

Laser Niebieski

Piotr Wiczorek FiTKE

Plan seminarium

1. Informacje wstępne
2. Fizyczny aspekt zagadnienia
3. GaN – sprawa fundamentalna
4. Zastosowanie laserów
5. Źródła

Na początek: Lasery, źródła promieniowania niebieskiego i białego:

- Diody emitujące światło (LEDs) :niebieskie, zielono/niebieskie, fiolet, UV zostały rozwinięte przez Shuji Nakamurę w Nichia Chemical Industries w Japonii; oparte na InGaN/AlGaN
- Diody Nakamury są około 100 razy bardziej jasne niż wcześniejsze LEDy typu SiC
- Niebieskie, zielone, białe LEDy znajdują szerokie zastosowanie- np. :światła w sygnalizatorach ulicznych, światła samochodowe, różnego rodzaju oświetlenia, nawet medycyna. Tego typu urządzenia mają w przyszłości wyprzeć obecne sygnalizatory; oszczędność energii to około 50-70%, wymiana raz na około 5-10 lat (obecnie średnio jedna żarówka na rok)
- Inne zastosowanie: skanery kolorowe, przechowywanie danych, oświetlenie
- Diody laserowe oparte na technologii GaN działają ponad 10.000 godzin i dzięki temu można je używać np. w przechowywaniu danych (DVD)

Dlaczego Niebieskie LEDy

- Wiele lat temu aktywnymi elementami w odbiornikach radiowych i telewizyjnych były lampy elektronowe próżniowe. Następnie były one zastępowane najpierw przez tranzystory a obecnie przez układy scalone (ICs)
- Do dnia dzisiejszego przemysł zajmujący się oświetleniem jest zdominowany przez zwykłe żarówki i jarzeniówki które mimo kolejnych udoskonaleń są w gruncie mają dużo wad: krótki czas działania, łatwo się tłuką, ciężko jest z ich utylizacją, większość energii zamieniana jest na ciepło zamiast na światło
- Niebieskie, zielone, białe LEDy pozwalają zamienić żarówki świetlne na półprzewodniki
- Oparte na technologii GaN LEDy już zaczęły wypierać żarówki świetlne, poczynając od świateł sygnalizacyjnych poprzez oświetlenie specjalistyczne a skończywszy na medycynie

Dlaczego Niebieskie LEDy

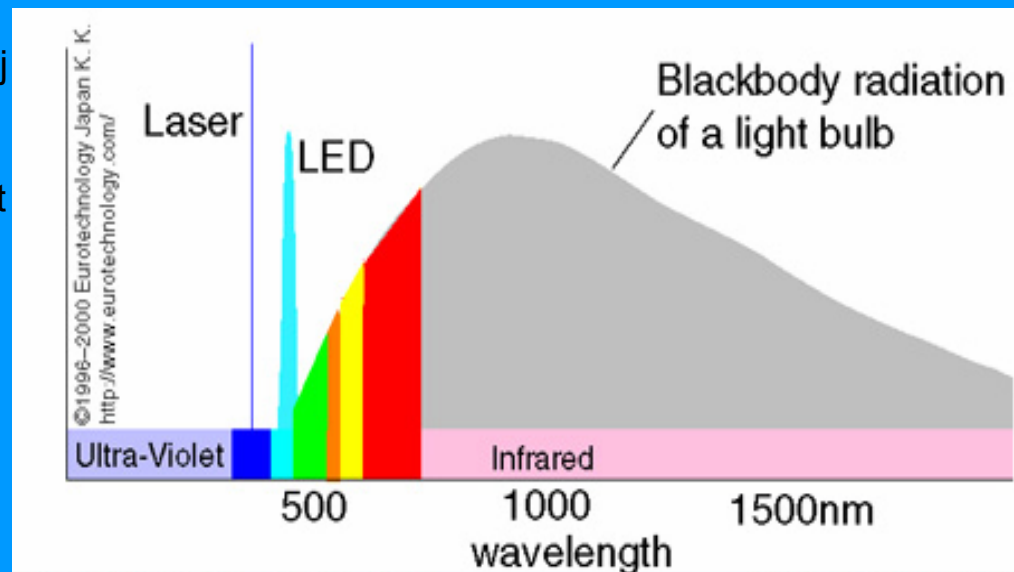
- Niebieskie półprzewodnikowe lasery (GaN) pozwalają na przechowywanie informacji z około 4krotnie większym „zagęszczeniem” co powoduje że są one podstawą do urządzeń DVD co raz to nowszych generacji
- Lasery Niebieskie znajdują również zastosowanie w medycynie, drukowaniu i kopiowaniu

Kto wynalazł Lasery i LEDy oparte na technologii GaN?

- Jaques Pankove - odkrył iż Azotek Galu (GaN) może emitować światło niebieskie
- Profesor Isamu Akasaki – we współpracy z Hiroshi Amano odkrył i zademonstrował domieszkowanie półprzewodników typu P i typu N, oraz diody emitujące światło oparte na GaN (LEDy)
- Shuij Nakamura – sporządził długą listę technologii i procesów potrzebnych do użycia tych urządzeń i to dzięki niemu zostały one produktami handlowymi . Najważniejsze z jego odkryć to proces „MOCVD” dzięki któremu mogą rosnąć warstwy GaN

Fizyka i Technologia – widmo światła dla LEDów, żarówek i laserów

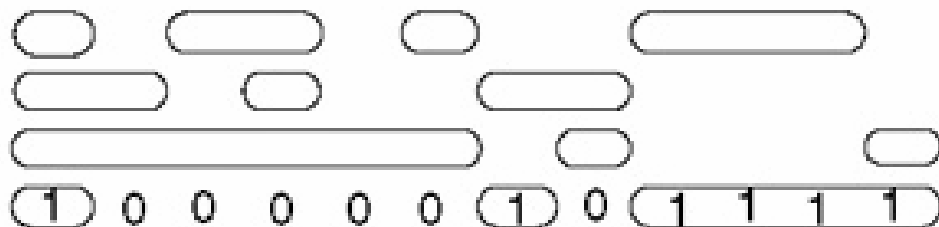
- Żarówka Świetlna – wolframowe włókno podgrzewane do jest do około 3000 K i emituje promieniowanie ciała doskonale czarnego w szerokim widmie. Większość tej emisji jest niewidzialnym podczerwonym promieniowaniem ciepłym. Sprawność okazuje się być niską ponieważ energia jest zamieniana na ciepło a nie na światło.
- LED – światło jest emitowane poprzez przejście elektronów pomiędzy poziomami energetycznymi i dlatego w obrębie stosunkowo małych długości fal
- Laser – zjawisko emisji jest spowodowane rezonansem „wzmacniacza optycznego” i wewnątrz optycznych. Światło emitowane jest koherentne. Lasery mogą emitować światło o bardzo wąskiej wiązce promieniowania i w bardzo wąskim przedziale widma promieniowania.



Niebieskie Lasery – magazynowanie optyczne

- Dyfrakcja ogranicza rozmiar zogniskowanej wiązki laserowej do rozmiarów plamki z szerokością kierunku długości fali użytego światła, dlatego długość fali ogranicza gęstość zmagazynowanych danych: krótsze długości fal(niebieskie, UV) – wyższa gęstość zmagazynowania.

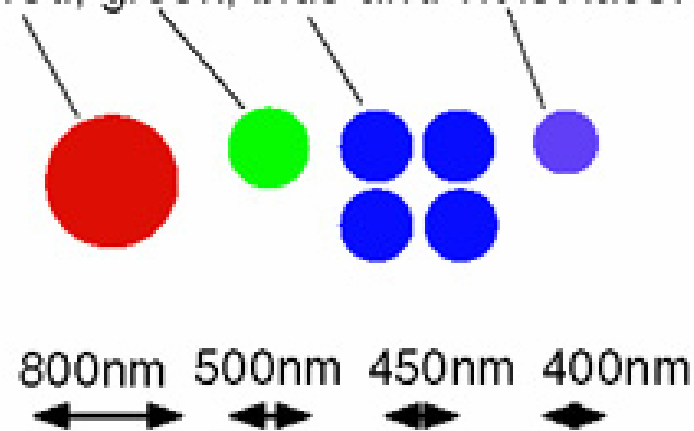
Schematic of information storage on CD-ROM and magneto-optical disc



©1995–2000 Eurotechnology Japan K. K.

<http://www.eurotechnology.com/>

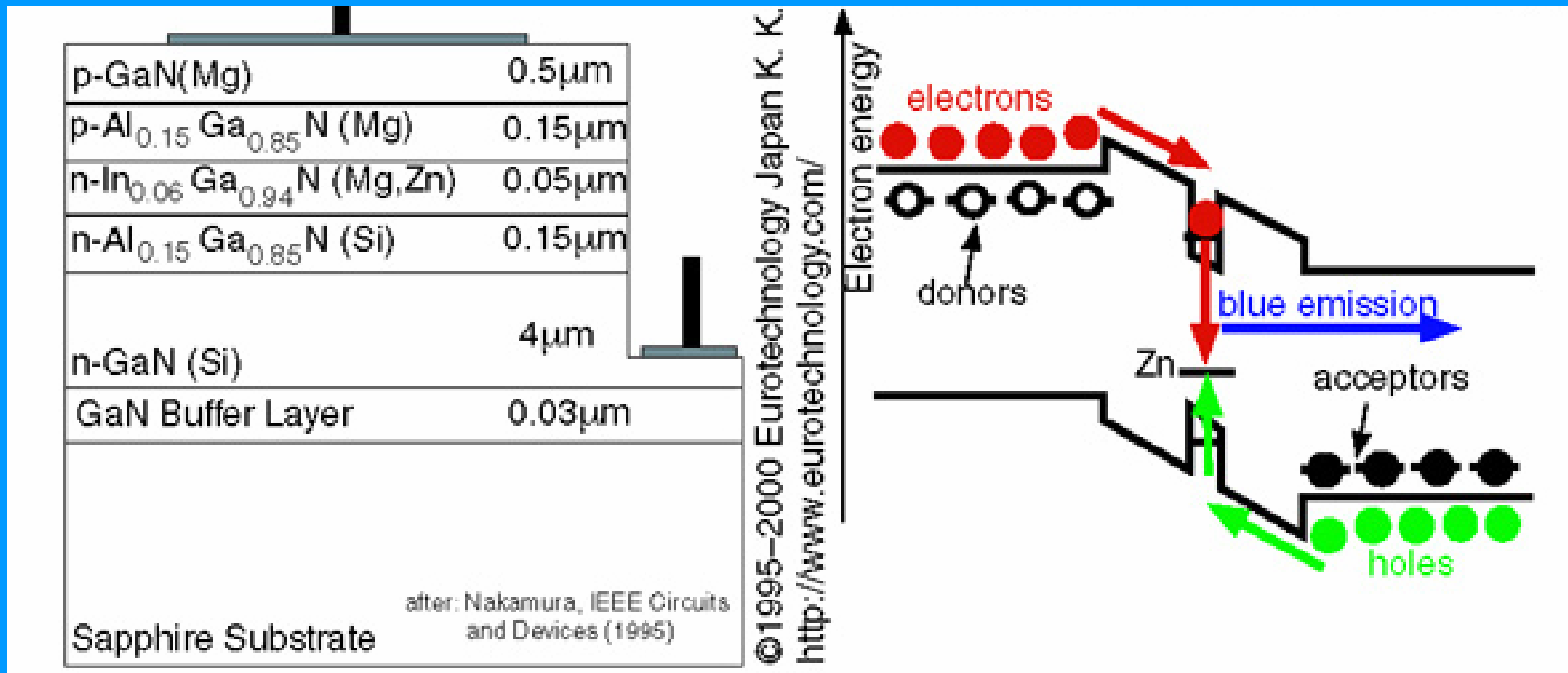
Diffraction spots of red, green, blue and violet lasers



Co to jest Dioda Emitująca Światło (LED) ???

a) Dioda półprzewodnikowa emitująca światło albo dioda laserowa (LD).
Obie składają się ze stosów bardzo cienkich warstw półprzewodnikowych różnych materiałów

b) LED składa się ze stosów „p” i „n” które tworzą złącze typu „p-n”. Elektrony i dziury wędrują z gradientem przyłożonego napięcia i dochodzi do rekombinacji w pobliżu łącza. Foton emitowanego światła ma energię podobnej wartości co poziom pasma wzbronionego.



Czym jest Dioda Laserowa (LD)?

- LASER – Light Amplification by Stimulate Emission of Radiation
- Każdy laser składa się ze wzmacniacza światła (wzmocnienie poprzez emisję wymuszoną) zespolonego z optyczną wnęką rezonansową: LASER = Wzmacniacz światła + Wnęka rezonansowa
- W większości laserów półprzewodnikowych wzmacniacz światła i wnęka są bardzo mocno ze sobą powiązane i mogą „się dzielić” pewnymi elementami
- Wzmacniacz światła: zwiększa on intensywność promieniowania dla pewnych długości fali kiedy jest pompowany ponad wartości progowe. Ponad tymi wartościami pojawia się emisja wymuszona. Wzmacniacz może być pompowany różnymi sposobami np. elektrycznie. W laserach półprzewodnikowych w pierwszych fazach badań mieliśmy do czynienia z pompowaniem optycznym jednakże przy zastosowaniu już w urządzeniach pompowanie jest prawie zawsze elektryczne.
- W przypadku półprzewodnikowych LD wzmacniacz światła składa się ze struktury podobnej do LEDu ze złączem p-n. Mimo to wymagania dokładności, czystości, uniezależnienie od defektów krzystalu są znacznie bardziej ostrzejsze niż w przypadku LEDu.
- Wnęka rezonansowa półprzewodnikowego lasera może w najprostszyc przypadkach składać się ze zniszczonych krawędzi półprzewodnika a w bardziej skomplikowanych – z wielowarstwowych luster dielektrycznych.

Wzmacniacz światła

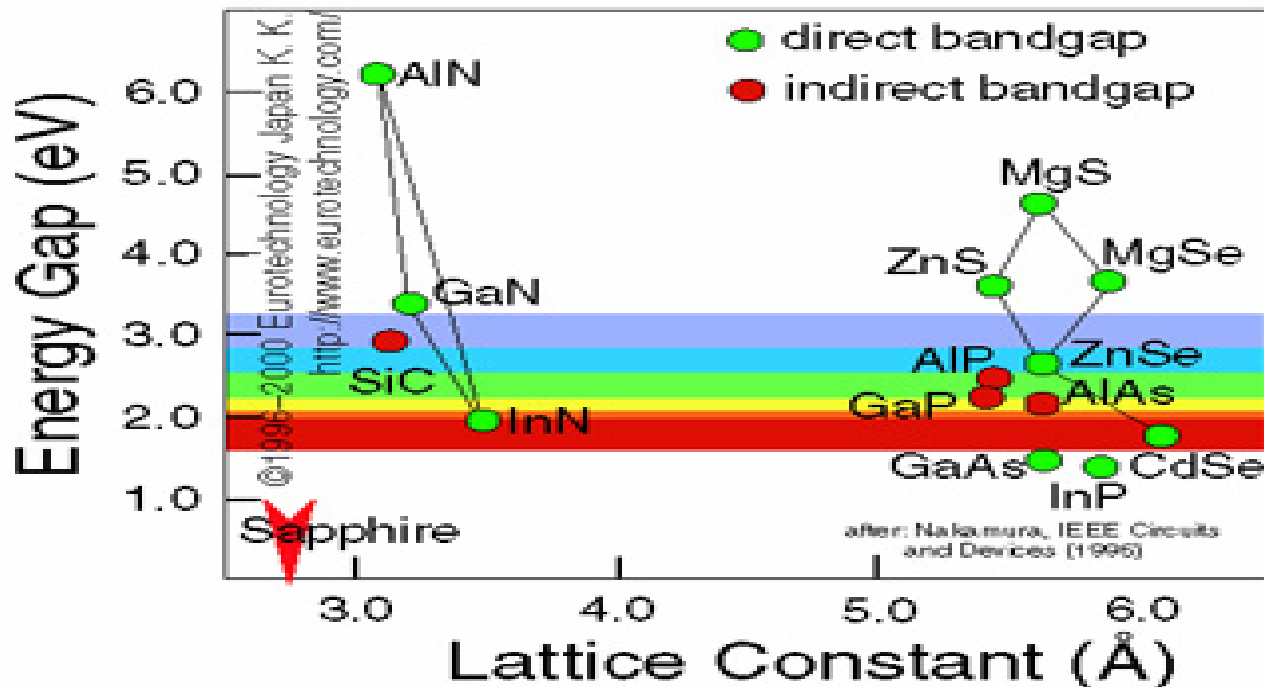
- Podczas emisji światła możemy mieć do czynienia z dwoma jej rodzajami:
- Emisja spontaniczna – w przypadku laserów emisja ta nie jest zwykle pożądana. W laserach jest ona tylko potrzebna do rozpoczęcia akcji.
- Emisja wymuszona – jest emisją fotonów wymuszaną polem elektrycznym powstałym dzięki innym fotonom znajdującym się we wzmacniaczu.
- Światło przechodząc przez wzmacniacz jest wzmacniane poprzez emisję rezonansową, jeśli wzmacniacz jest pompowany aż do wystąpienia emisji wymuszonej i pokonania strat spowodowanych absorpcją i rozproszaniem.

Wnęka rezonansowa

- W najprostszym przypadku składa się z dwóch równoległe ustawionych luster.
- Występują tu mody rezonansowe.
- W laserach półprzewodnikowych z wnęką pionową osie optyczne wnęk i emisja laserowa są prostopadłe do podłoża.
- W laserach półprzewodnikowych wzmacniacz optyczny i wnęka rezonansowa są bardzo silnie ze sobą powiązane i mają na siebie duży wpływ. Przykład: podczas akcji laserowej gęstość elektronowa zmienia się co z kolei powoduje zmianę współczynnika załamania i wzmacniacz oraz wnęka wzajemnie zależą od siebie. Dlatego właśnie w laserach półprzewodnikowych oba te elementy muszą być tworzone jednocześnie – nie niezależnie jak to czasem jest możliwe w laserach gazowych.

Azotek Galu (AlGaN/InGaN)

- AlN, GaN, InN posiadają bezpośrednie pasmo wzbronione. Optyczne przejście pomiędzy poziomami jest dozwolone i dlatego znacznie mocniejsze niż w przypadku pośrednich pasm (SiC)
- Zanim Nichia wydał na rynek niebieskie LEDy (GaN), istniały już LEDy ale typu SiC które są mniej wydajne ze względu na wspomniane pośrednie pasma



Trzy podstawowe problemy

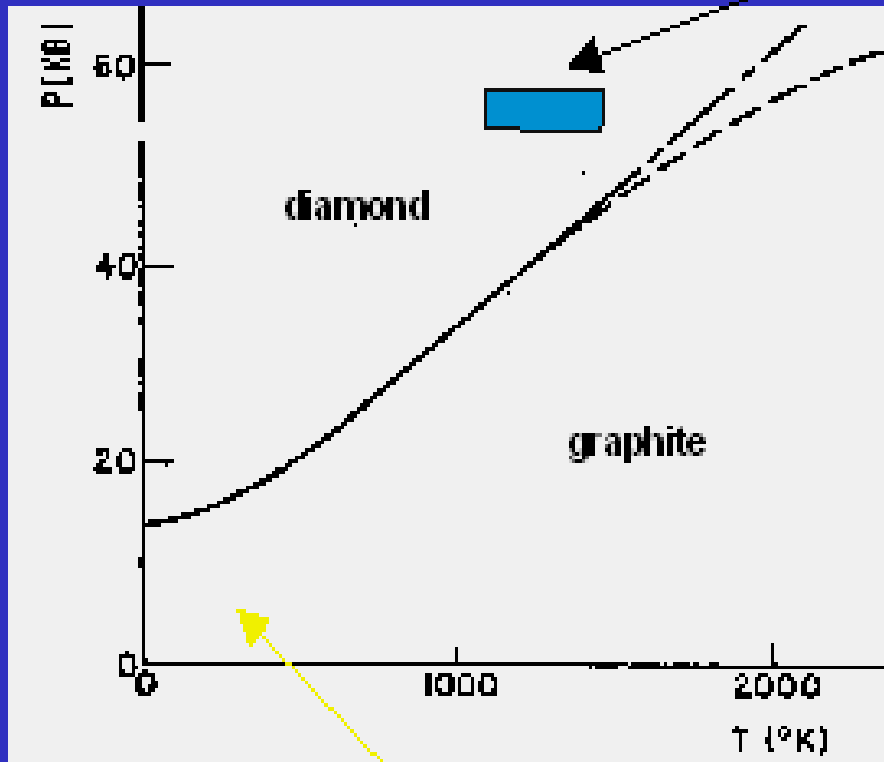
- Niedopasowanie sieciowe - GaN hodowany jest na szafirze, który ma o 15% mniejszą stałą sieci krystalicznej niż GaN, oprócz tego inna rozszerzalność cieplna. Powoduje to występowanie pęknięć po wyrośnięciu. (schładzanie)
- Wysoka temperatura hodowli – konwekcja powoduje zahamowanie wzrostu
- Niemożliwość domieszkowania „p” – laser półprzewodnikowy, LED, i inne wymagają złącza „p-n”.

Diamenty i GaN – wysokociśnieniowe kryształy

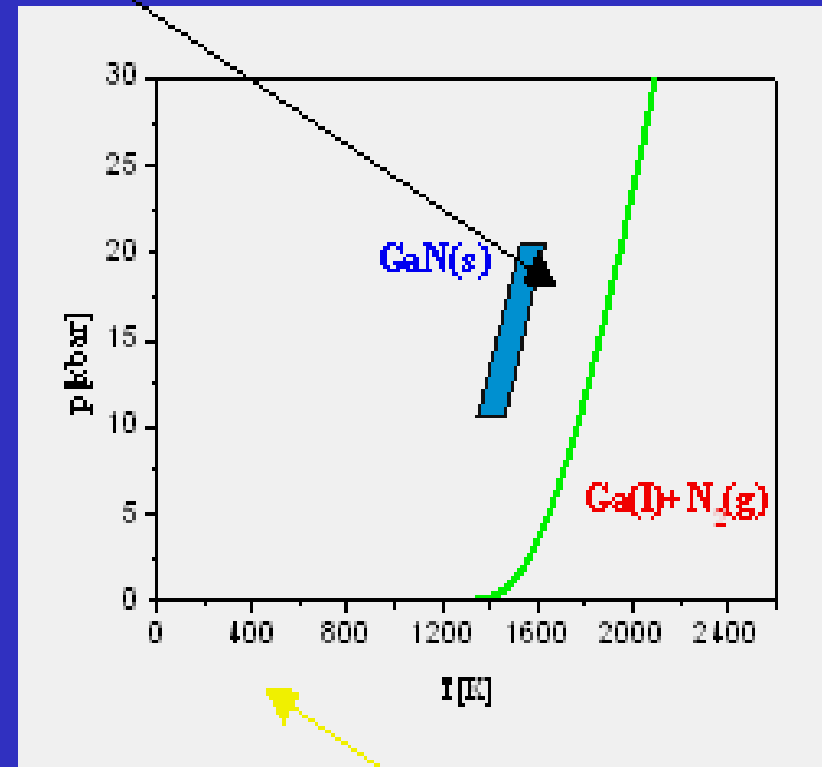
Diamond

Growth regions

GaN



Metastable



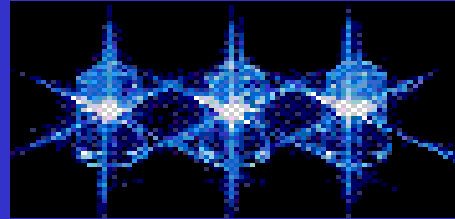
Metastable or stable at low T

Melting conditions of semiconductors

crystal	Melting T, °C	P at melting bar
Si	1400	<1
GaAs	1250	15
GaP	1465	30
GaN	2500	45 000

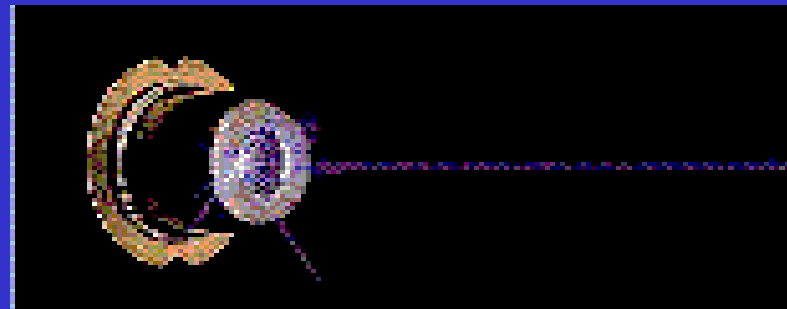


1992



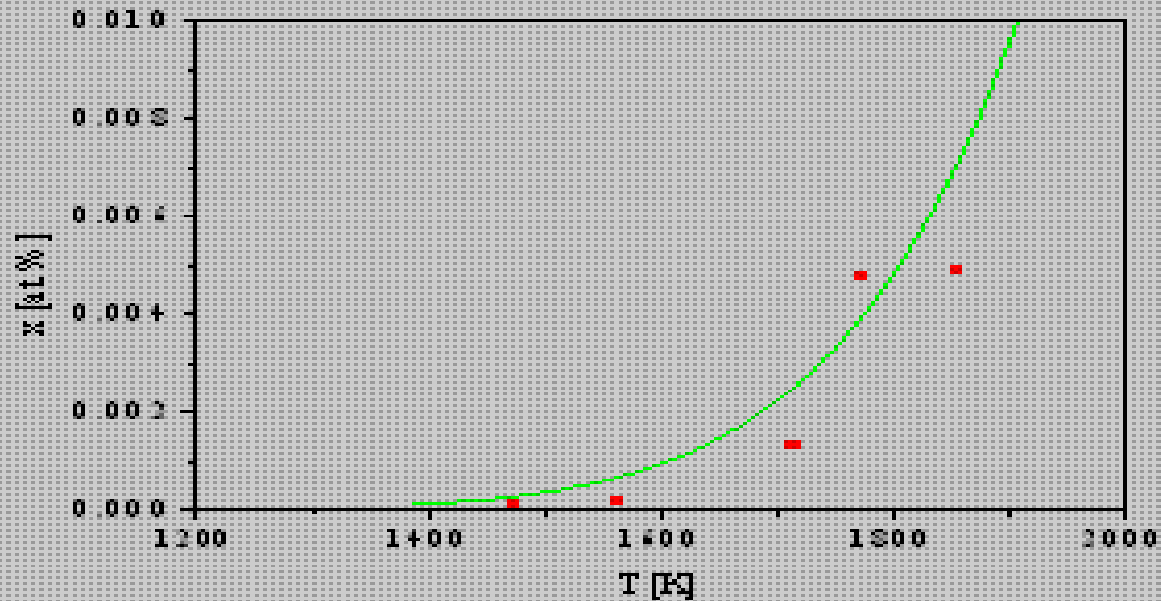
Blue InGaN LED

1996



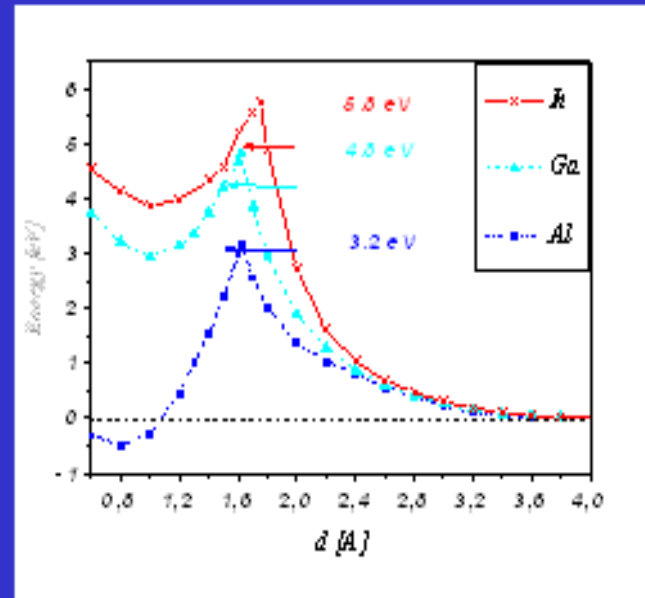
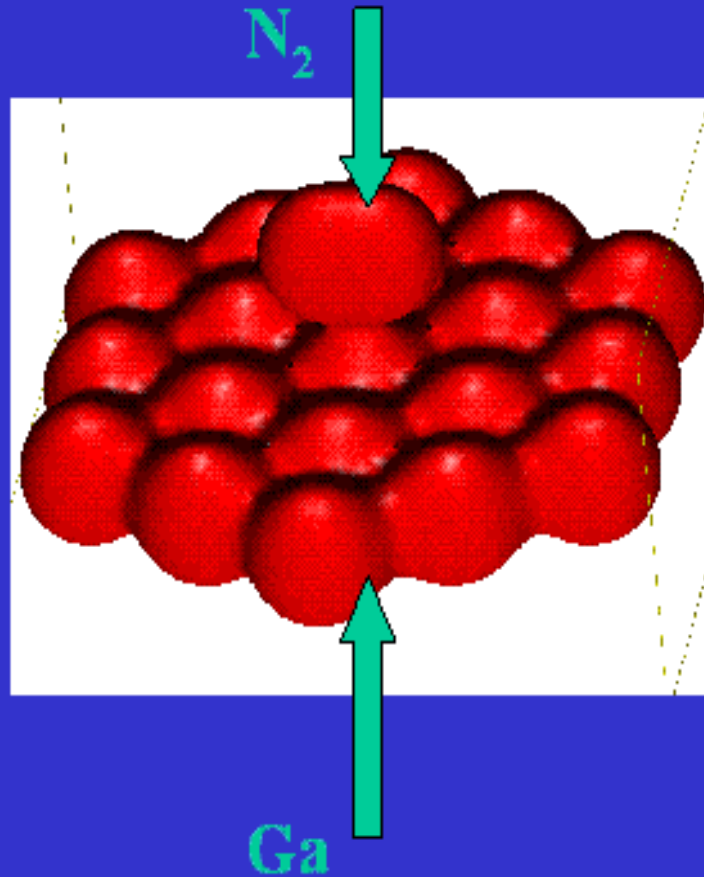
Blue 1.5 mW laser diode

Rozpuszczalność N w Ga



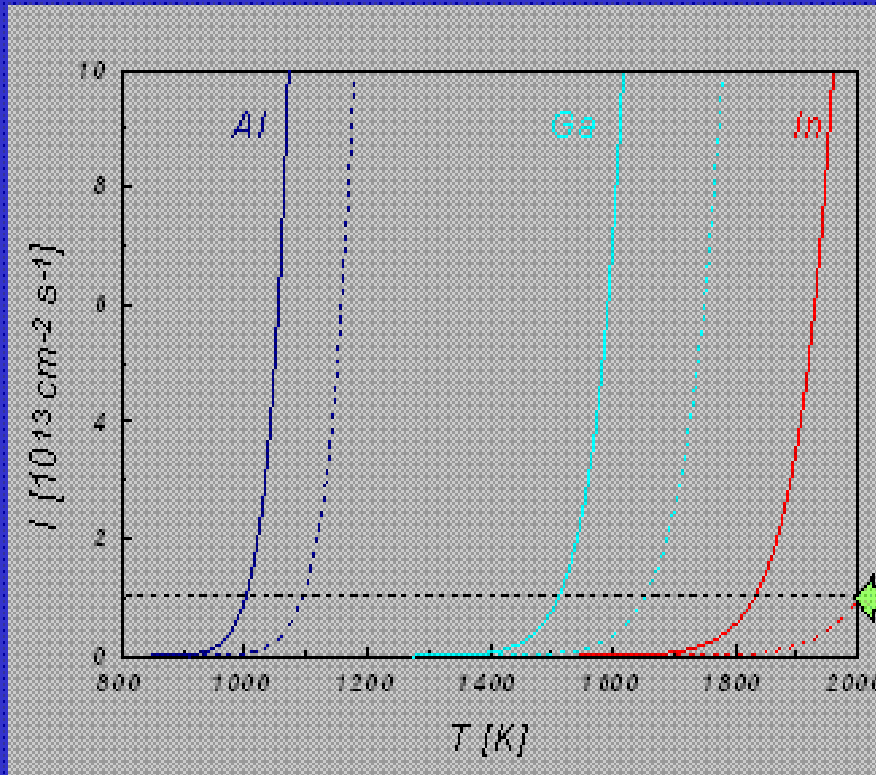
$$x = x_0 \exp\left[-\frac{\Delta H_{sol}}{RT}\right]$$

Rozpuszczalność N₂ w Ga – wzajemne oddziaływanie



Energy barrier to overcome

Rozpuszczalność N2 w Ga - szybkość



Solid line – 10 kbar
Dashed line – 1 bar

GaN – reasonable synthesis
rate above 1600K

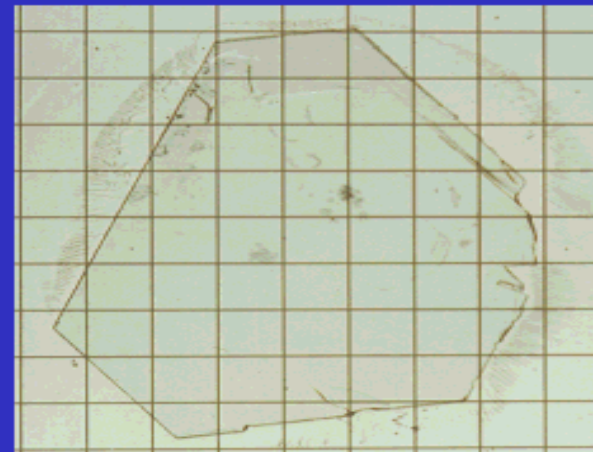
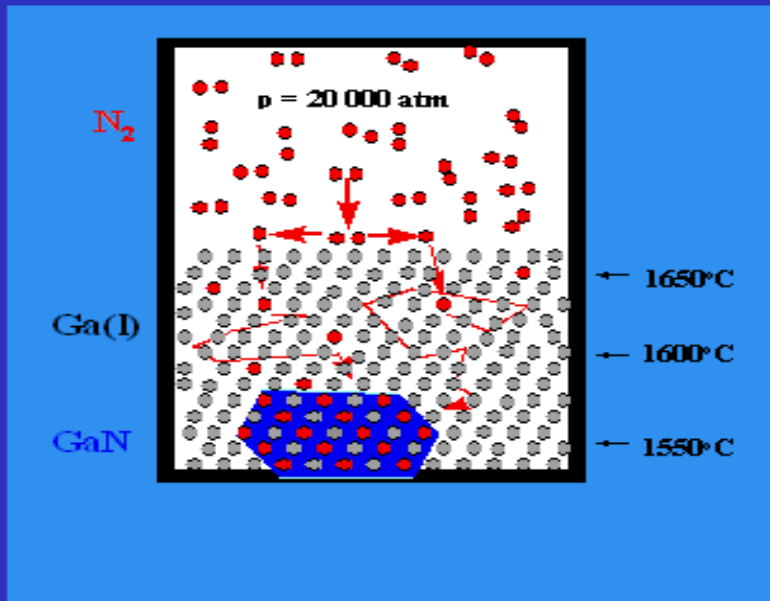
10 mg per cm^2 during 100h

$$I = p / [2\pi m k T]^{1/2} [1 + \Delta E / k T] \exp(-\Delta E / k T)$$

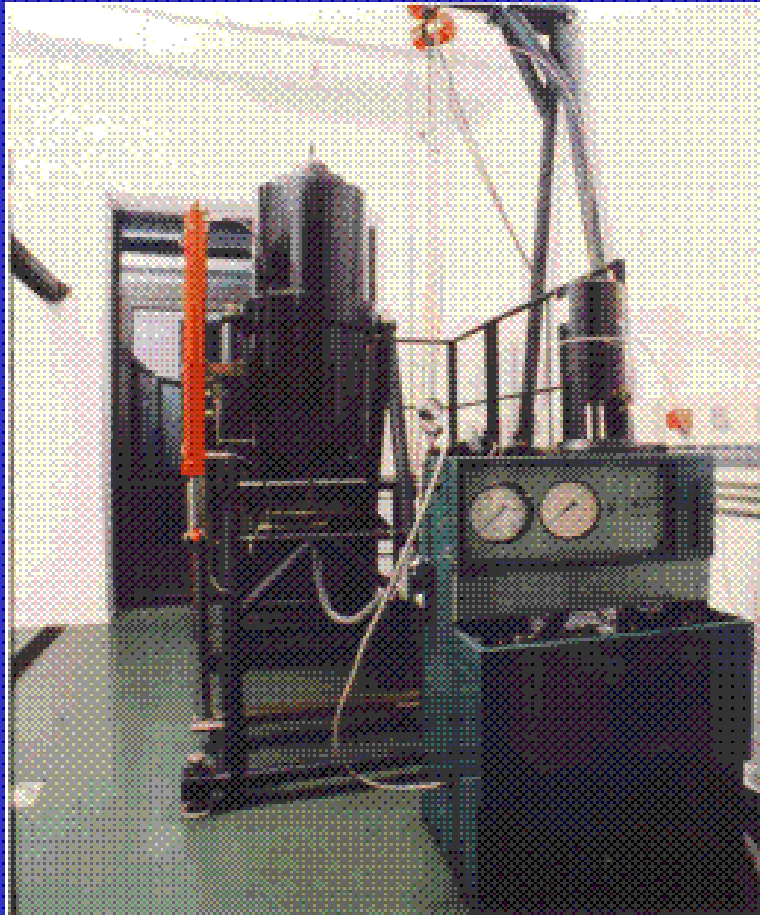
Powstawanie GaN

- Azot dysocjuje i rozpuszcza się w ciekłym Galu
- Atomy dyfundują w kierunku zimnych końców tygla (prażenie)

Crystal growth of GaN from solutions of atomic N in liquid Ga

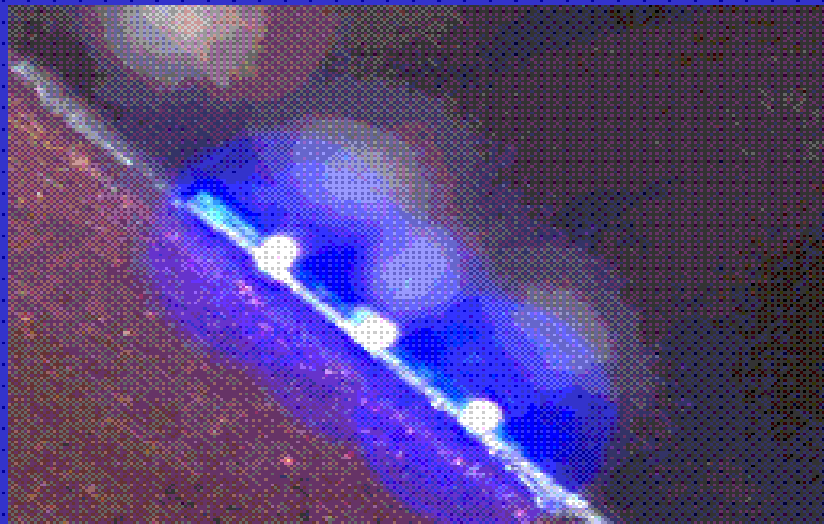
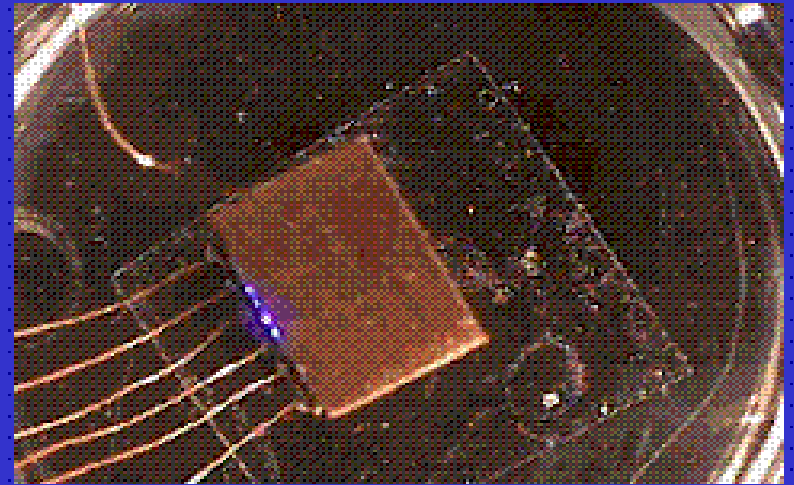
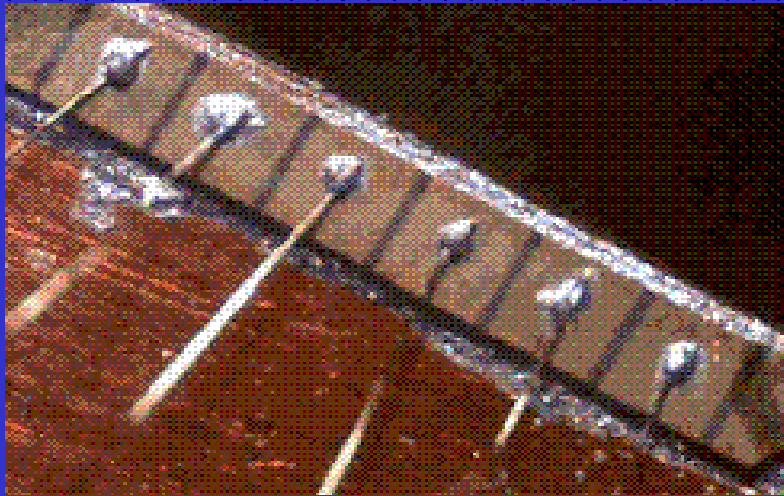


Komora do krystalizacji GaN

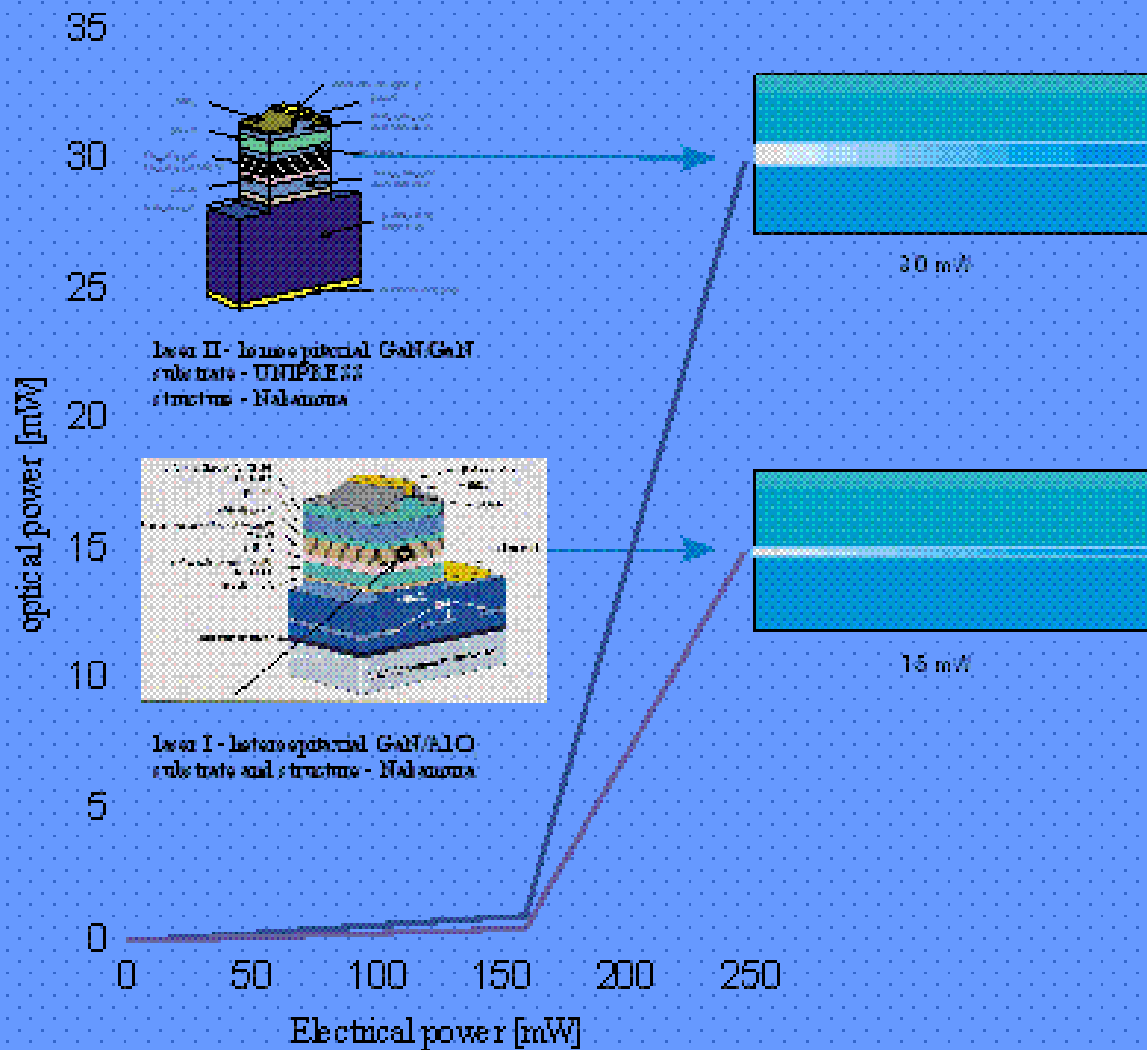


- Working volume 4500 cm³
- Maximum pressure 15 000 atm
- Temperature 1550°C
- Pressure stabilization 10 atm
- Temp. stabilization 0.2°C
- Duration of exp. >300h.

Wygląd układu laserowego



Laser na podłożu GaN



Efficiency – 12%
Cont. Work - >3000h

Efficiency – 6%
Cont. Work - >300h

S. Nakamura,
1999/2000

Polski akcent

- Nie brak również wątku polskiego. Otóż laser półprzewodnikowy składa się z cieniutkich warstw krystalicznych osadzonych na odpowiednim podłożu. Rodzaj i jakość tego podłoża decydują o parametrach lasera, a w szczególności o jego mocy i czasie życia. Najlepszym podłożem lasera niebieskiego jest płytka z idealnego kryształu azotku galu (GaN). Niezwykle trudno jednak otrzymać idealne kryształy z tego materiału, gdyż proces wymaga zastosowania bardzo wysokich temperatur i co gorsza, ogromnych ciśnień azotu - dziesiątek tysięcy atmosfer.
- Pierwsze na świecie takie kryształy udało się uzyskać w Centrum Badań Wysokociśnieniowych PAN. Są one jeszcze dosyć małe (mają około 1 cm²), ale tak doskonałe pod względem struktury, że stanowią obecnie najlepszy materiał podłożowy do laserów niebieskich. To właśnie polskie kryształy z CBW PAN zastosował Shuji Nakamu-ra w swoich niebieskich laserach na kryształach GaN, które mają najlepsze dotąd parametry na świecie. Przy mocy 30 mW czas życia lasera zbudowanego na takim polskim kryształach przekracza 3000 godz. (z podłożem szafirowym jedynie 300 godz.)..

Zastosowanie

- Wśród głównych jego zastosowań jest spektroskopia, czyli pobudzenie laserem molekuł, co pozwala na łatwe ich rozpoznawanie. Niebieski laser emituje kwanty światła o energii dwukrotnie większej od światła lasera czerwonego i dlatego może pobudzać nieporównywalnie więcej typów molekuł. Stąd już tylko krok do szybszego rozpoznawania i terapii nowotworów czy detekcji broni chemicznej. Powstają już oparte na niebieskim laserze pierwsze urządzenia do sprawdzania poziomu zanieczyszczeń w powietrzu. A na tej zasadzie można także zapobiegać bioterroryzmowi – wcześniej wykrywać groźne wirusy i bakterie.

Zastosowanie

Woda morską ma tę właściwość, że jest przezroczysta dla światła niebieskiego. Dlatego łodzie podwodne czy też płetwonurkowie mogą na znaczne odległości przesyłać sobie sygnały niebieskim laserem

Zastosowanie

Niebieski laser z hologramem ma na razie niewiele wspólnego. Lasery w trzech podstawowych barwach pozwalają na dokładniejsze generowanie obrazów. Stwarza to fascynujące możliwości zastosowań w technikach wizualnych, tam, gdzie zależy nam na doskonałości obrazu np.: w projektorach kina domowego, projektorach multimedialnych etc. Obecnie dostępne na rynku projektory zużywają dużo energii, a jakość obrazu nie jest doskonała. Zastosowanie projektorów laserowych będzie w tej dziedzinie przełomem.

Kontrowersja

Pod koniec października odbyła się konferencja prasowa Instytutu Wysokich Ciśnień PAN, której celem było odparcie zarzutów rzekomo nieuczciwych metod, jakimi polscy naukowcy chcą odnieść sukces w technologii niebieskich laserów.

Polscy fizycy opracowali unikatową technologię produkcji niebieskiego lasera i chronią ją sześcioma międzynarodowymi patentami. Jednocześnie powstał „zły klimat” wokół tej sprawy, w prasie pojawiły się nawet artykuły sugerujące że w Polsce nie udało się stworzyć "niebieskiej" gałęzi przemysłu. Odnoszono się do się do nieprawdziwego raportu Najwyższej Izby Kontroli, który miał sugerować, że zaleca się wstrzymanie finansowanie tego projektu.

Tymczasem na konferencji dyrektor Instytutu Wysokich Ciśnień PAN, prof. Sylwester Porowski, zaprezentował ocenę NIK, w której nie było opisywanych przez prasę krytycznych uwag na temat prac prowadzonych w Instytucie.

Organizatorzy konferencji podkreślali, że atutem Polaków jest możliwość wytwarzania najdoskonalszych kryształów azotku galu, co daje szansę uzyskiwania niebieskich laserów o najwyższej mocy na świecie. Jedyńm na świecie konkurentem Polaków w sprzedaży tego typu laserów jest japońska firma Nichia, która ma powody obawiania się o swoją dominującą pozycję. Rok 2005 pokazał, że w tym względzie Polska może prześcignąć Japonię – światowego lidera niebieskiej optoelektroniki.

Źródła

- www.eurotechnology.com
- www.forumakad.pl
- <http://studia.fuw.edu.pl>
- www.consult.topgan.fr.pl