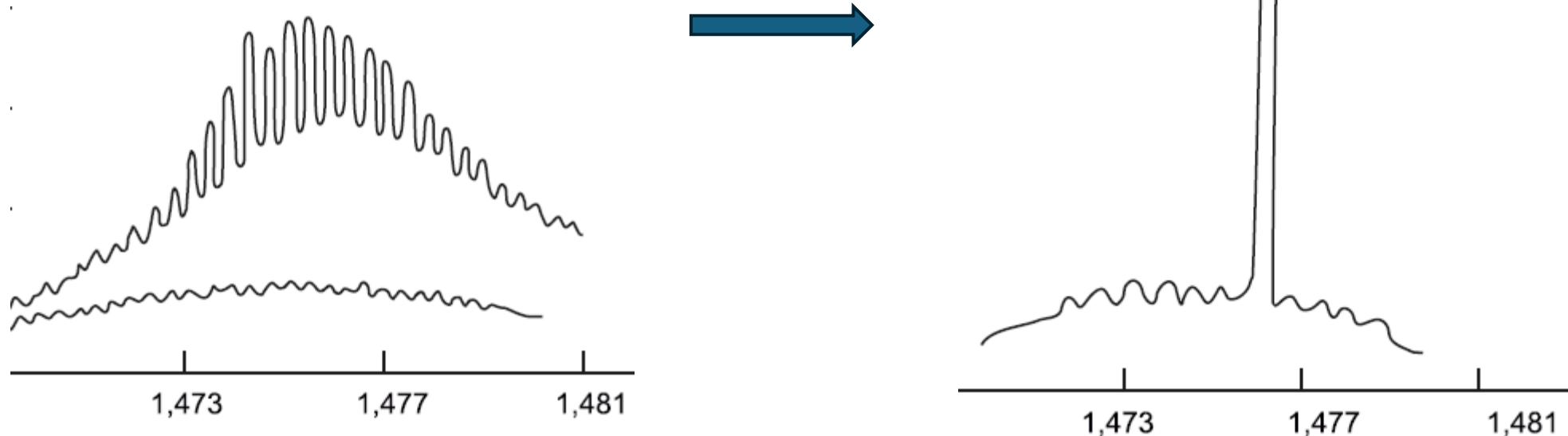
W warstwie samoistnej nośniki te mogą ze sobą rekombinować – dziura i elektron anihilują, tworząc foton, który zostanie wyemitowany. Jest to emisja spontaniczna, która jest potrzebna do rozpoczęcia akcji laserowej.

Wraz ze zwiększaniem gęstości nośników, coraz więcej fotonów, które zostały wygenerowane w półprzewodniku ma szansę wywołać emisję wymuszoną par elektron-dziura.

W pewnym momencie, po przejściu progu akcji laserowej w ośrodku czynnym następuje inwersja obsadzeń i zaczyna się akcja laserowa. Intensywność emitowanego promieniowania rośnie znacznie szybciej wraz z rosnącym prądem, niż w rejonie podprogowym gdzie zasadniczo dioda laserowa działa jak zwykła dioda elektroluminescencyjna.



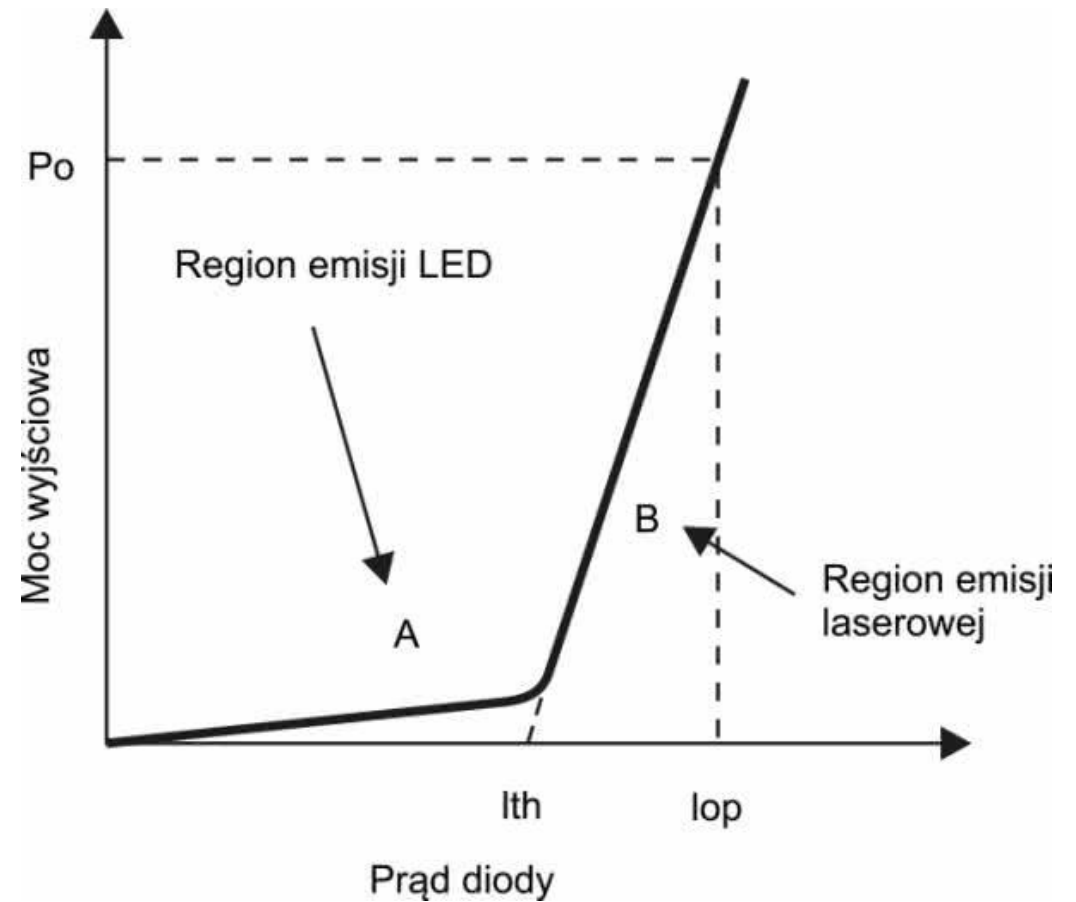
Przejście przez próg akcji laserowej dodatkowo zawęża widmo emisji układu, gdyż emisja wymuszona powoduje powstawanie fotonów o tej samej długości fali, co już wygenerowane.



Sterowanie dioda laserową

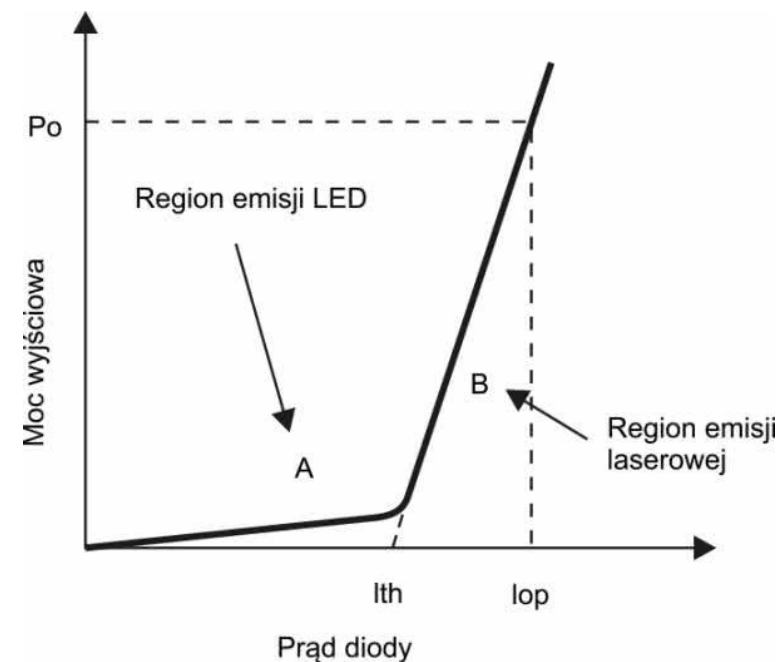
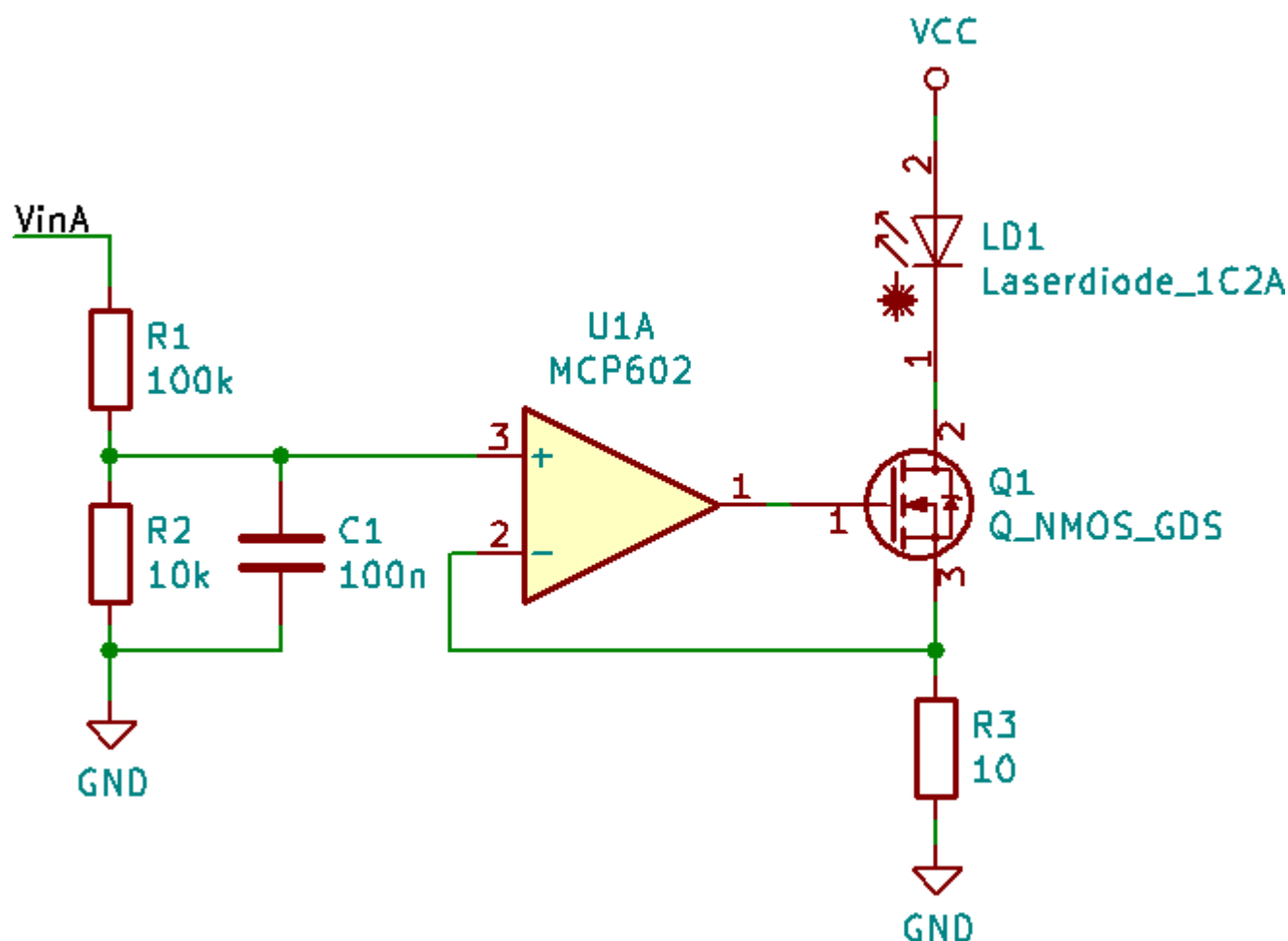
Diodami laserowymi steruje się identycznie, jak diodami elektroluminescencyjnymi – poprzez przepływ prądu o odpowiedniej wartości. W zakresie pomiędzy I_{th} a I_{op} , natężenie emitowanego promieniowania jest liniowo związane z natężeniem prądu diody. Parametr, który wiąże ze sobą te dwie wartości, to sprawność.

Na tym teoretycznie można by zakończyć - znając sprawność, możemy zaprojektować układ w taki sposób, że otrzymujemy na wyjściu lasera zaplanowaną moc wyjściową i gotowe.



W przypadku najprostszego systemu sterowania laserem półprzewodnikowym oczywistym rozwiązaniem jest źródło prądowe.

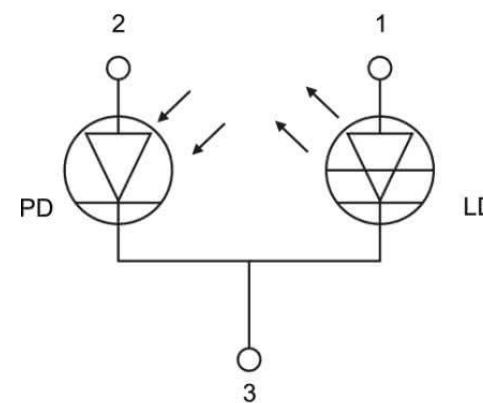
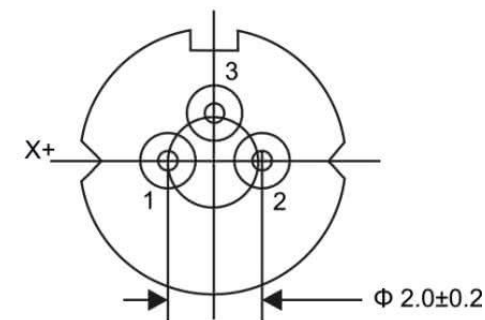
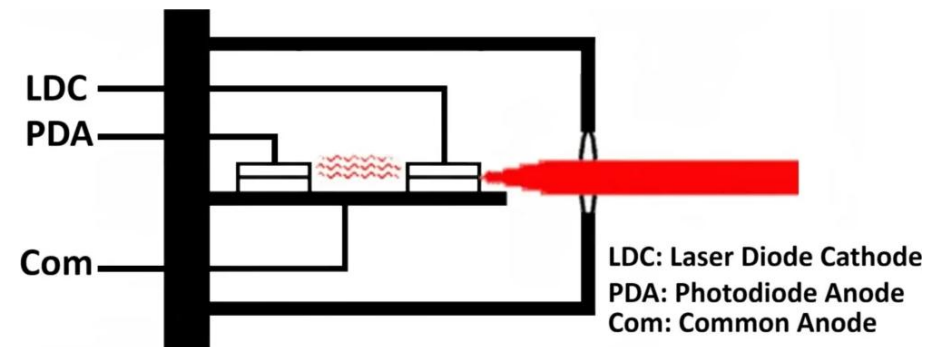
Stabilizuje ono prąd na zadanym poziomie, aby utrzymać właściwą moc lasera.



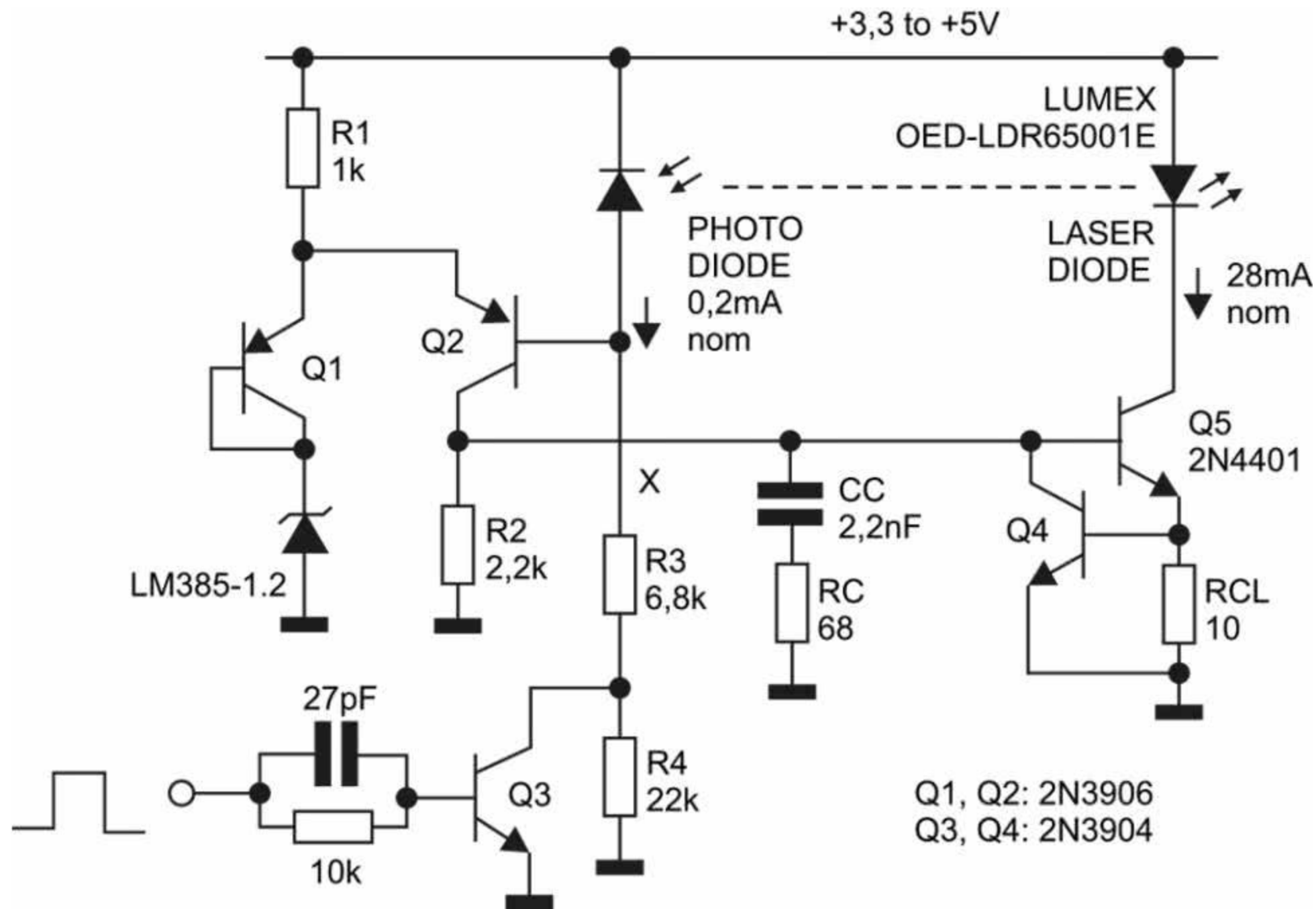
Niestety w ogólności sprawność diody laserowej zależy od wielu czynników, głównie od temperatury diody, ale zmienia się także wraz z czasem jej życia (starzeniem) itd. Nie ma sposobu, aby poznać te wszystkie zależności, a następnie mierzyć parametry i korygować prąd, tak aby stabilizować moc wyjściową lasera.

Dlatego też stosuje się systemy z sprzężeniem zwrotnym, które pozwalają na stabilizację mocy wyjściowej lasera.

W tym celu należy w czasie rzeczywistym mierzyć moc wyjściową (optyczną) i to jej poziom porównywać z zadaniem. Dlatego właśnie duża część diod laserowych wyposażona jest w fotodiode do pomiaru mocy lasera.



1. Anoda diody laserowej
2. Anoda fotodiody pomiarowej
3. Wyprowadzenie wspólne



Zabezpieczenia

Projektując sterownik lasera diodowego, nie można zapominać o konieczności wbudowania odpowiednich zabezpieczeń.

Sterownik musi kontrolować prąd diody, ale trzeba też zabezpieczyć ją przed zbyt wysokim napięciem. Napięcie na diodzie powinno być w sposób ciągły monitorowane, aby nie wyszło ono poza zadany zakres - nawet chwilowe przekroczenie napięcia może doprowadzić do uszkodzenia struktury i pogorszenia jej parametrów czy też skrócenia czasu życia.

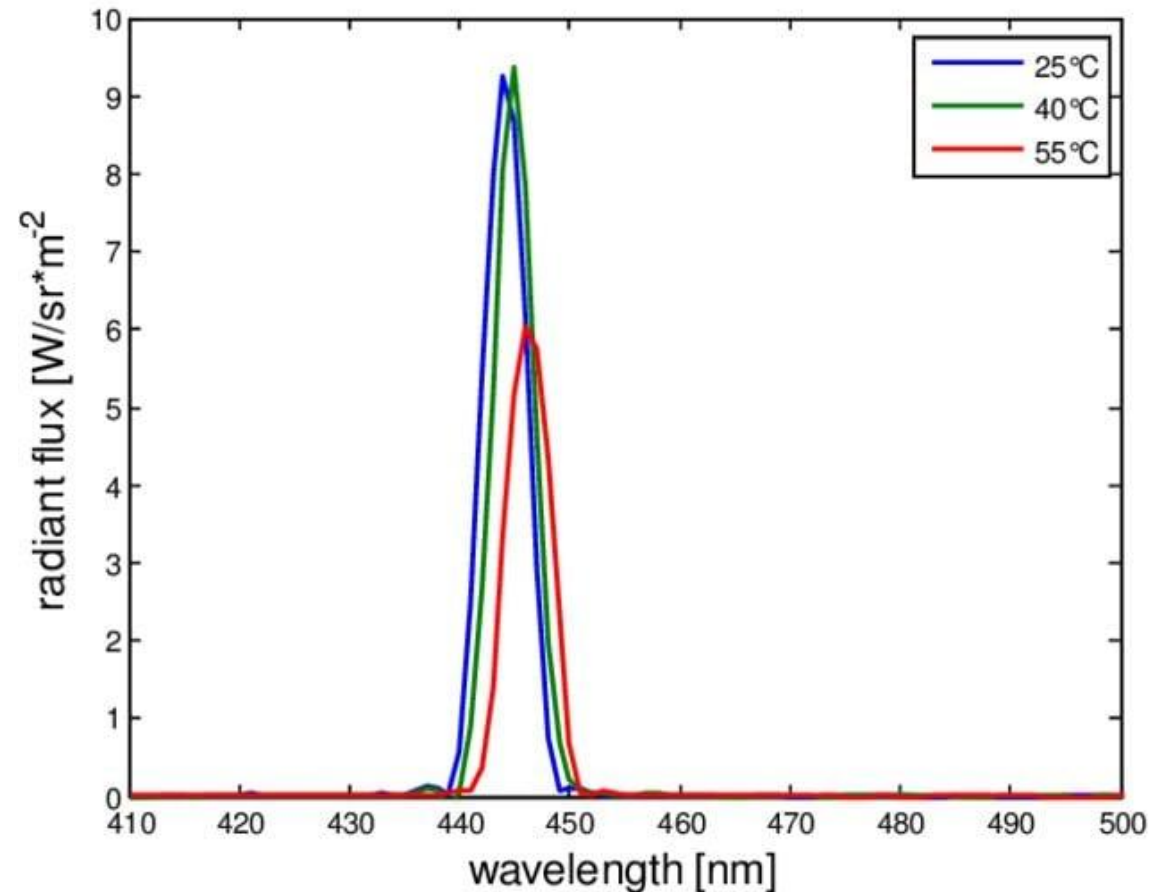
Ponadto diody laserowe są bardzo wrażliwe na zdarzenia nadnapięciowe, więc też na uszkodzenia na skutek wyładowań ładunków elektrostatycznych.

Istotne jest też monitorowanie i zabezpieczenie diody przed innymi czynnikami poza elektrycznymi, takimi jak temperatura czy odbicia promieniowania laserowego.

Warunki pracy

Kontroler diody laserowej musi monitorować i kontrolować jeszcze szereg innych parametrów, aby zagwarantować poprawną, stabilną i bezawaryjną pracę układu.

Im laser ma wyższą moc czy też stawiane mu są inne wysokie wymagania tym dokładniej trzeba kontrolować m.in. jego temperaturę – wpływa ona m.in. na sprawność (na ogół im wyższa temperatura, tym sprawność jest niższa) czy też długość fali emitowanego promieniowania.



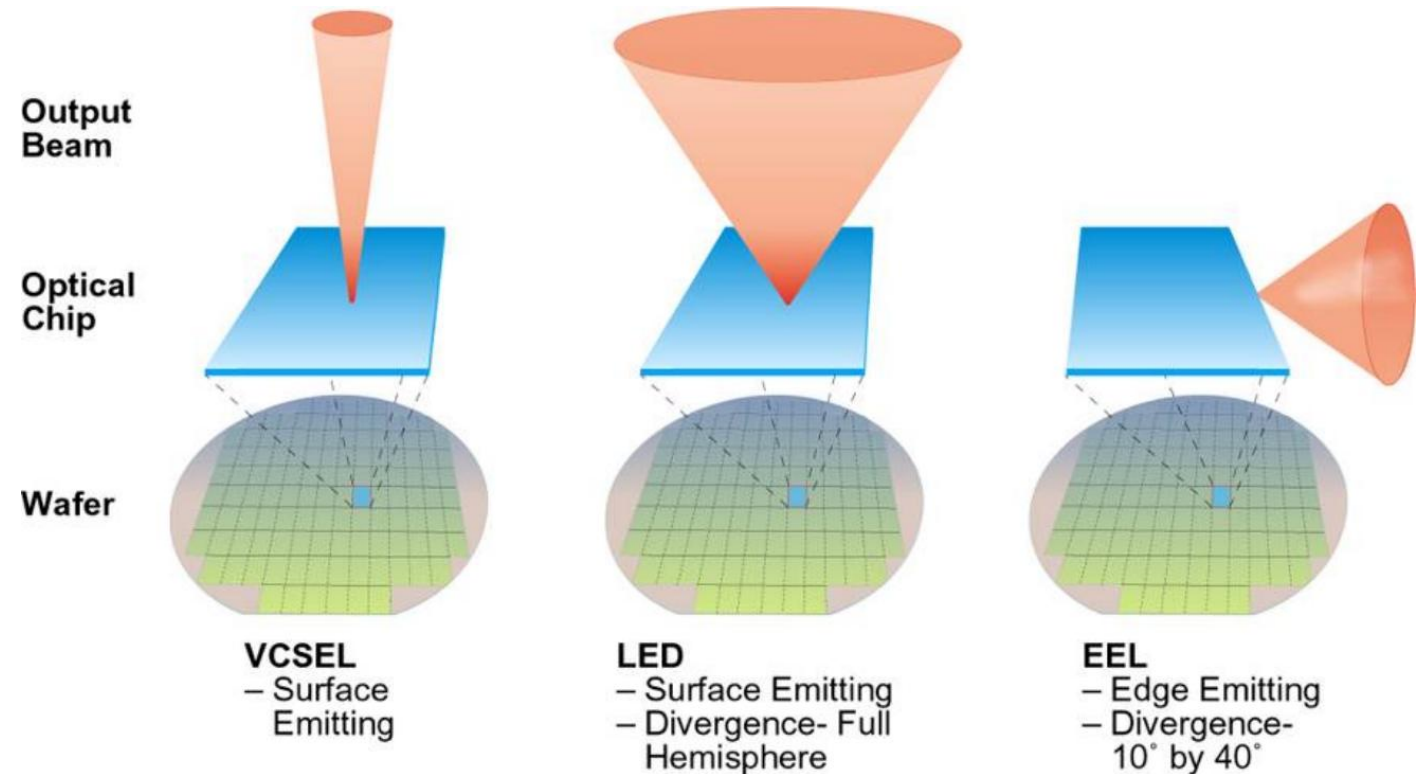
W przypadku nawet najmniejszych diod laserowych chłodzenie i stabilizacja temperatury jest problematyczna, a w przypadku większych diod czy modułów diodowych (tj. modułów złożonych z większej ilości diod laserowych połączonych ze sobą elektrycznie i optycznie w jeden laser) nastręcza sporego wyzwania projektowego i wymaga stosowania zaawansowanych metod chłodzenia, takich jak moduły Peltiera czy systemy chłodzenia wodnego lub sprężarkowego.

Monitorowanie i stabilizacja temperatury lasera półprzewodnikowego wymagane są do stabilizacji jego punktu pracy, a także, jako zabezpieczenie – przekroczenie pewnych progów temperatury może spowodować, jeśli nawet nie uszkodzenie samej diody, to skrócenie czasu jej życia.

Vertical Cavity Surface Emitting Laser

VCSEL to bardzo ważna współczesna odmiana lasera półprzewodnikowego, szczególnie ważna w krótkich łączach, czujnikach i układach 3D (skanowanie, renderowanie).

VCSEL to lasery emitujące światło w kierunku prostopadłym do swojej powierzchni.



W porównaniu z laserami o emisji krawędziowej lasery VCSEL wyróżnia mała rozbieżność wiązki oraz symetryczność jej profilu. Ułatwia to jej kolimację z wykorzystaniem prostych elementów optycznych.

Ważną praktyczną zaletą laserów tego typu w porównaniu z laserami o emisji krawędziowej jest też możliwość ich testowania w blokach, jeszcze przed rozcięciem na poszczególne urządzenia. Umożliwia to wczesną identyfikację problemów z jakością i natychmiastową reakcję.

Oprócz tego można je już na tak wczesnym etapie produkcji zbiorczo łączyć z niezbędnymi komponentami optycznymi, na przykład soczewkami kolimacyjnymi, zamiast domontowywać elementy optyczne indywidualnie dopiero dla każdego lasera VCSEL. Ułatwia to oraz zmniejsza koszty masowej produkcji urządzeń z tego typu laserami.

Lasery VCSEL mogą być również eksploatowane w wyższych temperaturach niż te o emisji krawędziowej.

Typowe zastosowania diod laserowych

Telekomunikacja optyczna :

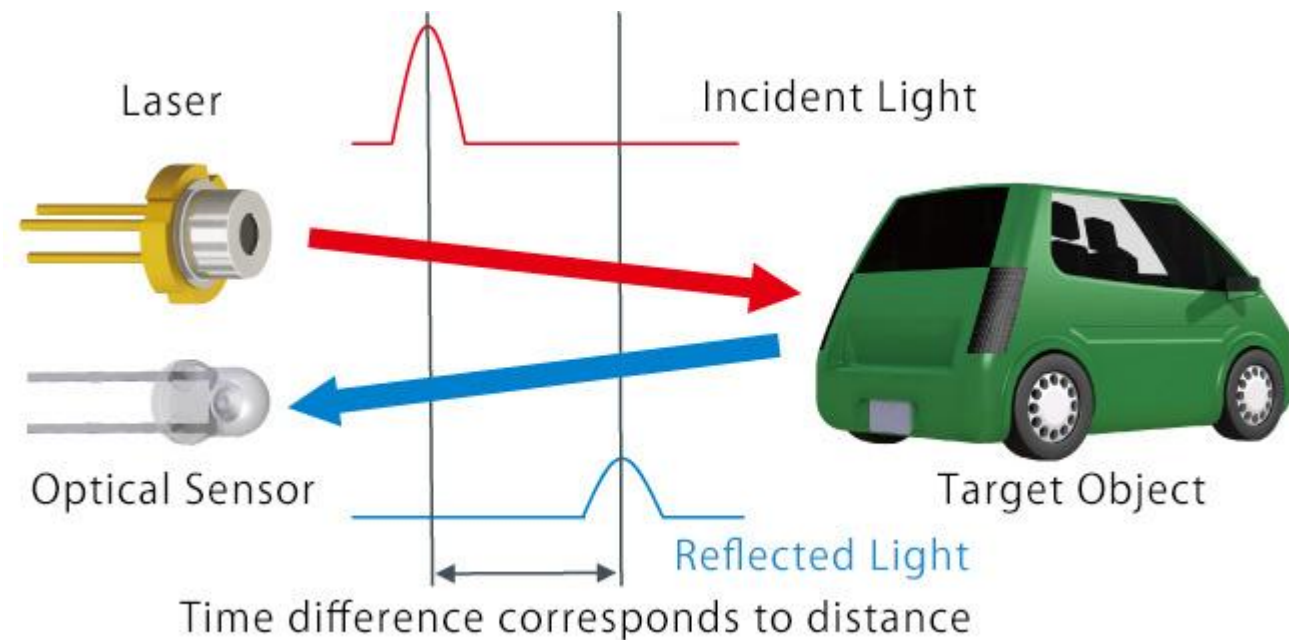
- źródła sygnału w światłowodach (1310 nm, 1550 nm).

Czujniki i pomiary:

- LIDAR (samochodowy, przemysłowy),
- pomiary odległości (ToF),
- skanery laserowe, triangulacja.

Elektronika użytkowa:

- projektory laserowe (RGB),
- dalmierze, poziomice,
- czujniki optyczne w urządzeniach mobilnych.



Obróbka materiałów (niskie i średnie moce):

- precyzyjne wypalanie i mikrograwerowanie.



Technika medyczna i laboratoryjna:

- sprzęt diagnostyczny i pomiarowy,
- mikroskopia konfokalna / fluorescencyjna,
- lasery chirurgiczne małej mocy.

Inne:

- czytniki kodów kreskowych,
- komunikacja optyczna krótkiego zasięgu (Li-Fi),
- systemy wizyjne i oświetlacze IR.

**DIODE LASERS**

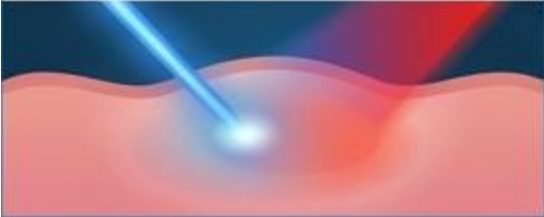
Wavelength Range: 445–1064 nm
Spectrum: Blue to Near-Infrared

Primary Targets:
Melanin, Haemoglobin  

Clinical Applications:

-  Gum reshaping
-  Bacterial reduction
-  Teeth whitening
-  Frenectomy

Key Stat: Blue diodes (445 nm) have melanin absorption of 1033 cm^{-1}



Dziękuję za uwagę