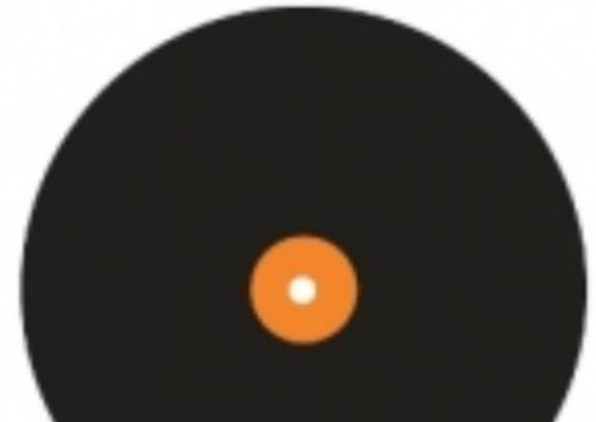
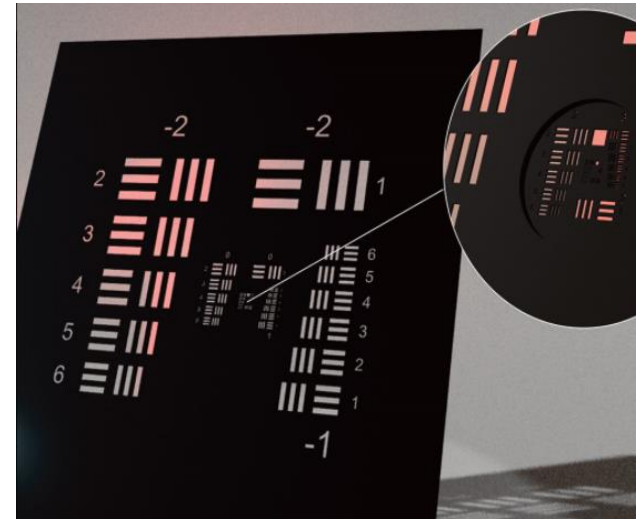
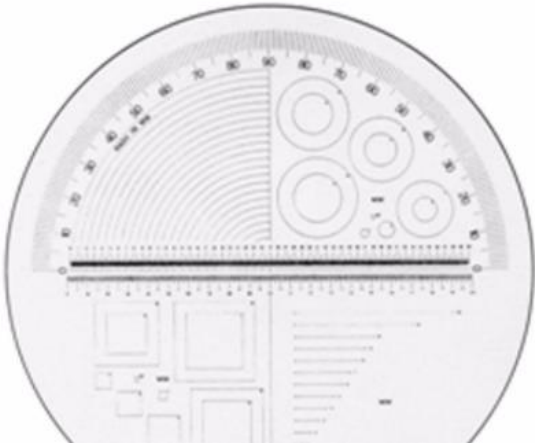
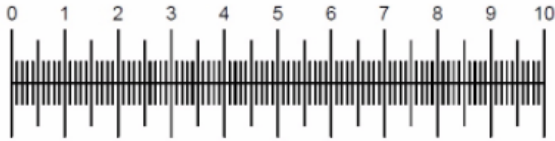


TW6

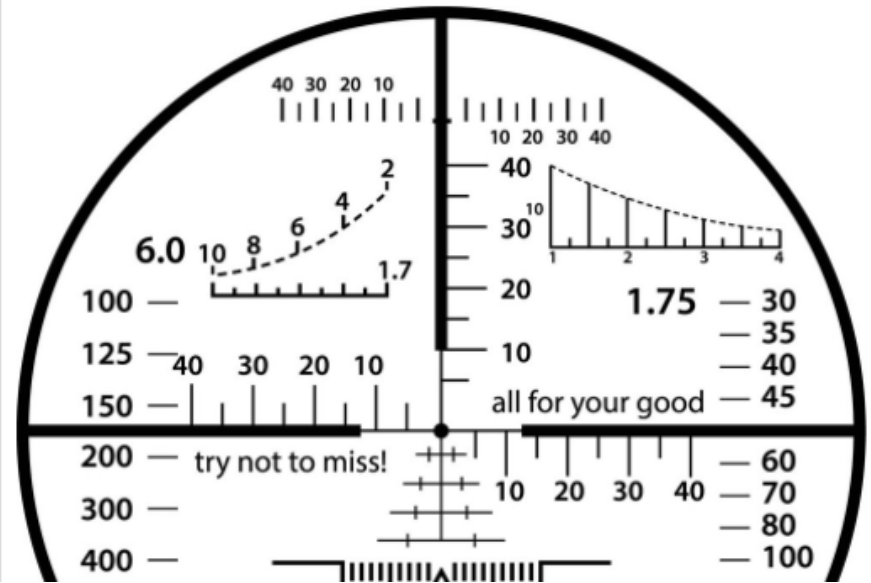
**Wykonywanie podziałek
i znaków na elementach
optycznych
oraz Powlekanie**

W jakim celu stosujemy podziałki i znaki na elementach optycznych?



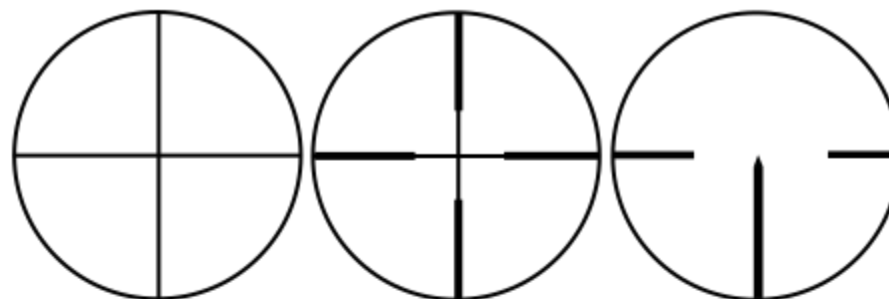
<https://www.pyseroptics.com/graticules/>

W jakim celu stosujemy podziałki i znaki na elementach optycznych?



<https://www.pyseroptics.com/graticules/>

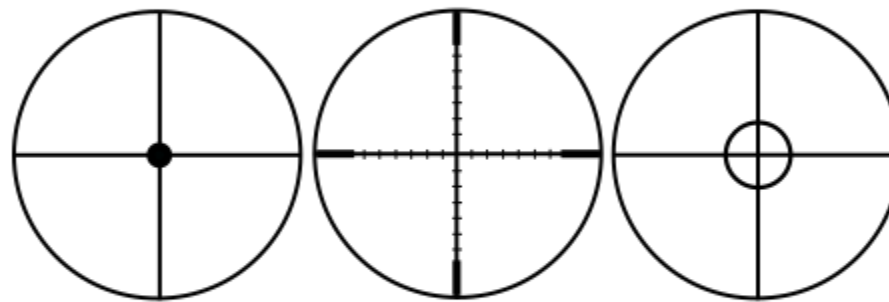
W jakim celu stosujemy podziałki i znaki na elementach optycznych?



Fine crosshair

Duplex crosshair

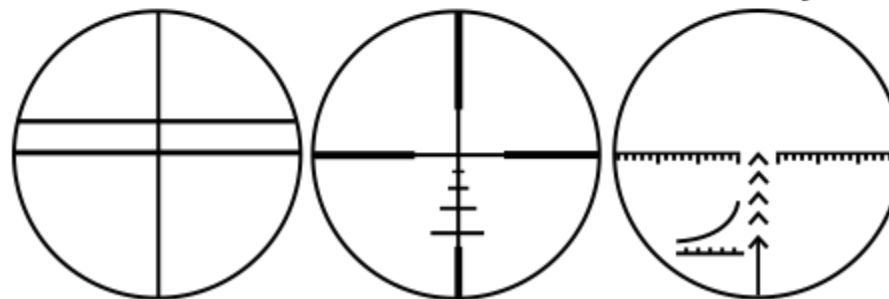
German reticle



Target dot

Mil-dot

Circle
used for shotguns



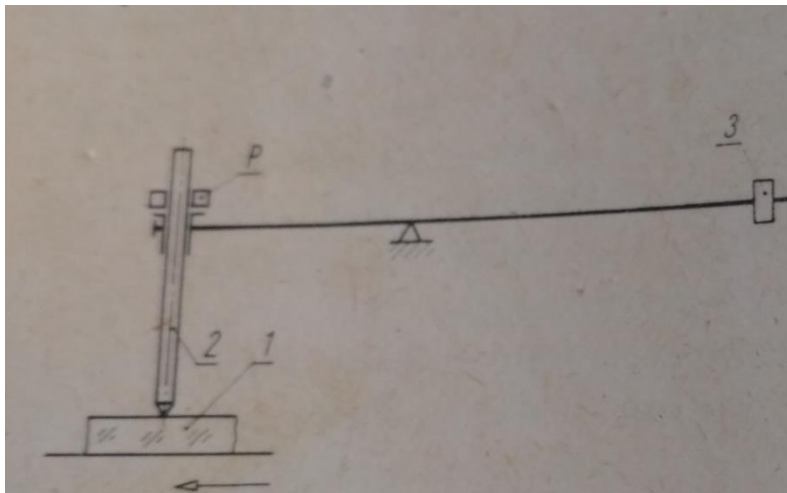
Old
rangefinding

Modern
rangefinding

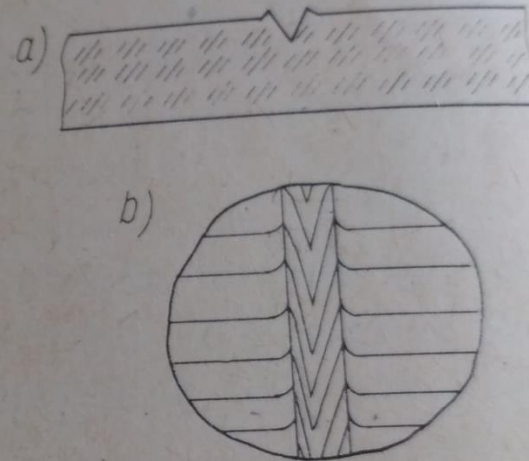
SVD-type

Mechaniczne metody wykonywania siatek i podziałek na szkłe

Do bezpośredniego wykonywania na powierzchni szkła kresek, cyfr lub innych znaków używa się **noży diamentowych**.



Rys. 5.1. Schemat nacinania znaków na szkłe nożem diamentowym



Rys. 5.2. Interferencyjny obraz płytki szklanej z rysą: a) przekrój płytki z rysą, b) obraz interferencyjny rysy

Na powierzchnię szkła 1 opuszcza się nóż diamentowy 2, zrównoważony przeciwcieżarem 3. Wykonuje się rysę, której szerokość i głębokość zależy od kształtu noża i jego obciążenia.

Wykonywanie znaków i cyfr na warstwie ochronnej i trawienie kwasem fluorowodorowym

Stosujemy tą metodę gdy:

- * znaki na szkle o grubości kresek lub linii większej niż 0,01 mm
- * kreski lub znaki mają być wypełnione ciemną nieprzezroczystą farbą dla wzmocnienia kontrastu w świetle przechodzącym
- * konieczne jest wprowadzenie poprawki lub ponowne wykonanie całego rysunku wadliwie wykonanego na drogim elemencie.

Wykonywanie znaków i cyfr na warstwie ochronnej i trawienie kwasem fluorowodorowym

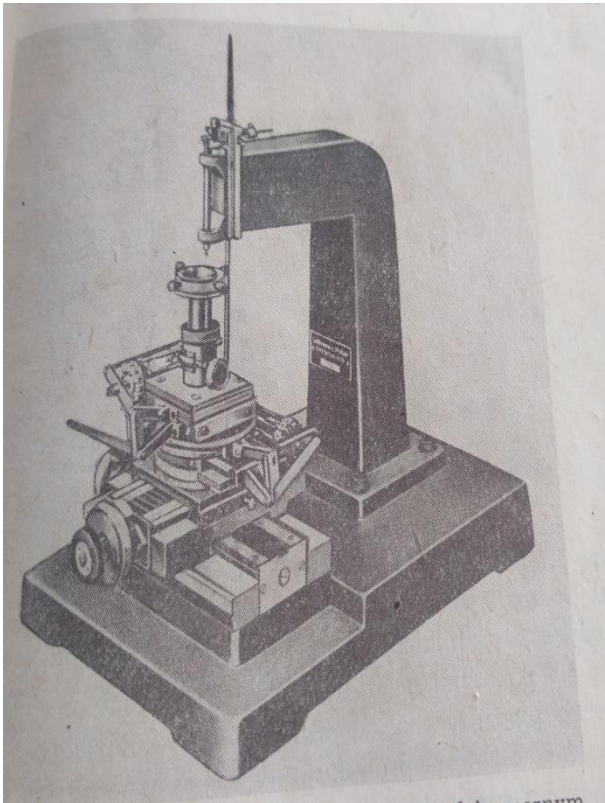
Etapy procesu

- * przygotowanie powierzchni (odtłuszczenie, mycie)
- * nałożenie warstwy ochronnej np.. воск, каляфонія, каучук, парафіна
- * wykonanie rysunku na warstwie ochronnej, tak aby odsłonić powierzchnię szkła
- * zalanie elementu kwasem fluorowodorowym, etap trawienia szkła (praktyka pokazuje, że szkło ulega trawieniu jeżeli zawiera mniej niż 75% SiO₂)
- * płukanie elementu wodą lub neutralizuje w roztworze sody lub odpowiednim rozpuszczalnikiem
- * usunięcie warstwy ochronnej, np. воск przy pomocy gorącej wody
- * wypełnienie wytrawionych miejsc czarną lub białą farbą w celu zwiększenia kontrastu

Maszyny podziałowe

Proces nacinania znaków nożem diamentowym realizuje się na maszynach podziałowych:

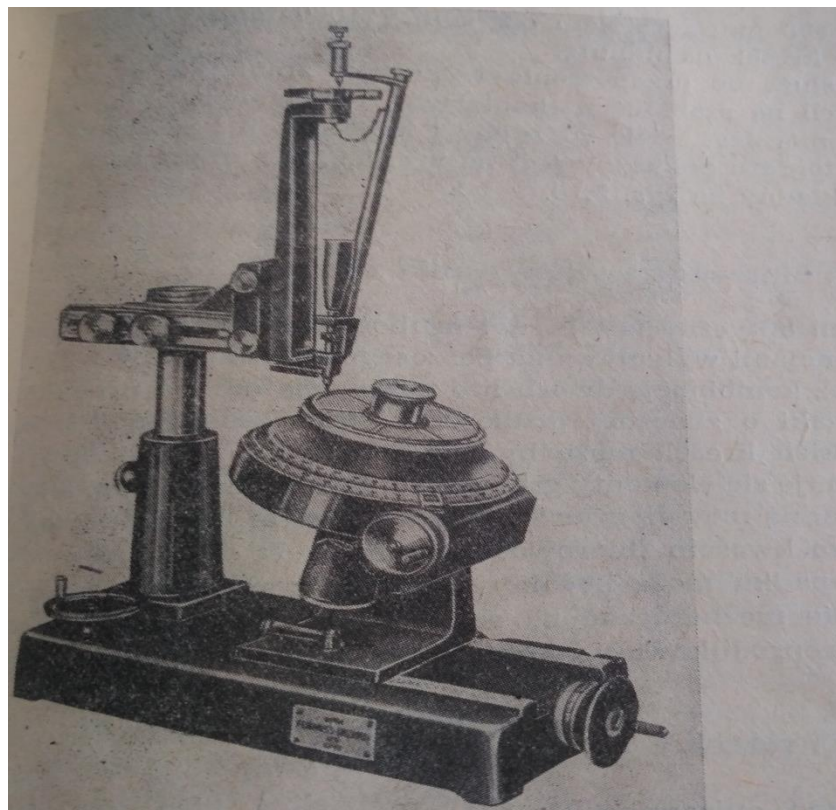
- *liniowe maszyny podziałowe
- *kołowe maszyny podziałowe
- *pantografy



liniowa maszyna
podziałowa

Maszyny podziałowe - pantografy

Pantografy służą do przenoszenia pewnej zmniejszonej skali obrazów, wykonanych na szablonach na elementy przeznaczone do grawerowania.



Pantograf do grawerowania cyfr i znaków

Kontrola jakości wykonanych znaków



Kontroli podlega:

1. jakość wykonanego obrazu → **Mikroskop pomiarowy**

2. czystość tła w polu czynnym elementu optycznego

→ **Lupa z powiększeniem 6x**

3. dokładność wymiarów geometrycznych (wielkość znaków oraz odległości między nimi)

→ **Mikroskop pomiarowy lub komparator Abbego**

Ograniczenie metod mechanicznych produkcji podziałek i znaków ?

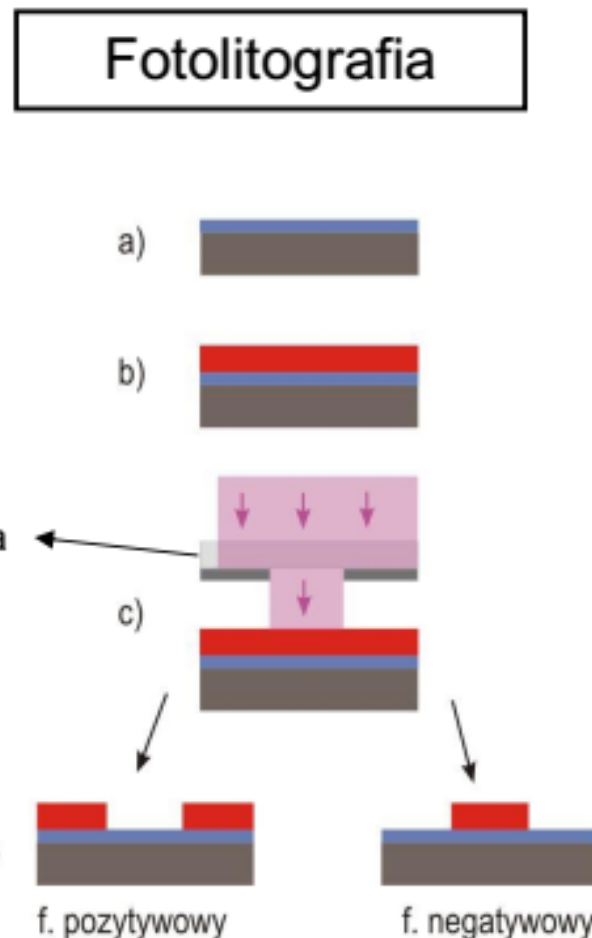
W przypadku bardzo skomplikowanych rysunków, wykonanie ich metodą rysowania jest bardzo czasochłonne lub nawet niemożliwe.

Rozwiązaniem tego problemu jest zastosowanie innych technik odwzorowania kształtu.

Popularną metodą jest **technika fotolitografii**.

Technika fotolitografii

Fotolitografia – proces pochodzący z technologii półprzewodnikowej polegający **na odtworzeniu wzorów fotomasek na podłożu** np. półprzewodnikowym. Celem wykonywania fotolitografii jest uzyskanie pożądanego kształtu powierzchni.



Technika fotolitografii

Proces fotolitografii jest zazwyczaj wieloetapowy i składa się kolejno z:

1. Przygotowania powierzchni (odtłuszczenie i wygrzanie).
2. Nałożenia emulsji światłoczułej (najczęściej polega to na pokryciu całej powierzchni nierównomierną warstwą emulsji, a następnie poprzez odwirowanie następuje wyrównanie grubości emulsji na całej powierzchni płytki).
3. Wygrzewania emulsji (płytkę z nałożoną emulsją wygrzewa się przez pewien czas w suszarce lub na płycie grzewczej).
4. Naświetlenia (do płytki z emulsją przykładana jest fotomaska, przez którą naświetla się promieniowaniem ultrafioletowym emulsję światłoczułą). Jako źródła światła używa się zazwyczaj lampy rtęciowej (linia I – 365 nm), bądź lasera ekscymerowego.
5. Wywołania (w tym etapie następuje usunięcie części emulsji, w przypadku emulsji pozytywowej następuje usunięcie naświetlonej emulsji w przypadku emulsji negatywowej – nienaświetlonej części, producenci emulsji dostarczają zazwyczaj wywoływacze, których pełny skład jest tajemnicą firmy często jednak zawierają one NaOH).
6. Trawienia podłoża lub tworzenia dodatkowych warstw np. metalicznych czy tlenkowych (w miejscach, gdzie nie ma emulsji podłoże zostaje wytrawione lub po
7. Usunięcia pozostałej emulsji z powierzchni płytki.



Technika fotolitografii

1. Przygotowania powierzchni (odtłuszczenie i wygrzanie)

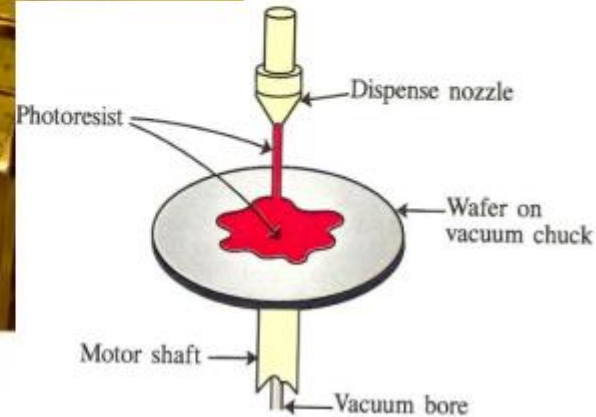


Technika fotolitografii

2. Nałożenia emulsji światłoczułej oraz jej rozwirowanie



Manual coater from SUSS MicroTec, RC-8



Wirówka do rozwirowania fotorezystu



Technika fotolitografii



4. Naświetlenia (do płytki z emulsją przykładana jest fotomaska, przez którą naświetla się promieniowaniem ultrafioletowym emulsję światłoczułą). Jako źródła światła używa się zazwyczaj lampy rtęciowej (linia I – 365 nm), bądź lasera ekscymerowego.



Światło UV i wysokiej jakości układ optyczny
Precyzyjna mechanika do ruchów ustawczych

**Cienkie powłoki
na elementach optycznych**

Przykładowe pytania – Powlekanie

Wadą technologii PVD nanoszenia powłok jest

- prostota procesu technologicznego.
- znaczna szybkość ich osadzania.
- konieczność stosowania wysokiej próżni.
- znaczna jednorodność otrzymywanych warstw.

Cechą charakterystyczną powłok antyrefleksyjnych jest to, że

- absorbują wybrany zakres promieniowania.
- zmniejszają odbicie światła.
- redukują transmisję ciepła.
- redukują przywieranie substancji oleistych.

Czym charakteryzują się powłoki elektrochromowe?

- Polaryzacją wiązek promieni świetlnych.
- Zmiennością transmisji warstwy pod wpływem przyłożonego napięcia.
- Przepuszczalnością tylko wybranych długości fal.
- Własnościami elektrostatycznymi.

Przykładowe pytania – Powlekanie

Powłokę polaryzacyjną oznacza się symbolem graficznym przedstawionym na rysunku



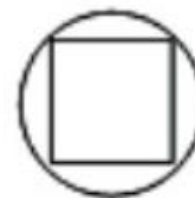
A.



B.



C.



D.

kwalfikacjewzawodzie.pl

Do technik wytwarzania powłok na szkle **nie zalicza się**

- techniki CVD.
- techniki PVD.
- rozpylania magnetronowego.
- synteryzacji.

Do wad technologii nanoszenia powłok metodą rozpylania zalicza się

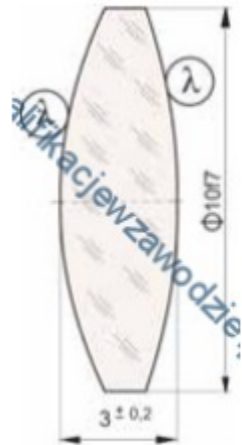
- brak możliwości dokładnego kontrolowania grubości warstwy.
- niską jednorodność otrzymywanych warstw.
- kosztowną aparaturę do napyłania.
- brak możliwości otrzymywania warstw z metali trudnotopliwych.

Przykładowe pytania – Powlekanie

Ile wynosi grubość powłoki antyrefleksyjnej?

- $2,00 \lambda$
- $0,25 \lambda$
- $0,50 \lambda$
- $1,00 \lambda$

Na przedstawionym rysunku soczewki dwuwypukłej symbol λ oznacza powłokę



- lustrzaną zewnętrzną.
- rozjaśniającą.
- lustrzaną wewnętrzną.
- utwardzającą.

Przedstawiony symbol graficzny



jest oznaczeniem powłoki

- rozjaśniającej.
- utwardzającej.
- lustrzanej zewnętrznej.
- lustrzanej wewnętrznej.

Przykładowe pytania – Powlekanie

Na rysunkach elementów optycznych, przedstawiony symbol graficzny jest oznaczeniem powłoki



- rozjaśniającej.
- światłodzieliącej.
- odbijającą.
- przeciwoodblaskowej.

Który przyrząd należy zastosować do bezpośredniego pomiaru przepuszczalności szkła optycznego?

- Fotometr.
- Luksomierz.
- Woltomierz.
- Bolometr.

Który filtr należy dobrać w projektorach LCD do selektywnego przepuszczania światła w danym zakresie widma?

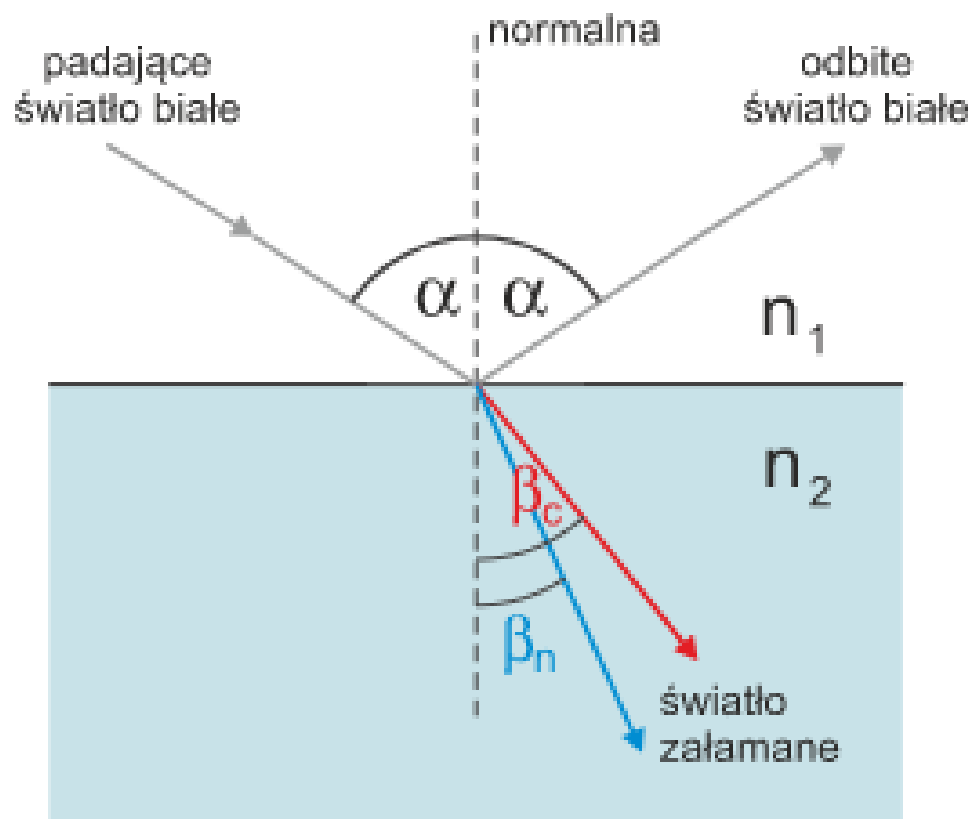
- Dopasowany.
- Amplitudowy.
- Dichroiczny.
- Polaryzacyjny.

Dwa slajdy powtórzenia podstaw optyki:

1. Prawo załamania i odbicia światła na granicy 2
ośrodków

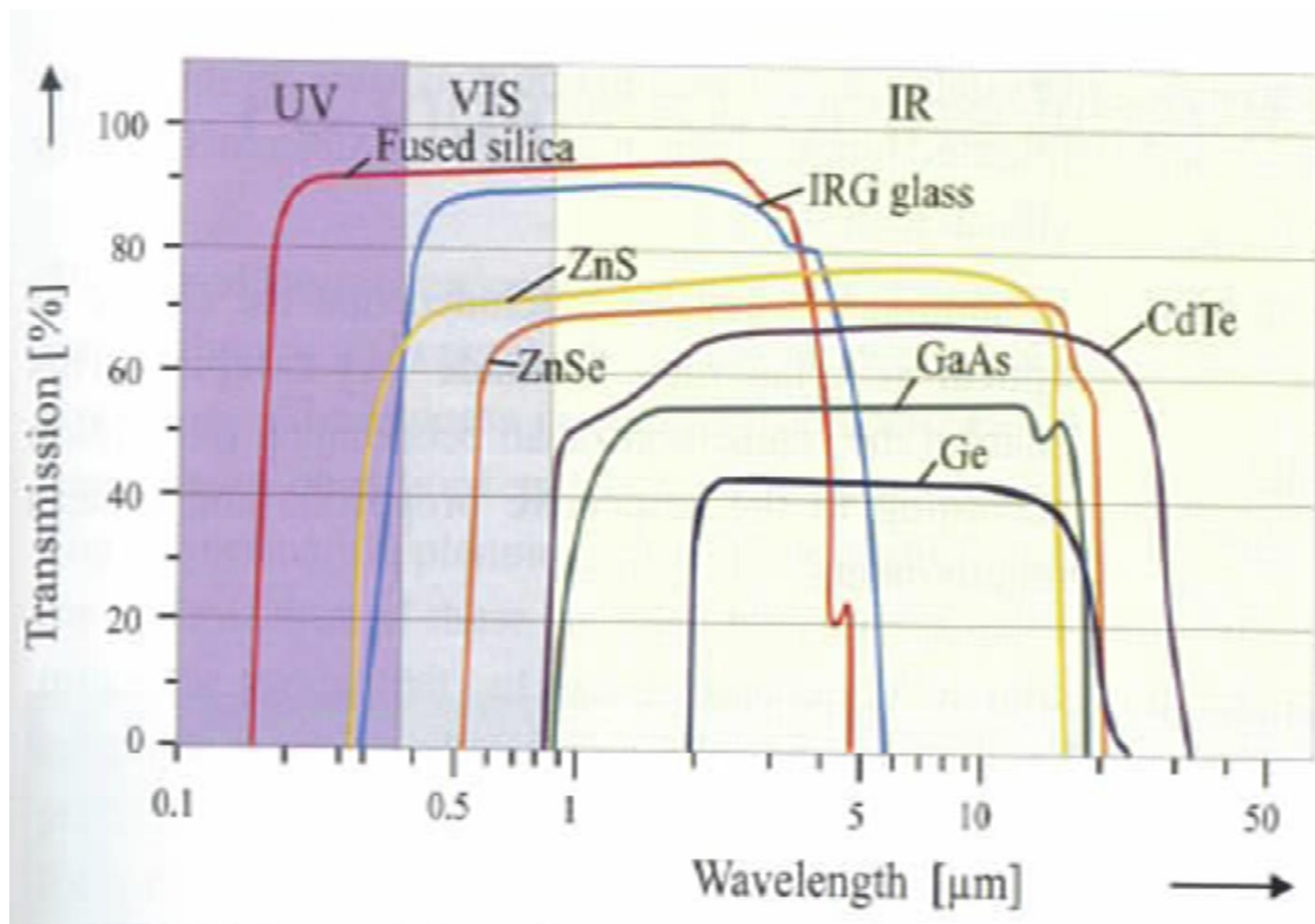
2. Transmisja optyczna

Załamanie i odbicie światła na granicy 2 ośrodków



Rysunek 1: Odbicie i załamanie światła białego na granicy dwóch ośrodków ($n_2 > n_1$)

Transmisja promieniowania



Po wyprodukowaniu elementów optycznych (soczewki, pryzmaty, płytki) najczęściej poddaje się je procesowi **powlekania**. Powlekanie polega na nakładanie cienkich warstw na elementy optyczne.

Dlaczego nakładamy cienkie warstwy na elementy optyczne?

Dlaczego nakładamy cienkie warstwy na elementy optyczne?

1. Problem spadku transmisji dla układów optycznych

Przykładowo badania fotometryczne dla danego peryskopu wykazały, że przepuszcza on tylko 12% światła wchodzącego do układu optycznego.

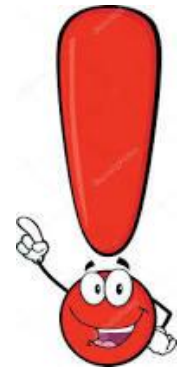
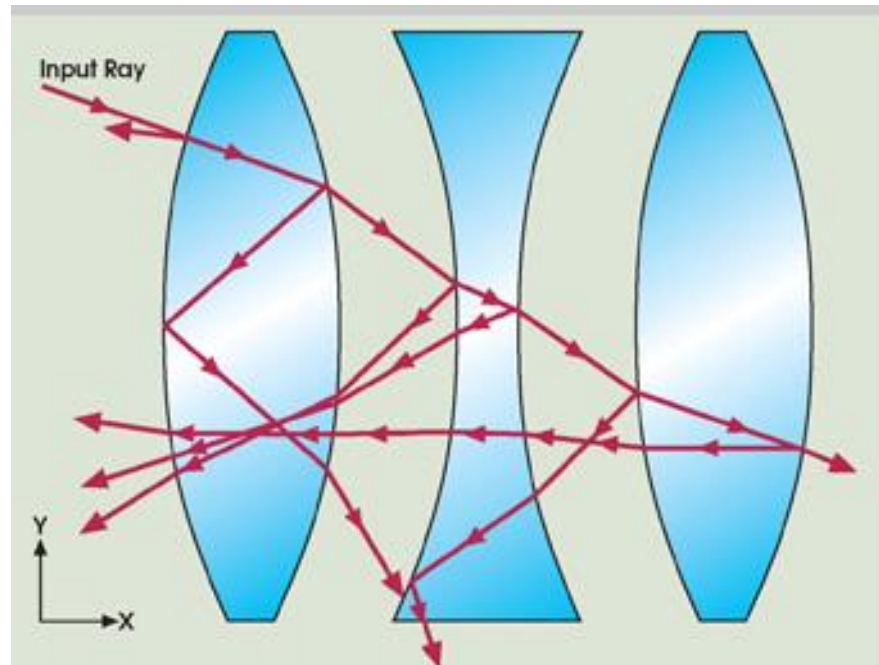
Około 10% światła zostaje pochłonięte przez warstwę szkła.

Reszta około 78% odbija się od poszczególnych elementów optycznych i jest tracona.

Tak duże straty światła obniżają jakość przyrządu zwłaszcza w warunkach słabego oświetlenia.

Dlaczego nakładamy cienkie warstwy na elementy optyczne?

2. Problem wiązki światła odbity wielokrotnie (tzw. ghost image)



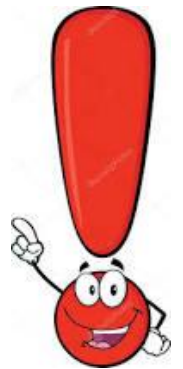
Wielokrotne odbicia mogą nałożyć się na obraz tworząc plamy światła. Konsekwencją jest spadek kontrastu jakości otrzymanego obrazu. **Rozwiązaniem jest Powłoka Rozjaśniająca (antyrefleksyjna)**

Podział powłok w zależności od przeznaczenia zgodnie z normą BN-76/ 5514-02

W zakresie cienkich warstw (powłok) obowiązuje norma branżowa BN-76/ 5514-02

Tabela 1

Rodzaje powłok	Nazwa w skrócie	Umowne oznaczenie graficzne
Powłoki odbijające	Lustrzana	
zewewnętrzne		
wewnętrzne		
Powłoki światłodzielące	Światłodzieląca	
Powłoki rozjaśniające (przeciwodblaskowe)	Rozjaśniająca	
Powłoki — filtry	Filtr	
Powłoki ochronne przezroczyste	Ochronna	
Powłoki przewodzące prąd (ogrzewające itp.)	Przewodząca prąd lub ogrzewająca	
Powłoki polaryzujące	Polaryzująca	



Powłoka antyrefleksyjna – próba zredukowania powyższych problemów.

Rodzajów powłok jest znacznie więcej w zależności od oczekiwanych rezultatów:

- * powłoka zwierciadlana, lustrzana, odbijająca
 - * powłoka światłodzieląca
 - * powłoki typu „color filter”
 - * powłoka polaryzacyjna
 - * filtry dichroiczne
 - * powłoka przewodząca prąd
 - * filtr monochromatyczny



Podstawy powłok optycznych

W zależności od funkcjonalności powłoki stosujemy różne materiały.

1. Powłoka metaliczna

2. Powłoka dielektryczna

Cienka powłoka składa się przynajmniej z jednej warstwy materiału, częściej z kilku różnych (patrz poniżej)

Coating Material	Refractive Index at $\lambda = 589.29 \text{ nm}$
Magnesium fluoride (MgF_2)	1.38
Silicon dioxide (SiO_2)	1.46
Aluminum oxide (Al_2O_3)	1.76
Zirconium dioxide (ZrO_2)	2.18
Zinc sulfide (ZnS)	2.37
Titanium dioxide (TiO_2)	2.52

Typowe
materiały
stosowane na
powłoki

Tabela 2

Material	Oznaczenia
Inkonel	
Fosforan amonowy (jednozasadowy)	
Chromian i dwuchromian potasowy	
Kryolit	
Fluorek magnezowy	
Azotan srebra	
Chlorek cynowy	
Trójsiarczek antymonu	
Siarczek cynkowy	
Tlenek krzemowy	31
Fluorek cezu	33
Fluorek lantanu	36
Fluorek ołowiowy	37
Fluorek glinowy	39
Etylowy ester kwasu ortokrzemowego	43
Etylowy ester kwasu ortotytanowego	44
Dwutlenek ceru	50
Dwutlenek tytanu	51
Dwutlenek krzemu	52
Dwutlenek lantanu	53
Dwutlenek cyrkonu	54
Tlenek magnezowy	55
Trójtlenek antymonu	56
Trójtlenek glinu	57
Kwas azotowy	61
Kwas solny	62
Kwas octowy	63
Lakier bakelitowy z wypełniaczem (proszek glinowy, mika)	72
Emalia nitro czarna	80
Lakier asfaltowy czarny	81
Emalia silikonowa aluminiowa	82

Material	Oznaczenia
Glin	1
Złoto	2
Miedź	3
Srebro	8
Chrom	9
Tytan	15

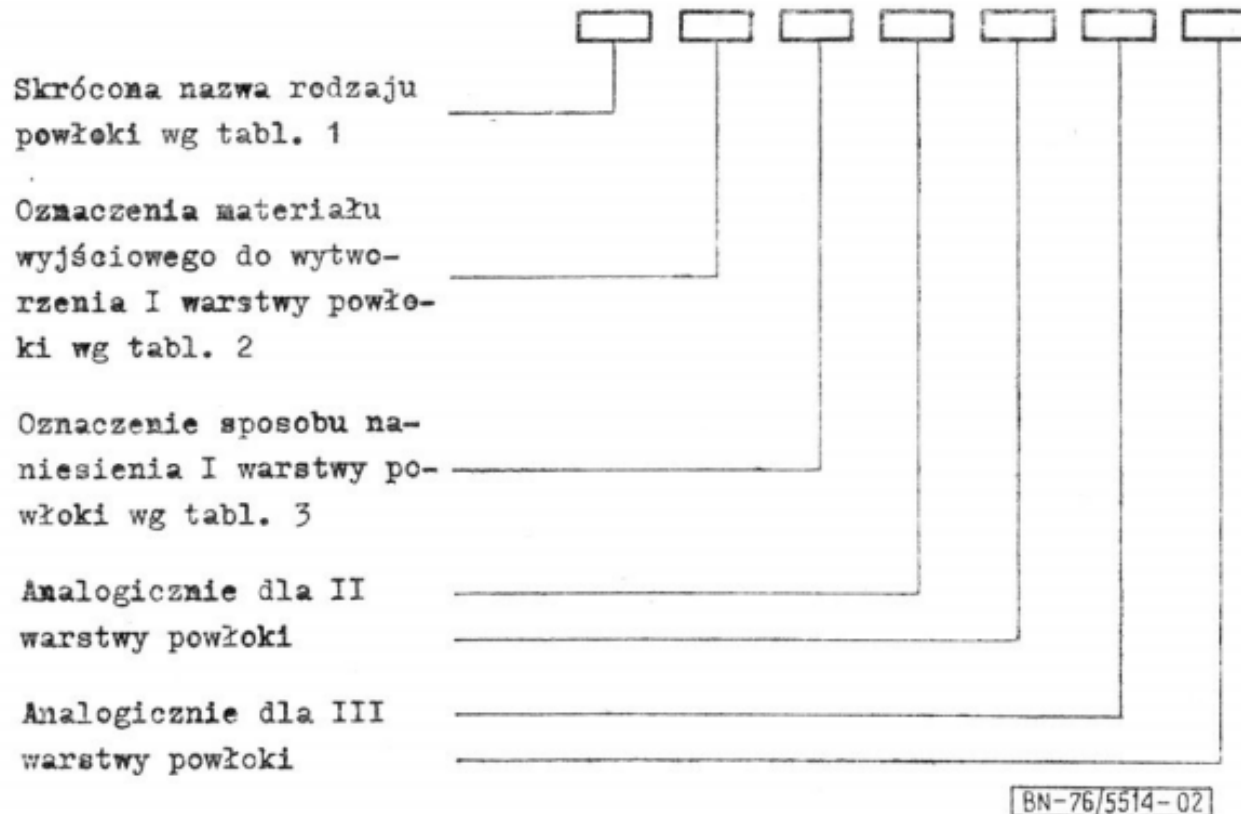


Sposoby nanoszenia warstw

Sposób nanoszenia warstw	Oznaczenie
Termiczne wyparowanie w próżni	J
Wiązką elektronów w próżni	D
Katodowo	K
Z roztworu	R
Trawieniem	T
Elektrolitycznie	E
Pędzlem	P
Natryskiwaniem	N

Tabela 3

Sposób oznaczeni powłok wg. BN-76/ 5514-02



2.6.1. Powłoka odbijająca wykonana przez srebrzenie wewnętrzne z roztworu z ochronnym elektrolitycznym miedziowaniem oraz lakierowaniem bakielitowym — pędzlem:

LUSTRZANA 25R3E72P BN-76/5514-02

Sposób oznaczeni powłok wg. BN-76/ 5514-02

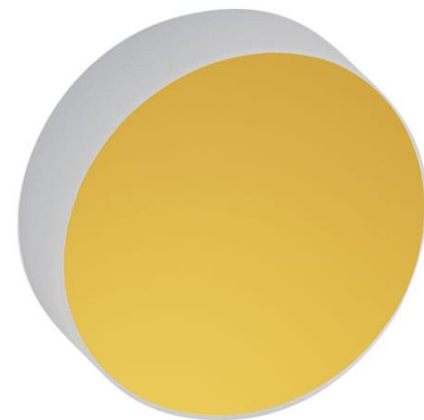
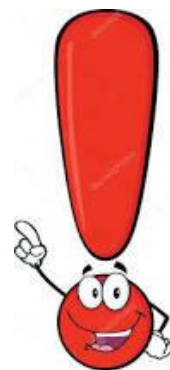
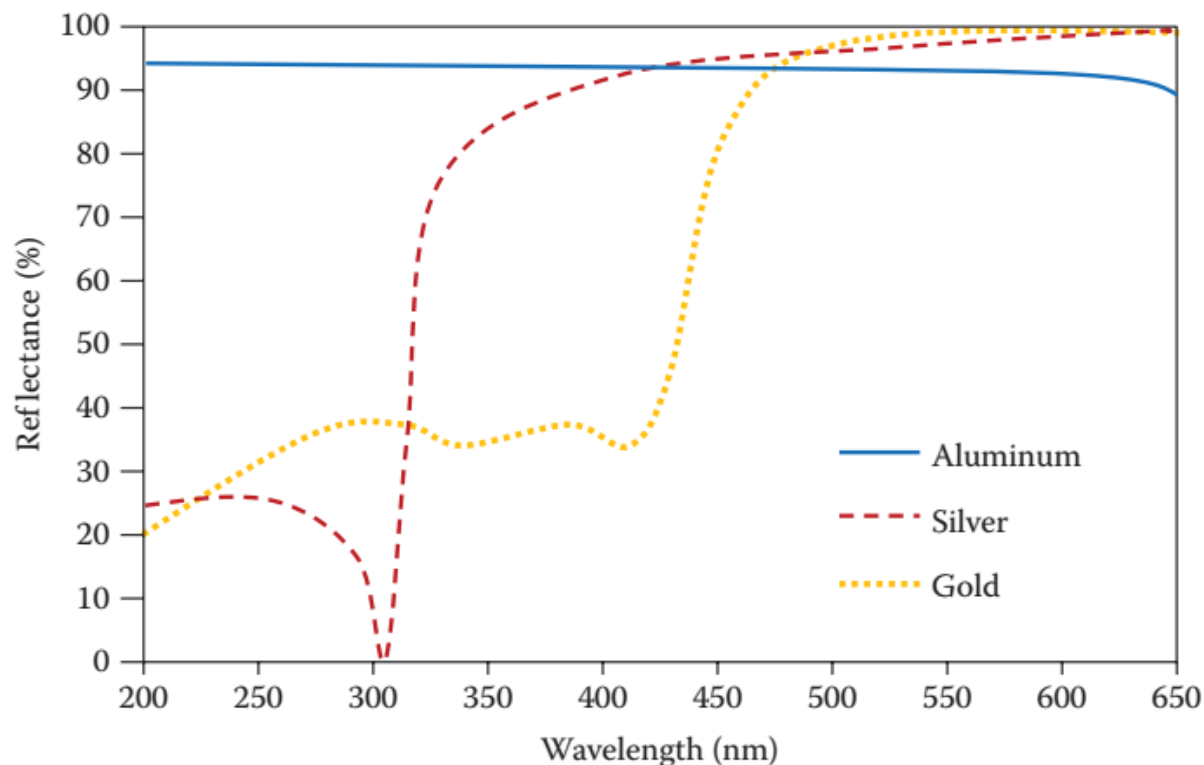
2.6.2. Powłoka wielowarstwowa światłodziela
wykonana z nieparzystej liczby warstw siarczku
cynkowego oraz fluorku magnezowego termicznie
wyparowanych w próżni:
oznaczenie pełne

ŚWIATŁODZIELĄCA 29J24J29J24J29J BN-76/5514-02

Powłoki odbijające (Reflective coatings)

Powłoki tego typu są realizowane poprzez nakładanie cienkiej warstwy metalu (metalizacja) na powierzchni substratu lub powłoka dielektryczna.

Typowo na lustra stosuje się powłoki z Aluminium, Srebra (Silver), Złota (Gold).

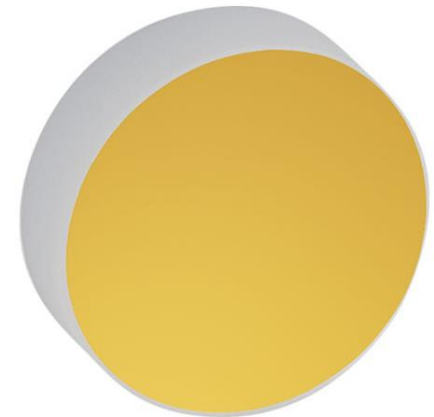


Powłoki odbijające (lustrzane)(Reflective coatings)

Powłoki lustrzane nakłada się na front substratu (np. szkła) – powłoka lustrzana zewnętrzna
lub na jego tył. - powłoka lustrzana wewnętrzna.

W przypadku powłoki lustrzanej zewnętrznej zwykle stosuje się powłokę zabezpieczającą w postaci SiO_2 (dwutlenku krzemu). Sama powłoka metaliczna ma bardzo dużą wrażliwość na ścieranie.

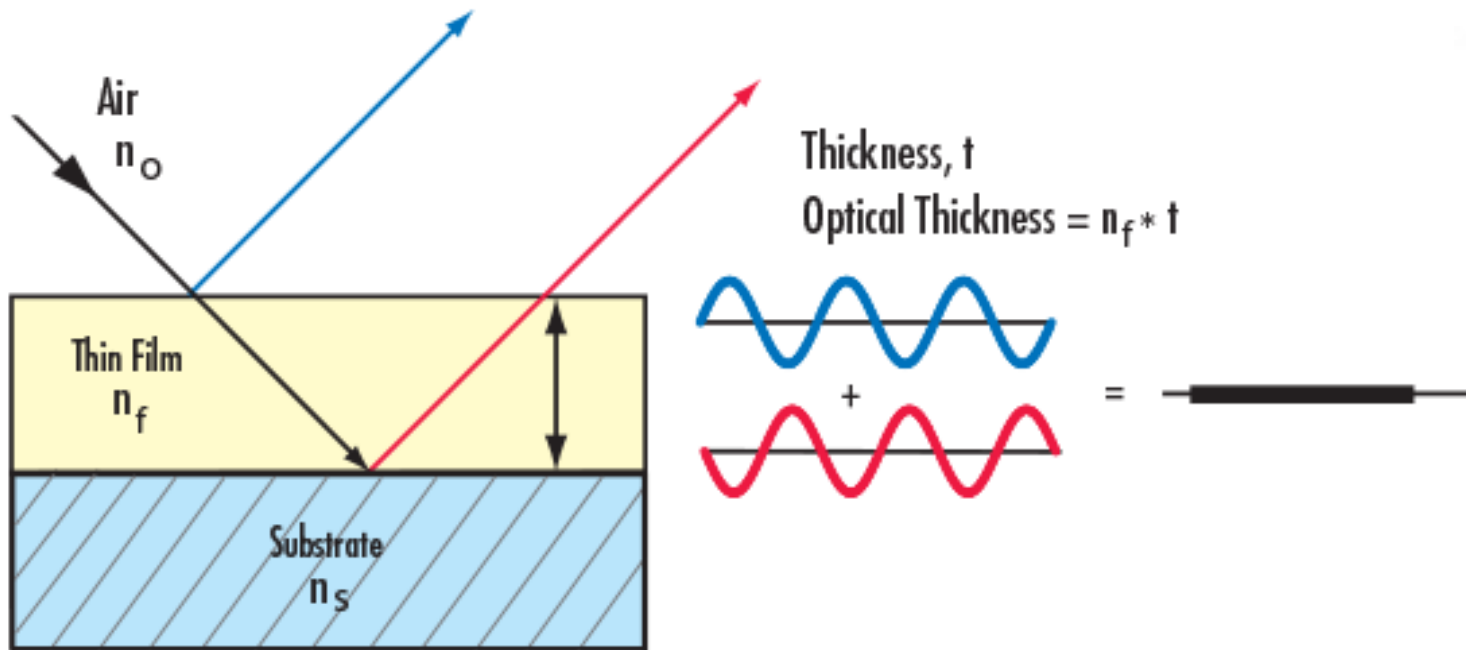
Rodzaje powłok	Nazwa w skrócie	Umowne oznaczenie graficzne
Powłoki odbijające zewnętrzne	Lustrzana	
wewnętrzne		



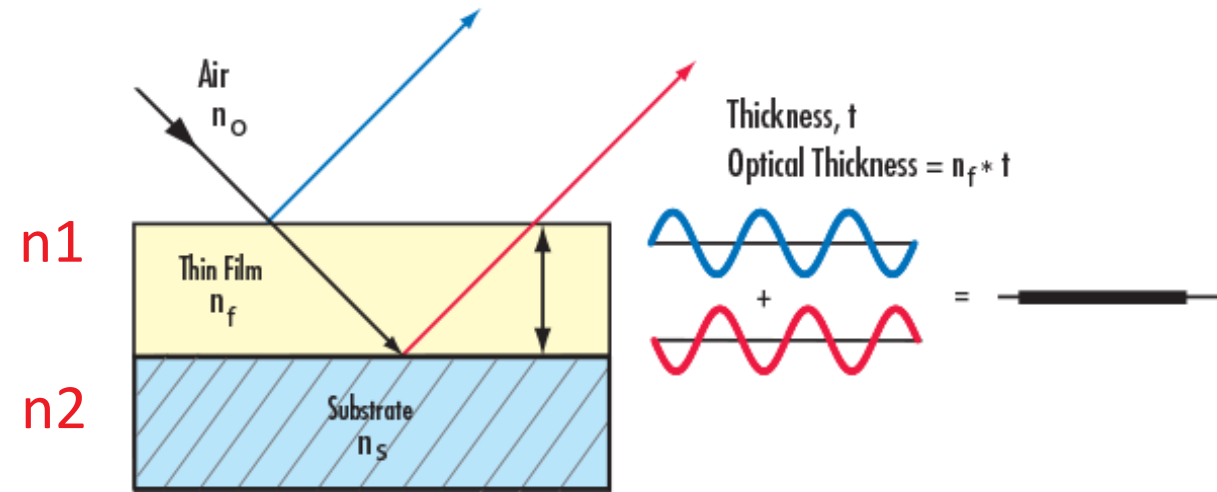
Zasada działania cienkich powłoki antyrefleksyjnej (antyodblaskowej) (rozjaśniająca) nazywa również powłoką AR

Przykład 1

Nałożenie cienkiej powłoki $\lambda/4$ z materiału MgF₂ (fluorek magnezu) na płytkę wykonaną ze szkła BK7. $\lambda = 550 \text{ nm}$



Zasada działania cienkich powłoki antyrefleksyjnej



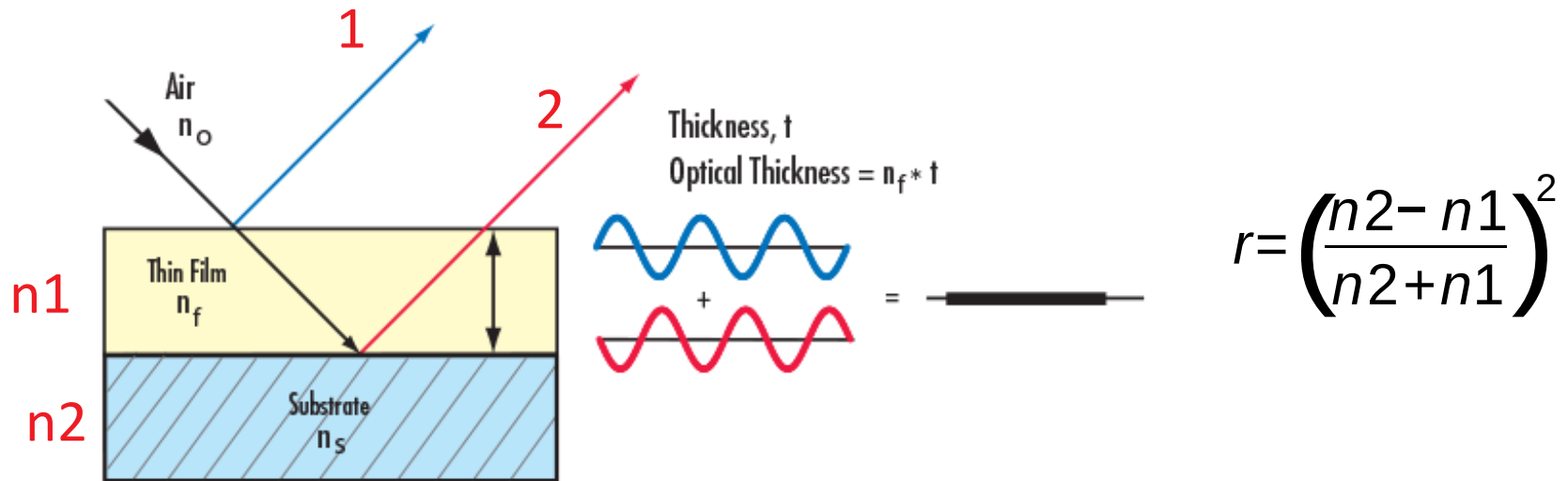
Zgodnie z prawem załamania i odbicia światła na granicy dwóch ośrodków część promieni odbija się (dla szkła optycznego około 4 – 7%), reszta załamuje się przechodząc do drugiego ośrodka.

$$r = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2$$

r – współczynnik odbicia

n_1, n_2 – współczynniki załamania pierwszego i drugiego ośrodka

Zasada działania cienkich powłoki antyrefleksyjnej



Aby zmniejszyć ten współczynnik powierzchni szkła powleka się cieką warstwą o współczynniku załamania n_1 mniejszym niż współczynnik załamania szkła n_2

Dobierając współczynnik załamania powłoki n_1 , tak aby intensywność promieni 1 oraz 2 była jednakowa, grubość powłoki, tak aby różnica dróg tych promieni wynosiła $\lambda/2$, można doprowadzić do wygaszenia tych promieni (zjawisko interferencji). Wtedy energia światła odbitego będzie równa 0.

Zasada działania cienkich powłoki antyrefleksyjnej

Grubość warstwy powłoki dla której nastąpi wygaszenie oblicza się ze wzoru:

$$d = \frac{2k+1}{4} * \lambda$$

d = grubość powłoki

$k=0,1,2,3,....$

λ – długość fali światła

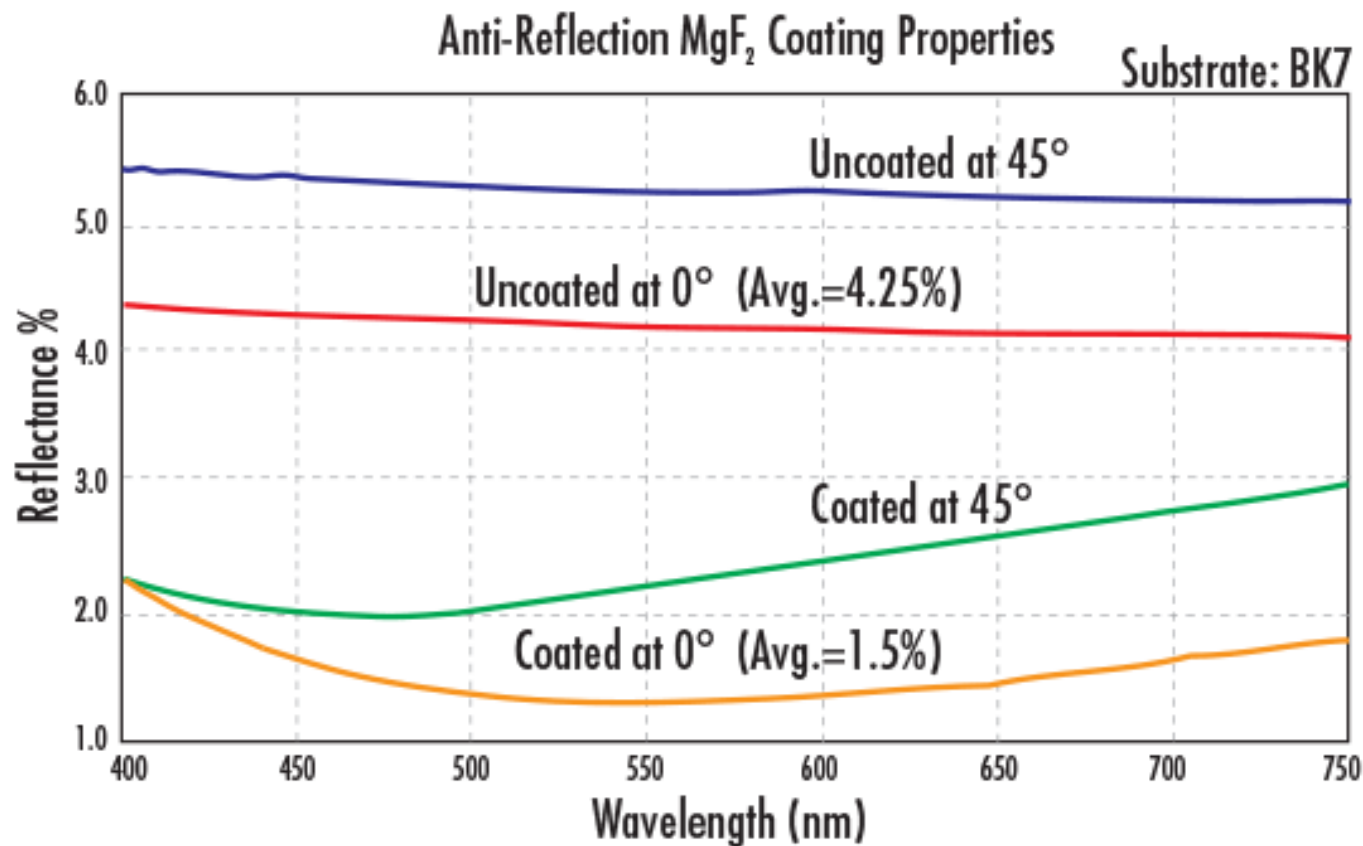
Przykład 2

Obliczenie grubości powłoki antyrefleksyjnej dla światła widzialnego.

Dla światła widzialnego wyliczamy wygaszenie promienie dla barwy żółtozielonej $\lambda=556\text{nm}$, czyli

$$d = \lambda/4 = 556 \text{ nm}/4 = 139 \text{ nm}$$

Dlatego barwa światła odbitego od powłoki będzie purpurowofioletowa. Najmniejsze odchyłki od grubości powłoki powodują zmianę jej barwy.



Porównanie odbicia światła na płycie szklanej wykonanej z BK7. Kolor niebieski – brak powłoki, test pod kątem 45° ; kolor czerwony – brak powłoki, test pod kątem 0° ; kolor zielony – powłoka antyrefleksyjna MgF_2 , test pod kątem 45° kolor pomarańczowy - powłoka antyrefleksyjna MgF_2 , test pod kątem 0°

Filtry interferencyjne

typowe Zastosowania:

systemy laserowe, teleskopy, mikroskopia optyczna, interferometria, obrazowanie, kolorymetria oraz spektroskopia fluorescencyjna i inne (okulary, Fotografia)

Istnieje wiele różnych rodzajów filtrów interferencyjnych:

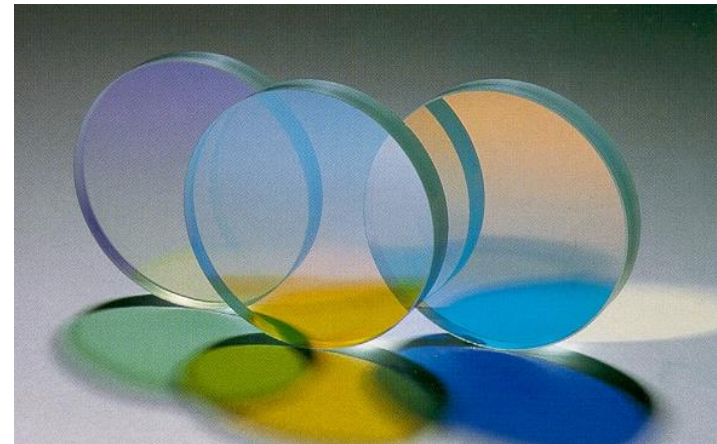
- * filtry dichroiczne
- * filtry monochromatyczne
- * polaryzatory
- * filtry typu „notch filter”
- *elementy światłodziące
- *zimne lustra
- * filtry UV
- * filtry polaryzacyjne



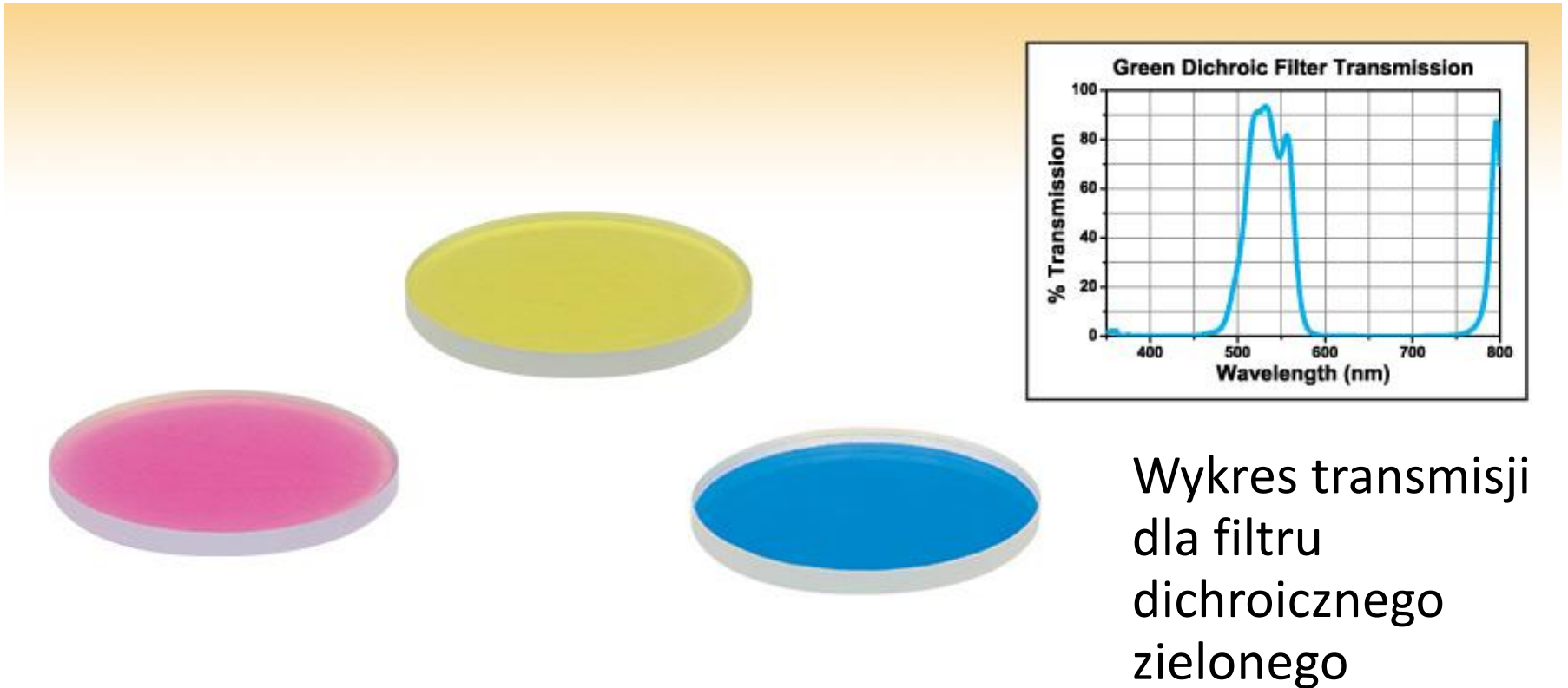
Filtr dichroiczny/zwierciadło dichroiczne

- selektywne przepuszczanie światła w danym zakresie widma a odbijania w każdym innym zakresie np. odbija barwę zieloną, natomiast przepuszcza pozostałe spektrum
- dużo lepsze właściwości selekcyjne niż filtry konwencjonalne
- Mniejsza absorpcja światła filtrowanego, co oznacza mniejsze nagrzewanie się
- Wady (Droższe niż filtry konwencjonalne,
Szkło jako materiał podstawowy jest bardziej wrażliwe na uszkodzenia mechaniczne, Cięższe w obróbce i pracy niż lżejsze plastikowe odpowiedniki)
- dzielniki wiązki (mikroskopia fluorescencyjna)
- projektory LCD
- lasery

https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=986



Filtr dichroiczny/zwierciadło dichroiczne

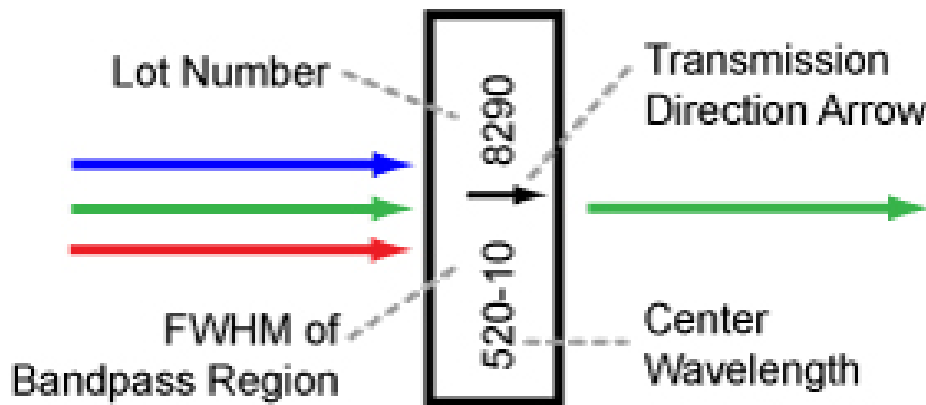


Wykres transmisji
dla filtru
dichroicznego
zielonego

https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=986

Filtry monochromatyczne

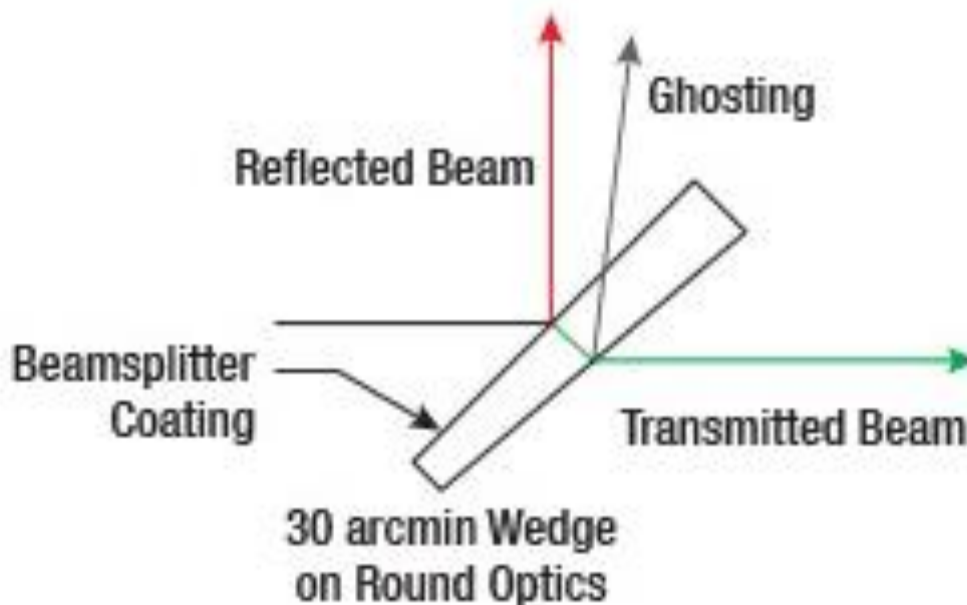
Takie filtry gwarantują dużą transmisję dla wybranego pasma spektralnego (barwy), natomiast pozostałą część spektrum nie przepuszczają.



Elementy światłodzielące

Elementy światłodzielące część światła odbijają, natomiast część jest transmitowana.

Procentowa ilość światła transmitowana do odbitej zależy od zaprojektowanej cienkiej warstwy

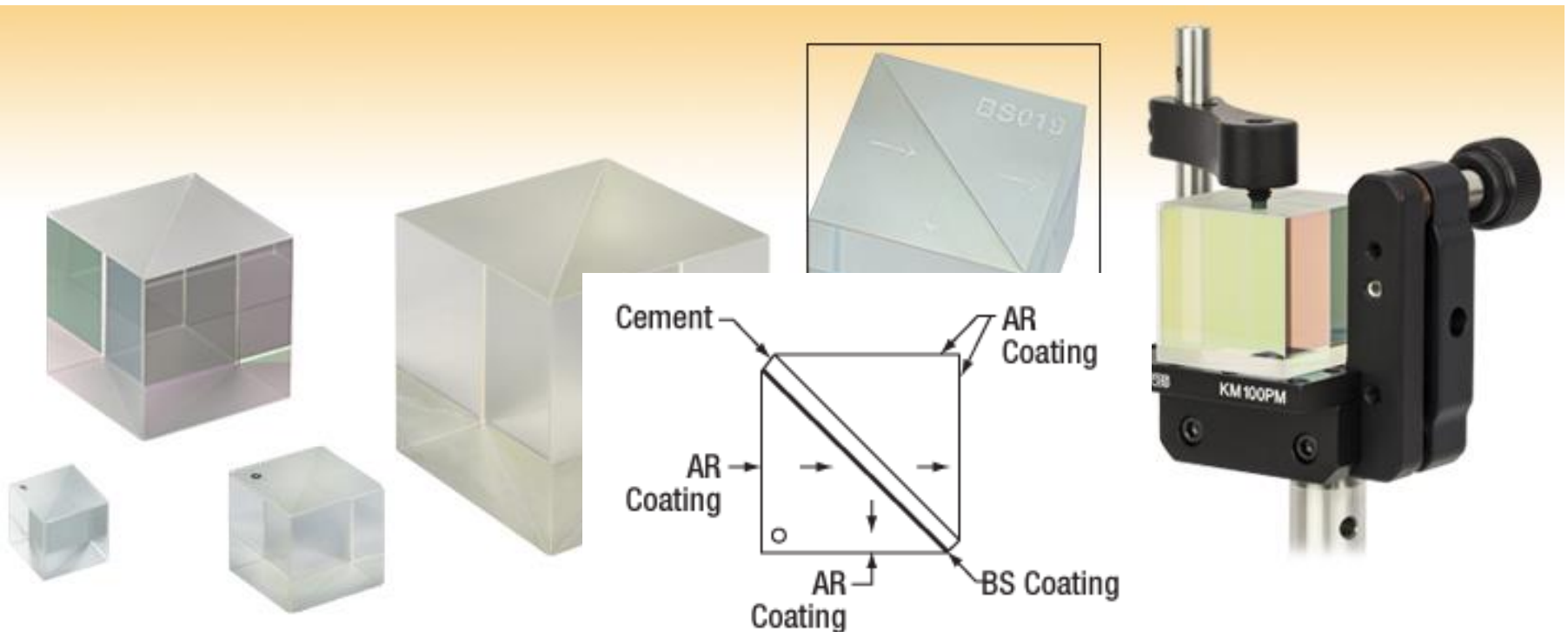


https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=4807

Elementy światłodzielące - kostka światłodzieląca

Elementy światłodzielące część światła odbijają, natomiast część jest transmitowana.

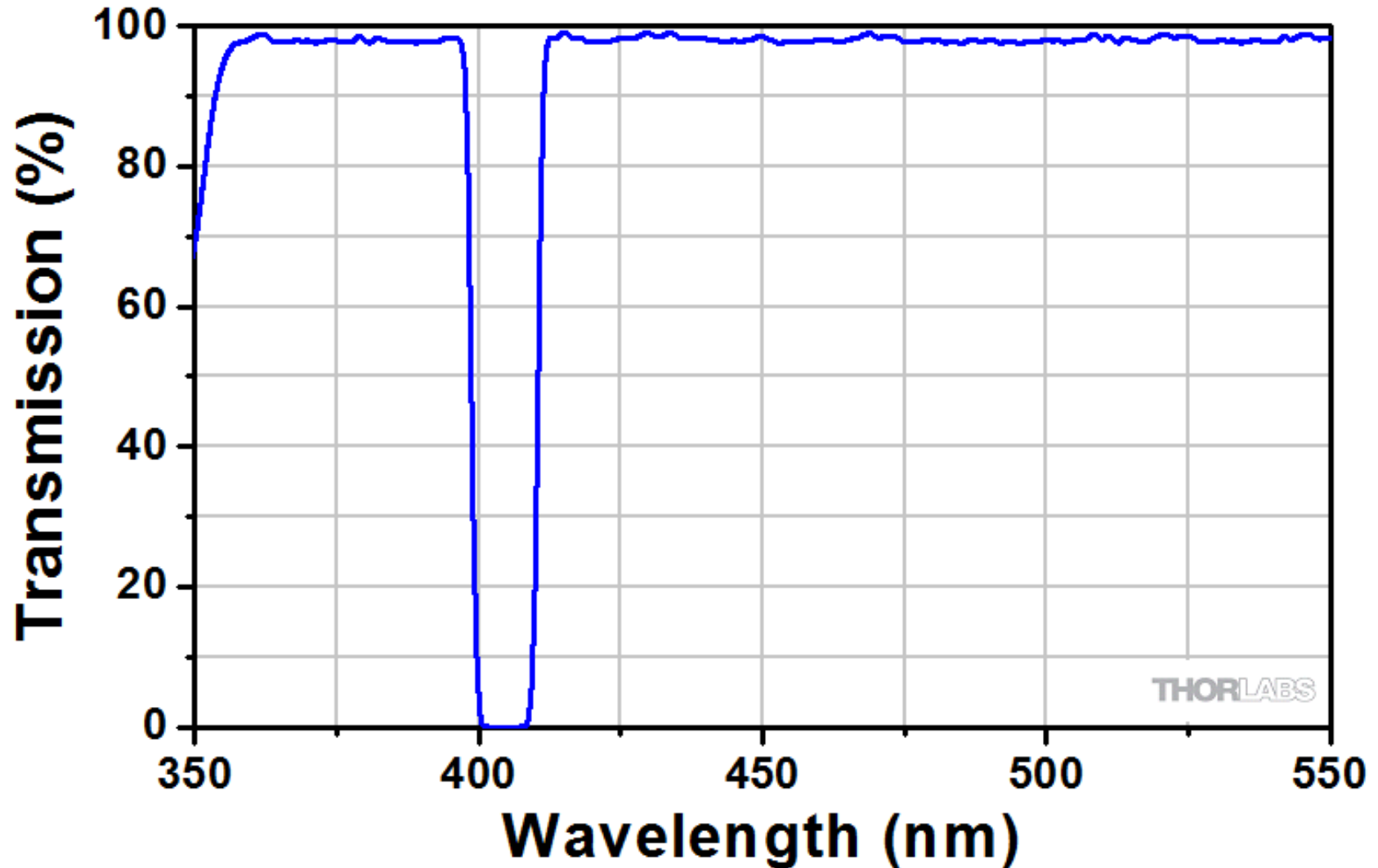
Procentowa ilość światła transmitowana do odbitej zależy od zaprojektowanej cienkiej warstwy



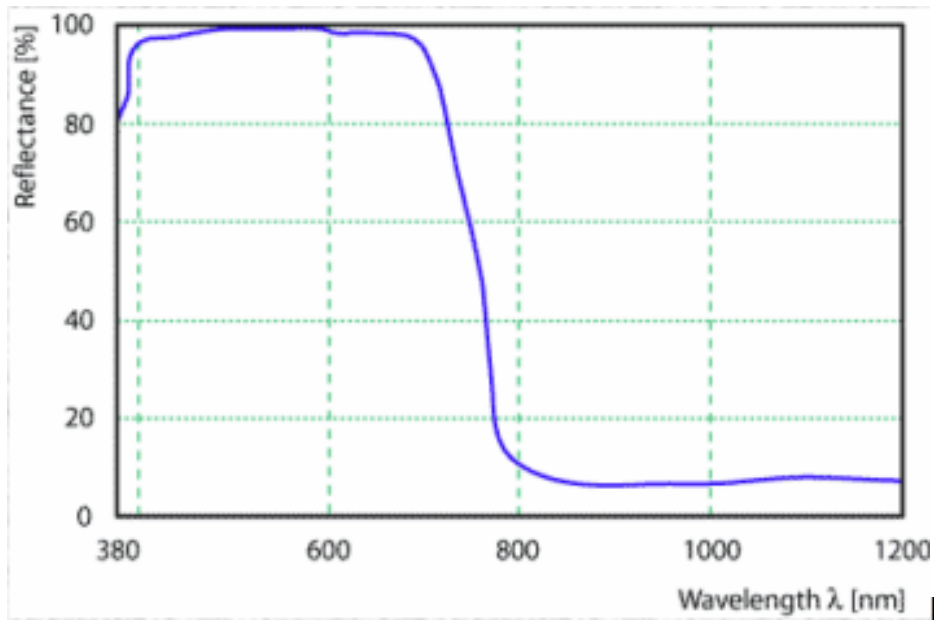
Filtru typu „notch filter”

Filtry blokujące konkretne promieniowanie

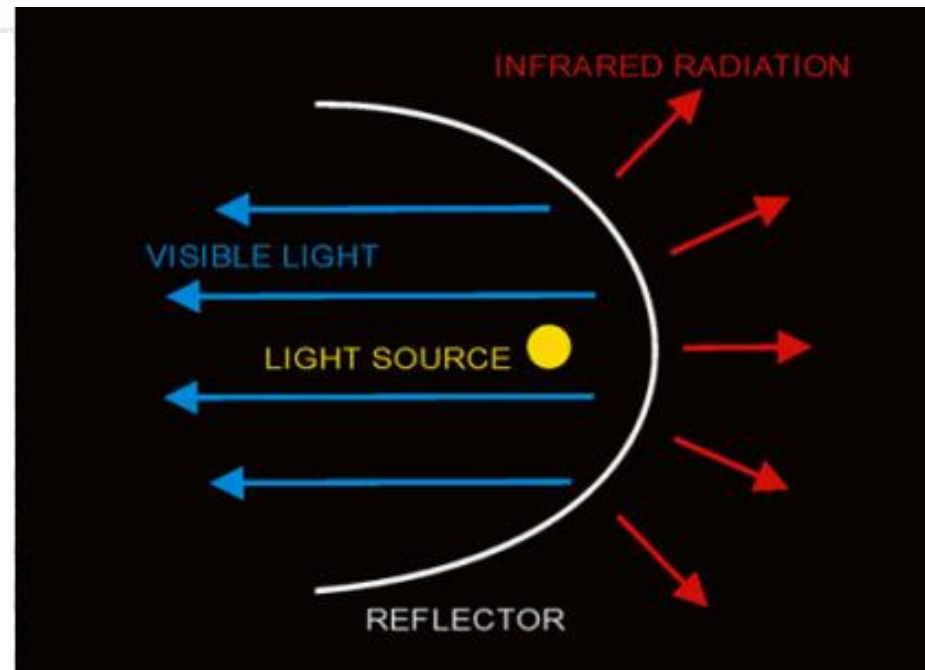
NF405-13 Transmission



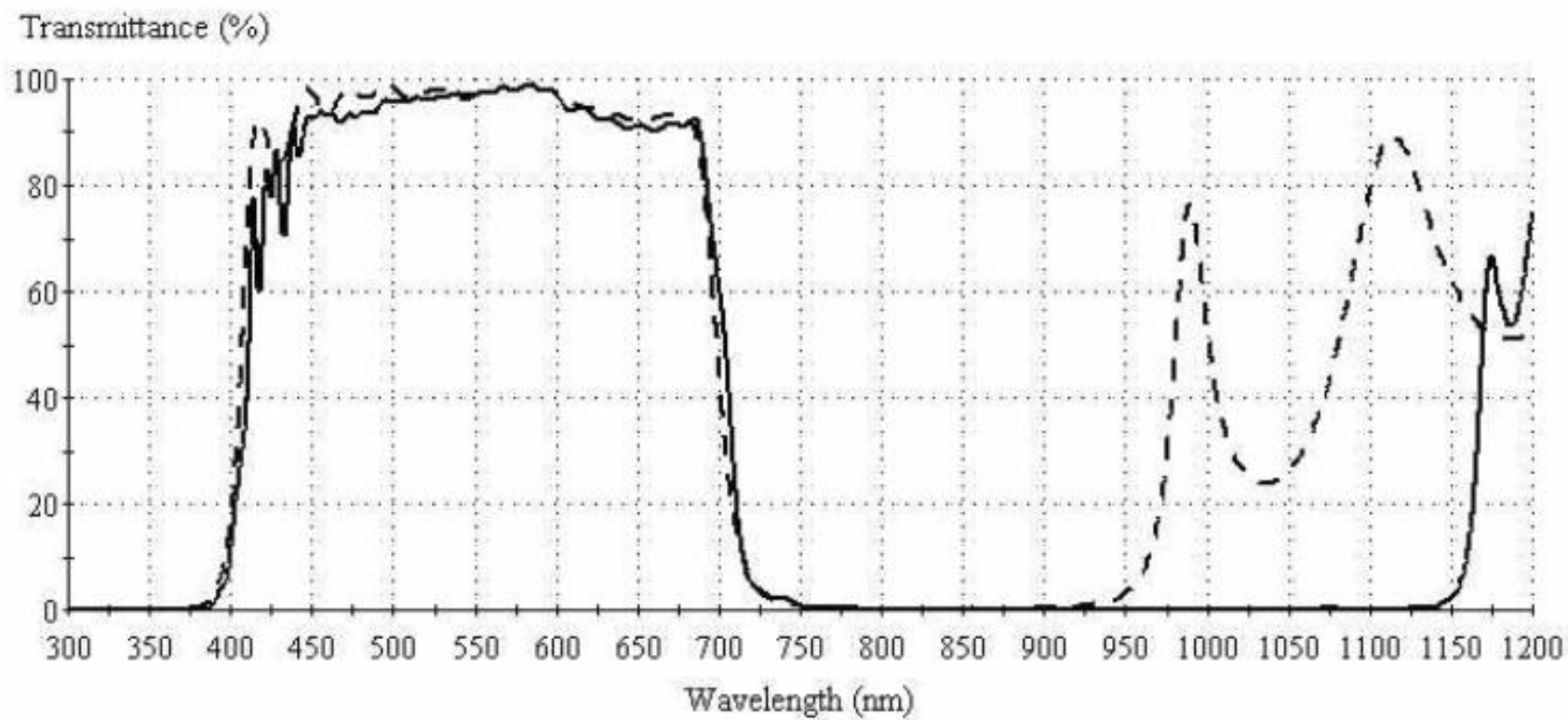
Zimne lustra



Odbijane jest światło
widzialne oraz UV,
natomiast promieniowanie
IR transmitowane



Filtry UV



Filtry polaryzacyjne

Filtry takie przepuszczają światło tylko o określonej polaryzacji



https://pl.wikipedia.org/wiki/Filtr_polaryzacyjny

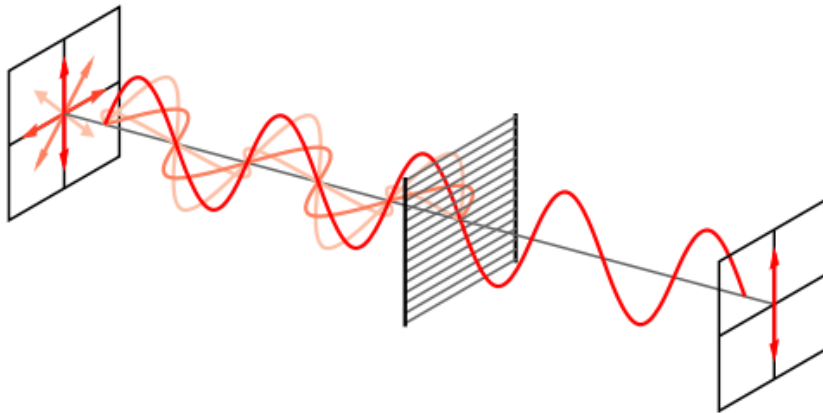
Zjawisko polaryzacji światła

Fala spolaryzowana to taka fala, której drgania rozchodzą się w ściśle określony sposób.

Fala niespolaryzowana to taka, której drgania rozchodzą się w "dowolnych", "przypadkowych" kierunkach. Falę niespolaryzowaną możemy sobie wyobrazić jako złożenie dowolnie wielu fal spolaryzowanych, obróconych względem siebie w pewnym stopniu.

To światło niespolaryzowane otacza nas na co dzień, światło spolaryzowane jest zdecydowanie rzadsze, a na dodatek ludzkie oko nie potrafi go odróżnić od niespolaryzowanego.

Polaryzacja to przekształcenie fali niespolaryzowanej w falę spolaryzowaną.

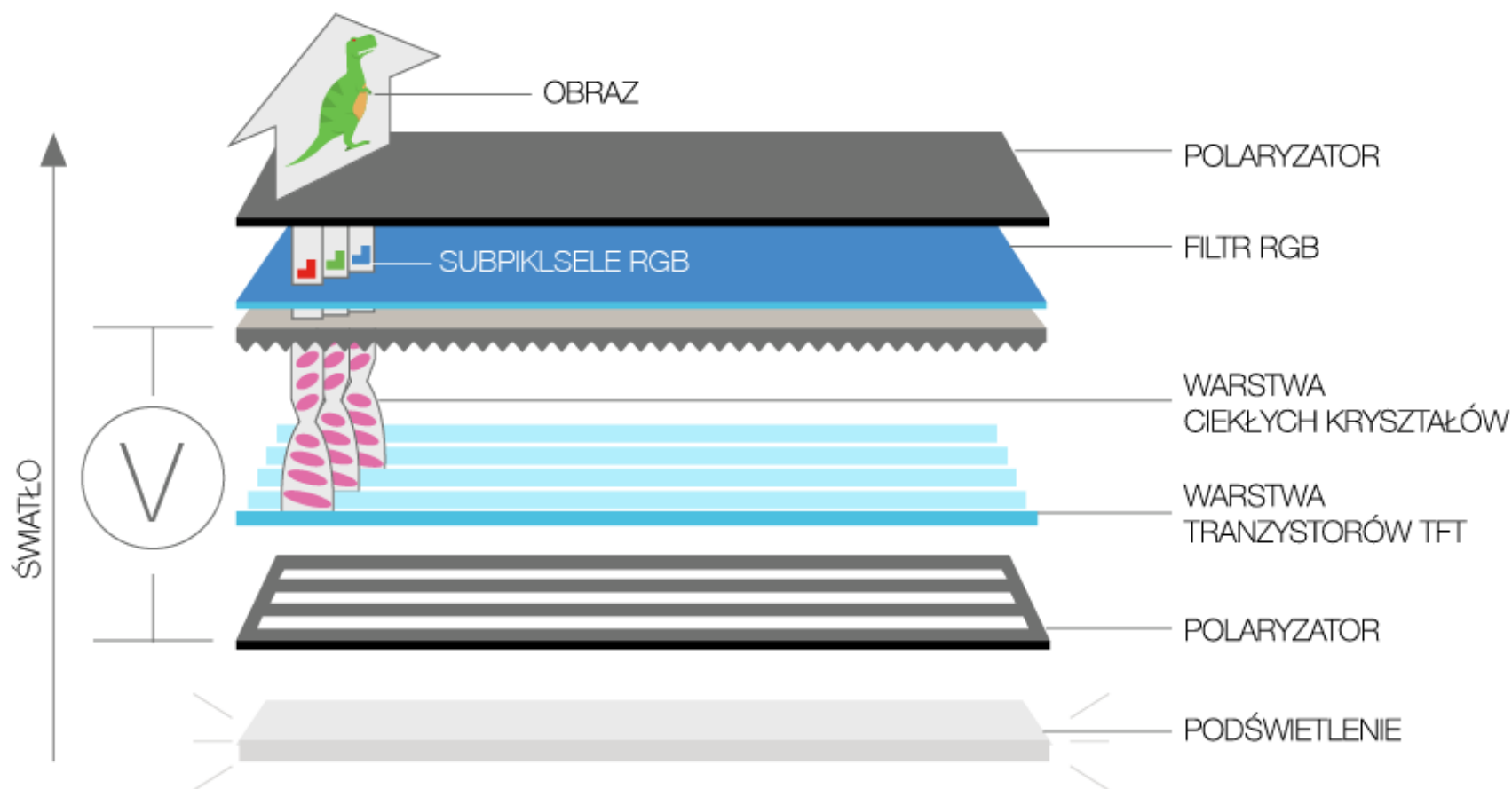


Ilustracja polaryzacji na przykładzie polaryzatora siatkowego.



Zjawisko polaryzacji światła – Zastosowanie w matrycach LCD

MATRYCA TFT LCD



Powłoki elektrochromowe – zmiany optyczne
np. barwa wywoływane pod wpływem
działania prądu elektrycznego



Metody nakładania cienkich warstw (powlekania)

Podział metod otrzymywania cienkich warstw ze względu

na charakter procesu osadzania:

- fizyczne PVD
- chemiczne CVD

Chemiczne – chemiczna reakcja wybranych gazów (CVD or APCVD, LPCVD, PECVD)

Fizyczne – wytworzenie par materiałów bez reakcji chemicznej

Podział ze względu na stan fizyczny materiałów wyjściowych:

- osadzanie z fazy gazowej
- osadzanie z zawiesin
- osadzanie z fazy ciekłej
- osadzanie z past
- osadzanie z fazy stałej



Wytwarzanie powłok przeciwodblaskowych na szkłe metodami chemicznymi

- * Powlekanie metodą trawienia
- * Nakładanie warstwy na szkło przez hydrolizę roztworu estru etylowego kwasu ortokrzemowego

1. Wszystkie metody polegają na tym, że atomy (cząsteczki) nanoszonej substancji muszą zbliżyć się do podłoża, związać z nim i utworzyć odpowiedniej grubości warstwę.

2. W czasie wytwarzania cienkich warstw zachodzą konkurujące ze sobą procesy:

- **Powodujące wzrost warstwy:**

1. Osadzanie atomów na powierzchni;

- **Powodujące zmniejszanie się warstwy:**

1. Odbijanie padających atomów od powierzchni;

2. Desorpcja (parowanie) atomów z powierzchni;



Powlekanie metodą trawienia



- Etapy
 - odświeżanie powierzchni elementów
 - trawienie elementów w kąpeli
 - konieczność termostatowania
 - sprawdzanie grubości i wsp.zał. warstwy
 - odświeżanie : mycie w rozpuszczalniku organicznym, wycieranie ścierką batystową, kąpiel w 0.5n ługu sodowego w temp. 20□25□C w czasie od 4 do 20 min. zależnie od rodzaju szkła, potem kąpiel w kwasie octowym
 - wada metody : mały efekt na szklach kronowych, bardzo długi czas obróbki dla szkieł o dużej odporności chemicznej, pogorszenie czystości powierzchni szkieł o małej odporności chemicznej
- Zalety W temp. pokojowej nie ulegają działaniu wody, kwasów lub rozpuszczalników organicznych. Odporność chemiczną powłok zmniejszającą naloty na powierzchniach elementów optycznych i pod tym względem obróbka w kwasach może zmienić grupę odporności danego rodzaju szkła przewidzianą w katalogu.

Nakładanie warstwy na szkło przez hydrolizę roztworu estru etylowego kwasu Ortokrzemowego

- wsp.zał $n_D=1.3862$
 - łatwo rozpuszcza się w wielu rozpuszczalnikach organicznych (np. spirytus etylowy, ale szkoda go na to)
 - otrzymuje się go w reakcji spirytusu etylowego z czterochlorkiem krzemu
 $SiCl_4 + 4C_2H_5OH \rightarrow Si(OC_2H_5)_4 + 4HCl$
 - cienka warstwa estru szybko hydrolizuje pod wpływem wilgoci
 $ok.80\%Si(OC_2H_5)_4 + 4H_2O \rightarrow Si(OH)_4 + 4C_2H_5OH$
 - warstwę żelu kwasu krzemowego najlepiej uzyskuje się przy wilgotności
 - wsp.zał. $n_D=1.46$
- Odporne na działanie wody, i wodnych roztworów kwasów w temperaturze pokojowej oraz mało podatne na działanie roztworów ługów. Podwyższają one odporność chemiczną pod względem powstawania nietłuszczowych nalotów kropelkowych, spowodowanych kondensacją wilgoci oraz działania dwutlenku węgla powietrza, jak również innych odczynników chemicznych. Wytrzymałość powłoki mechaniczna jest duża (pozwala na czyszczenie bez obawy uszkodzenia).



Nakładanie warstwy na szkło przez hydrolizę roztworu estru etylowego kwasu ortokrzemowego

Powlekanie :

- wypolerowany el.opt. umieszcza się w uchwycie pionowego wrzeciona wirówki
- czyści się powierzchnię optyczną
- pipetą nabiera się roztwór estru i wylewa się go szybko spadającymi kroplami na powlekaną powierzchnię przy nieco zmniejszonych obrotach wirówki
- po kilku sekundach wirówkę przełącza się na maksymalny bieg
- po kilkunastu sekundach powłoka jest gotowa
- świeżą powłokę łatwo zmyć
- po osuszeniu (40□60min) powłoka utwardza się i można ją usunąć tylko przez polerowanie
- grubość reguluje się przez dobór stężenia estru i prędkości obrotu wirówki (głównie) oraz temperatury schnięcia



CVD (*Chemical Vapour Deposition*) – procesy, w trakcie których na podłożu następuje wytwarzanie warstw ciała stałego z reagentów, które reagują ze sobą w fazie lotnej

PECVD (*Plasma Enhanced CVD*) – osadzanie wspomagane plazmą

LPCVD (*Low Pressure CVD*) – osadzanie pod obniżonym ciśnieniem
(T do 900°C, p = 0.25 – 2 Tr)



Typ procesu	LPCVD	PECVD
Parametry: temp / ciśnienie	550-900°C / poniżej 130 Pa	300-400°C / poniżej 650 Pa
Materialy	SiO ₂ , Si ₃ N ₄ , SiON P-glass, BP-glass poli-Si	Si, SiO ₂ , SiON
Zastosowanie	rdzeń falowodu, izolacje, bramki metalowe, niedomieszkowane i domieszkowane cienkie warstwy, aktuatory	rdzeń/bufor/pokrycie w falowodach, izolacje, pasywacje
Zalety	wysoka czystość i jednorodność, dobra powtarzalność przy wytwarzaniu, jednorodność pokrycia, małe straty optyczne	wysoka jednorodność, umiarkowana powtarzalność przy wytwarzaniu, jednorodność pokrycia, małe straty optyczne, niska temperatura, dobra adhezja, małe naprężenia mechaniczne, duża szybkość osadzania
Wady	wysoka temperatura, mała szybkość osadzania, duże naprężenia mechaniczne	umiarkowana czystość warstw (obecność wodoru), umiarkowana powtarzalność

Przebieg procesu PVD:

- Etapy podstawowe
 - uzyskanie par materiału
 - transport par na powierzchnię docelową
 - kondensacja par na podłożu i wzrost powłoki
- Etapy wspomagające
 - jonizacja elektryczna par i dostarczonych gazów
 - krystalizacja z otrzymanej plazmy metalu lub fazy w stanie gazowym

Odmiany PVD:

- naparowywanie
- napyłanie
- *Plasma Assisted PVD*
- wzbudzanie par wiązką elektronową - *Electron Beam PVD*
- osadzanie rozpylonych atomów/ionów w polu magnetycznym -

Magnetron Sputtering PVD

- niskociśnieniowe wyładowanie łukowe, PA PVD-Arc
- technologie hybrydowe w tym wieloźródłowe i wieloetapowe
(najbardziej perspektywiczne)
- łukowo-magnetronowa ABS



Fizyczne osadzanie z fazy gazowej – metoda PVD

Zalety:

- niska temperatura obróbki
- zachowanie składu chemicznego materiału źródła.
- W procesie PVD osadzaniu powłoki nie towarzyszą żadne przemiany chemiczne,
obserwuje się wyłącznie zmianę stanu skupienia wprowadzonej substancji.
- Mechanizm osadzania kontrolowany jest poprzez dobór temperatury podłoża oraz ciśnienie i skład atmosfery reakcyjnej.
- Celem procesu jest wytworzenie cienkich warstw o ściśle kontrolowanym składzie modyfikujących fizyczne i chemiczne właściwości powierzchni.

Metoda wyparowania i kondensacji w próżni

Komora próżniowa

1-podłoża,

2-klosz próżniowy,

4-cząsteczki gazu uwolnione z wewnętrznych powierzchni aparatury (desorpcja),

5-połączenie aparatury z układem pompującym,

6-strumień wsteczny gazu od układu pompującego,

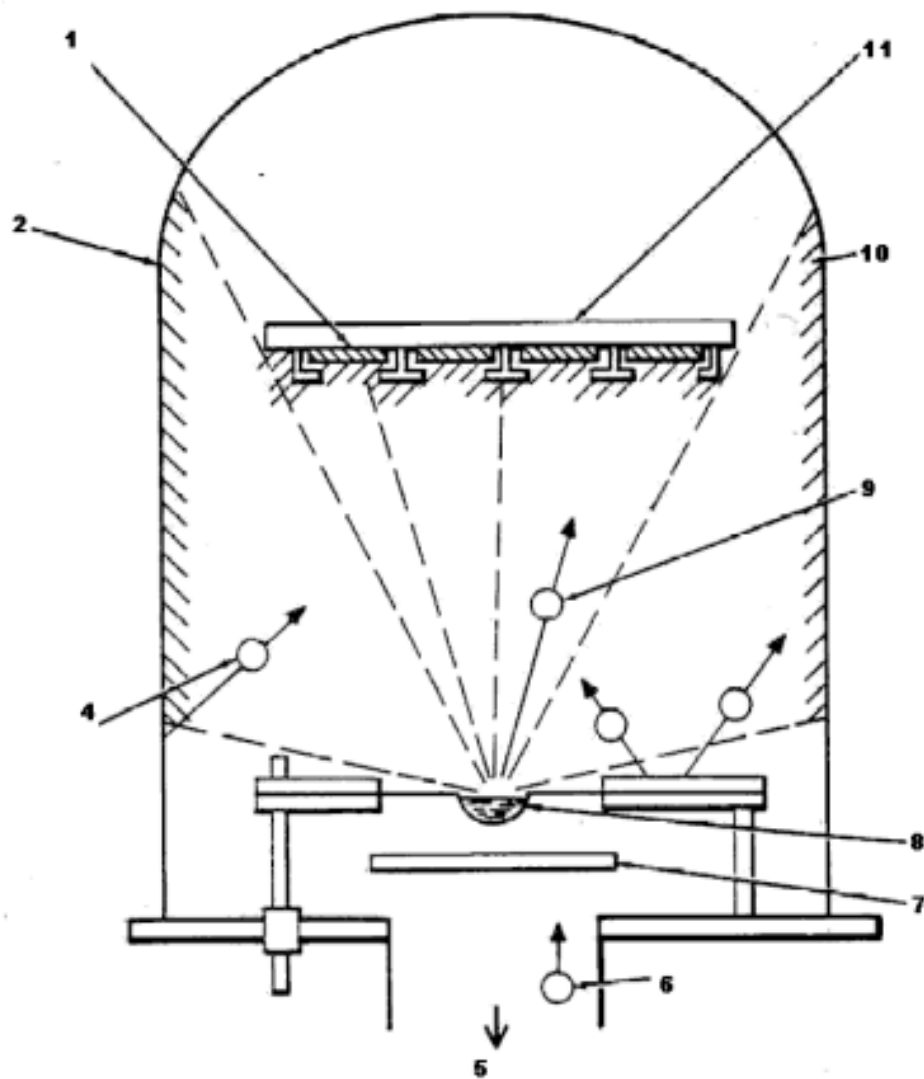
7-przegroda oddzielającą aparaturę od układu pompującego,

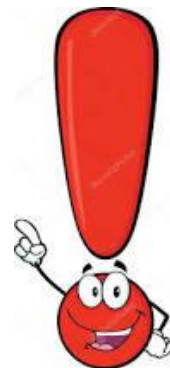
8-źródło par,

9-cząsteczki gazu uwolnione ze źródła par,

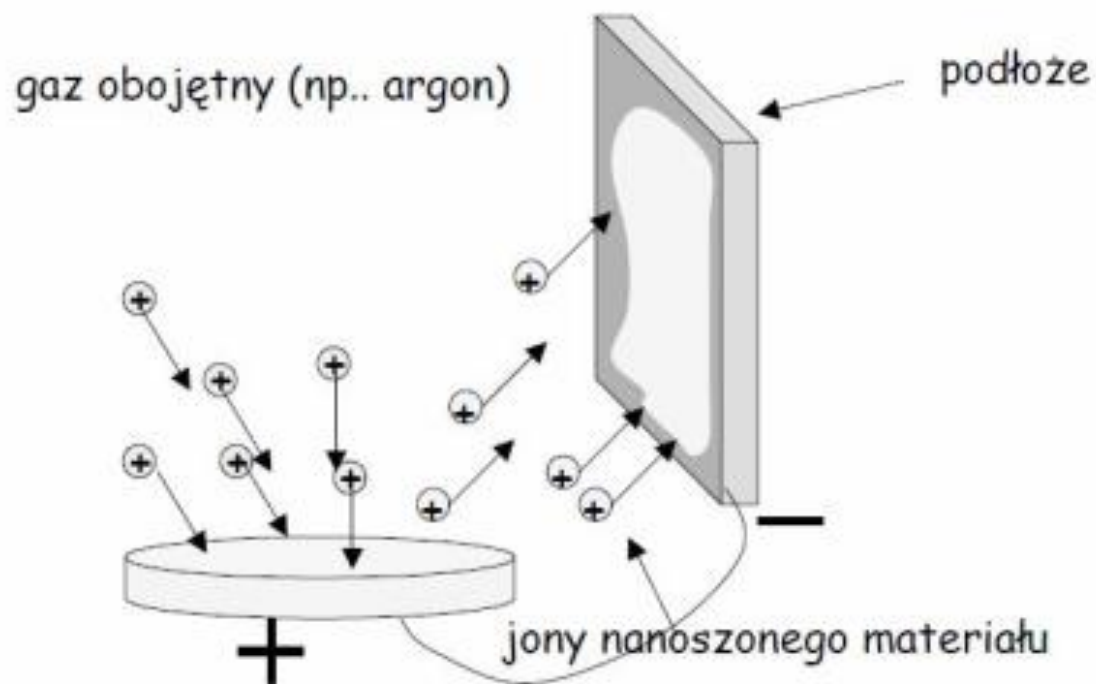
10-materiał kondensujący na ściankach aparatury,

11- uchwyt podłoża

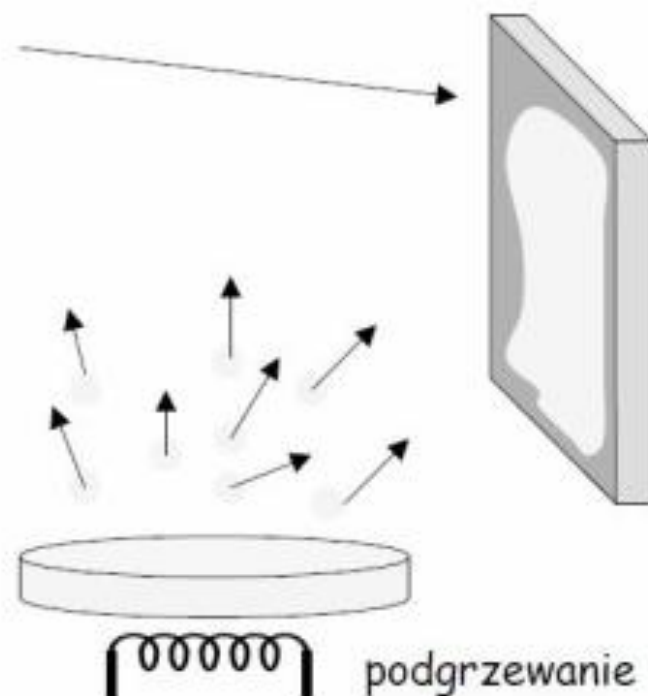




ROZPYLANIE KATODOWE DC



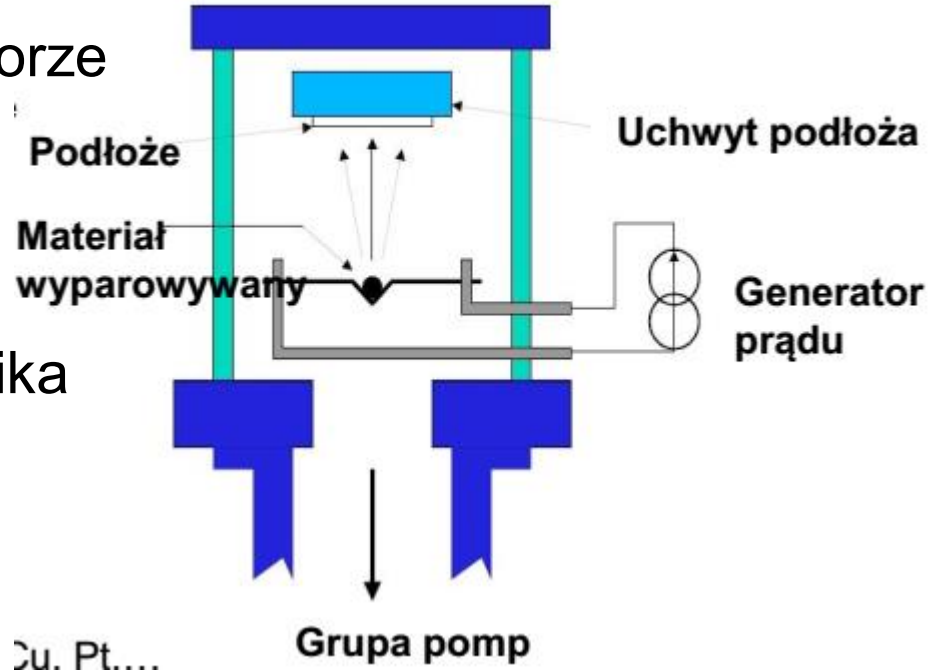
NAPAROWANIE



Naparowanie

Dokładne oczyszczenie powierzchni elementów

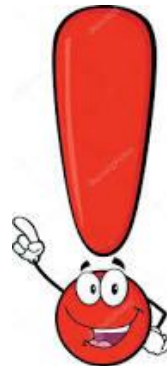
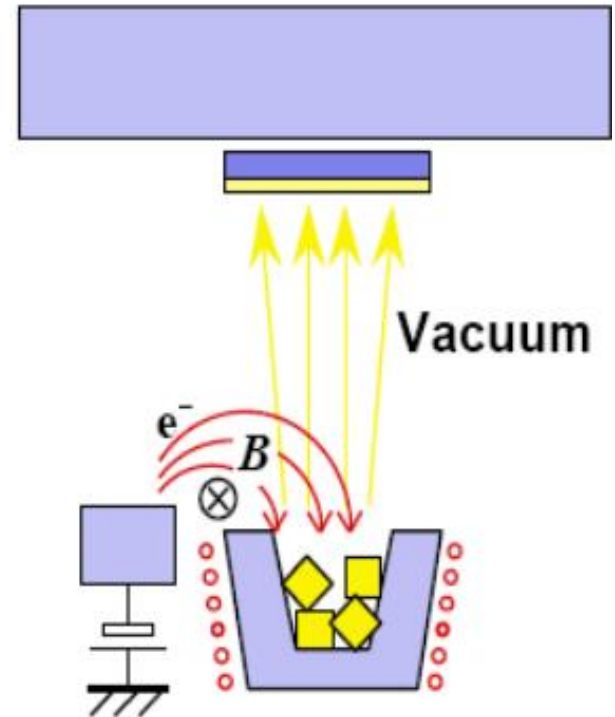
- Umieszczenie elementów w komorze próżniowej
- Wytworzenie próżni
- Włączenie prądu żarzenia grzejnika
- Wyparowanie substancji w tygla
- Kondensacja na powierzchniach znajdujących się na drodze promieniujących cząstek



Naparowanie

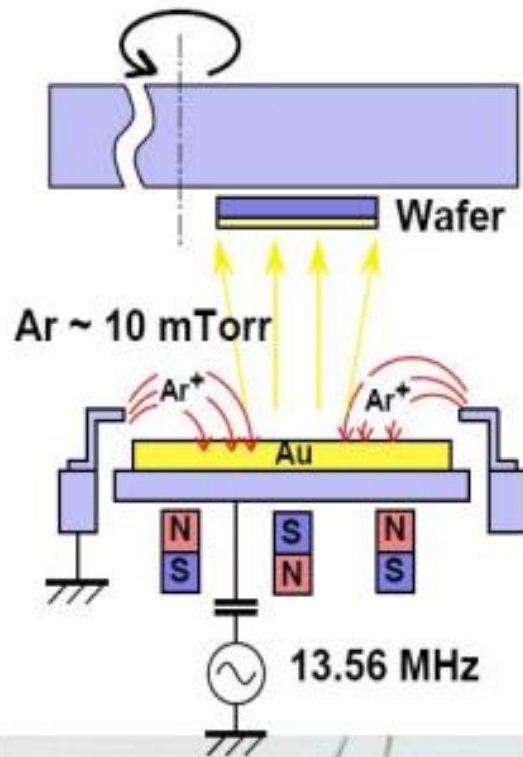
Zastosowanie

- struktury półprzewodnikowe, stopy z Ga, In, Si, Al, As, Sb, Mg, Zn, Se, Te
(diody laserowe - w odtwarzaczach CD, lasery półprzewodnikowe i detektory przy światłowodowych liniach przesyłowych)
- soczewki optyczne
- struktury magnetyczne (dyski twarde o wysokiej gęstości, głowice)
- magnetofonowe, kompasy samolotowe, sensory w systemach ABS)



**+ duża gęstość
naparowanego materiału
- słaba przyczepność do
podłoża**

Napylenie (Rozpylenie)



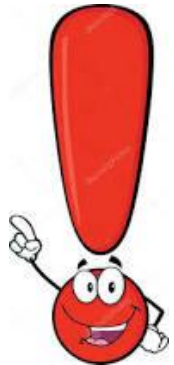
Metal (Cr, Au, Ni, Fe, Ti, Cu, Pt, ...)

Alloy (FeNi, TiNi, ...)

Oxide (SiO_2 , Al_2O_3 , ...)

Nitride (AlN, SiN, ...)

All in 0.1 ~ 5 μm range



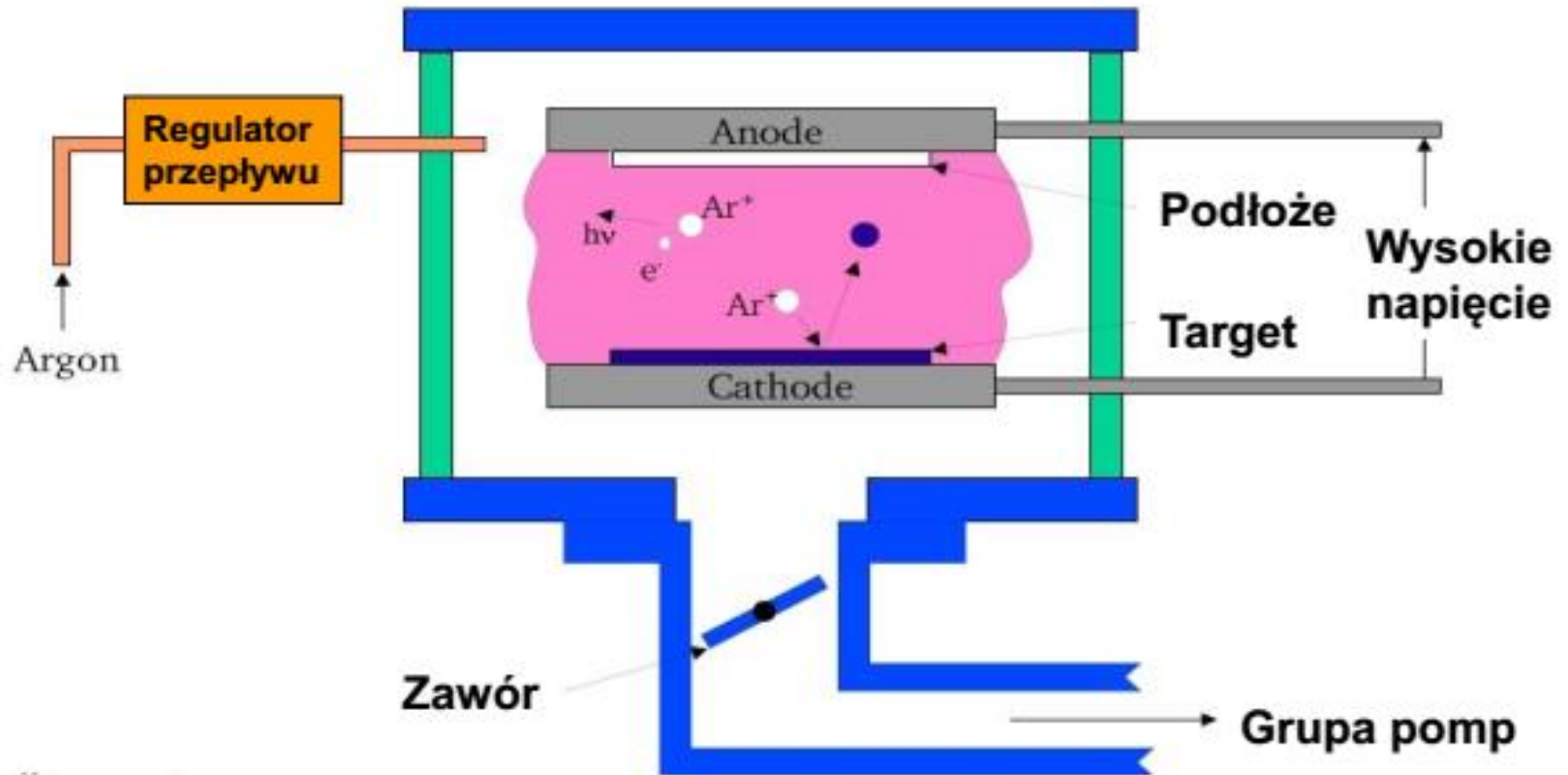
+można napylać różne
materiały inne niż tlenki
oraz azotki

+ stosowany do metali
trudno topliwych
(złoto, platyna)

- metoda bardziej
skomplikowana

- mniejsza gęstość
napylonego materiału

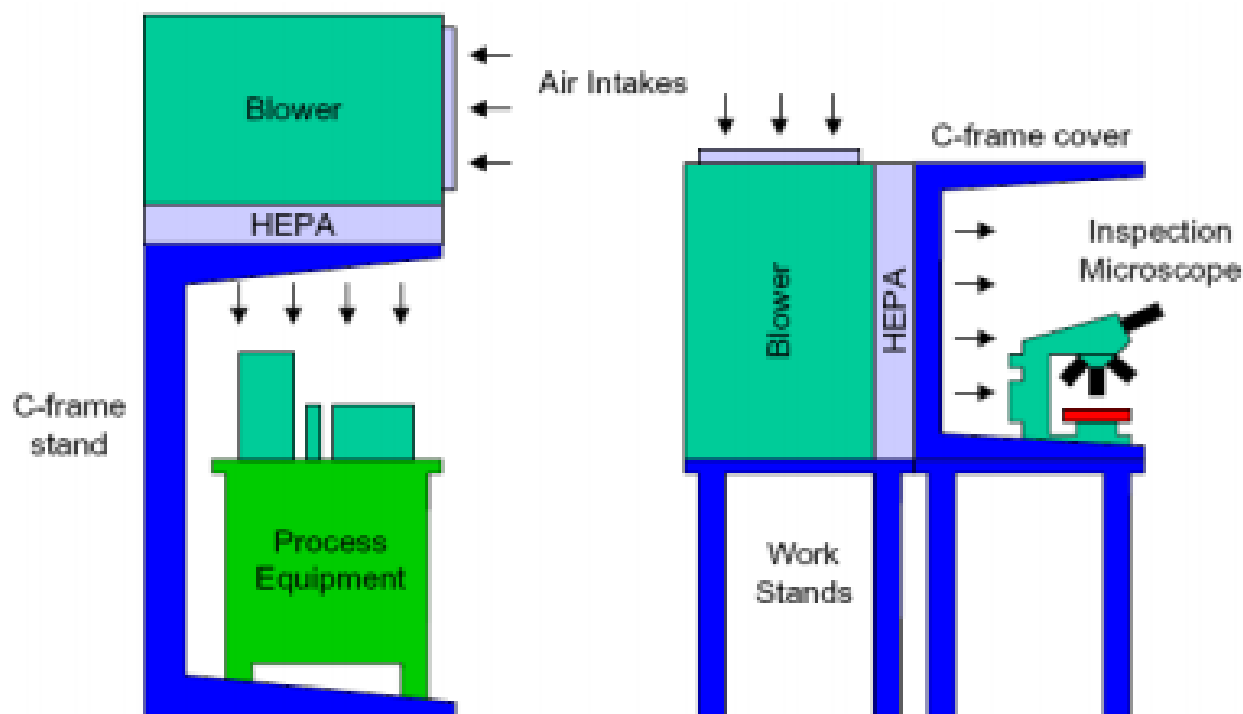
Napylenie katodowe



- w komorze próżniowej ciśnienie rzędu 1Pa
- obecność gazów szlachetnych (bez powietrza)
- przyspieszanie jonów Ar^+ w polu elektrycznym
- wybijanie atomów z płyty katody (targetu)
- osadzanie warstwy na anodzie – powierzchni podłoża
- dobra kontrola grubości warstw od nm do μm

Metale – Cr, Au, Ni, Fe, Ti, Cu, Pt, ...
Stopy - FeNi, TiNi, ...
Tlenki i Azotki Si i Al

Pionowe i poziome komory laminarne



- Filtry HEPA pozwalają uzyskać **lokalnie lepsze warunki czystości**
 - zmiana klasy o 2 dekady w lokalnej części
 - Przykład: Klasa 100 lokalnie w clean roomie 10,000
- Zaprojektowane do minimalizacji turbulencji powodujących osadzanie się kurzu
- Pionowa konstrukcja do wolno stojącego oprzyrządowania i procesów
- Pozioma do stanowisk pomiarowych i kontrolnych
- Dodatkowe wyposażenie: pistolety ze sprężonym powietrzem, podłączenie próżni, światła i opuszczane kurtyny zabezpieczające



W celu uzyskania wysokiej jakości powłok, operację powlekania przeprowadza się w pomieszczeniach typu „clean room”





Norma ISO 14644-1

Klasa	cząstki/metr sześcienny					
	0,1 μm	0,2 μm	0,3 μm	0,5 μm	1 μm	5 μm
ISO 1	10	2				
ISO 2	100	24	10	4		
ISO 3	1 000	237	102	35	8	
ISO 4	10 000	2 370	1 020	352	83	
ISO 5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	29
ISO 6	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
ISO 7				352 000	83 200	2 930
ISO 8				3 520 000	832 000	29 300
ISO 9				35 200 000	8 320 000	293 000

Clean Room : TAK i NIE

NIE:

- nie dotykaj twarzy lub skóry rękawiczkami,
- nie dotykaj ścian, maszyn, zaworów olejowych, stref załadunkowych
- nie pożyczaj nawet na chwilę elementów wyposażenia,
- nie używaj kosmetyków, proszków, pudrów
- nie noś pierścionków i bransoletek
- nie używaj zwykłego papieru, ołówka i markerów pozostawiających osad

TAK:

- zmieniaj rękawiczki
- używaj nowych rękawiczek przy każdym wyjmowaniu nowego substratu
- utrzymuj czystość i myj stół i wyposażenie w isopropanolu
- używaj tylko specjalnego papieru do odsączania

Wnoszenie i wynoszenie przedmiotów

- Wszystko powinno być podwójnie zapakowane
- Elementy czyszczone i zapakowane w clean roomie nie powinny być otwierane poza nim
- standardowe procedury czyszczenia i odtłuszczania dotyczą każdego wnoszonego elementu do clean roomu

Kontrola jakości po operacji powlekania



Kontroli podlega:

1. Transmisja / Odbicie promieniowania
2. wady kosmetyczne (wady na powłokach)
3. Odporność na ścieranie
(odporność mechaniczna)
4. Odporność na zmiany temperatury
5. Inne (Odporność na działanie kwasów, zasad (odporność chemiczna); odporność na wilgoć; odporność na działanie deszczów solnych)

Kontrola jakości po operacji powlekania



Kontroli podlega:

1. Transmisja / Odbicie promieniowania → Spektrofotometr

2. wady kosmetyczne (wady na powłokach)

→ Lupa z powiększeniem 6x

3. Odporność na ścieranie
(odporność mechaniczna) →

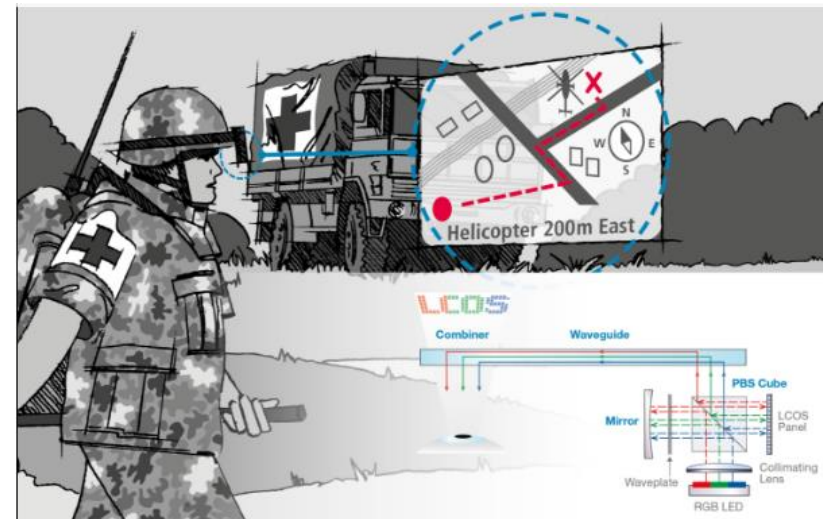
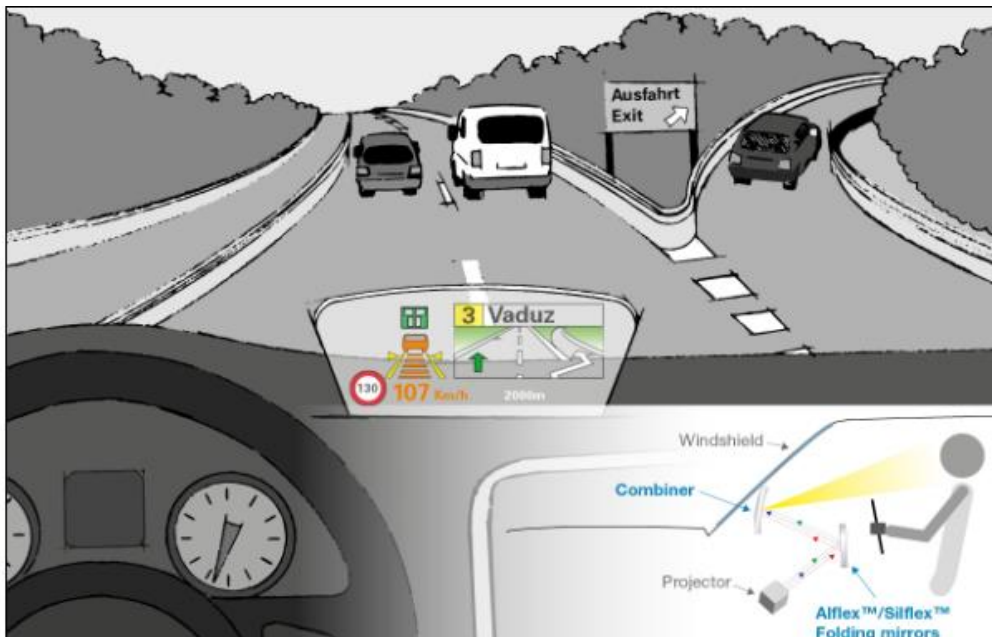
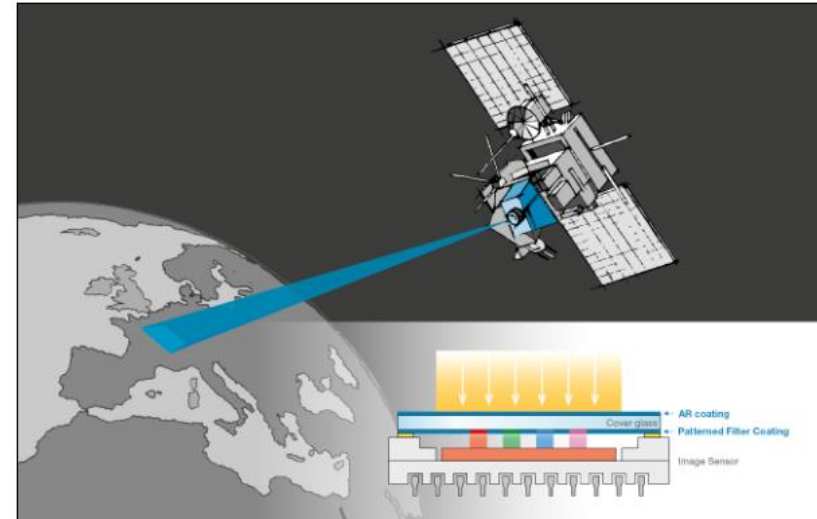
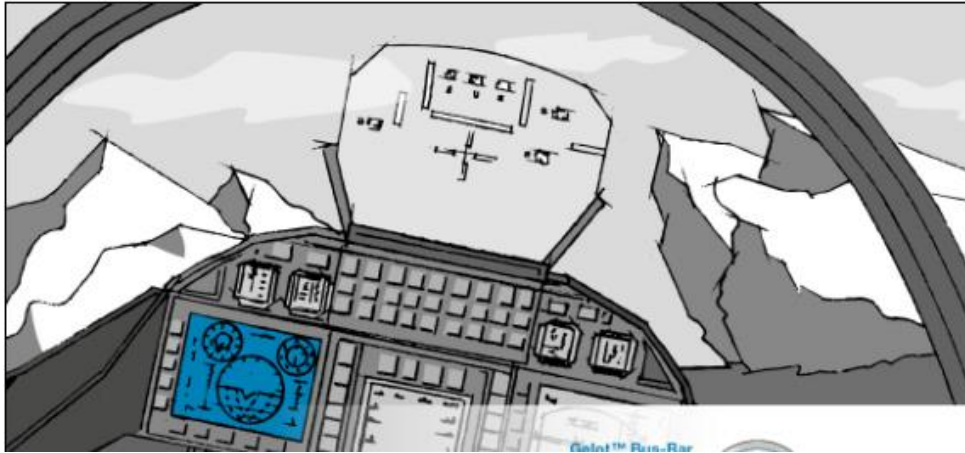
Ściereczka batystowa lub
specjalne urządzenie z
kontrolowanym naciskiem,
tarcie przy pomocy gumki

4. Odporność na zmiany temperatury → Komory
termiczne

5. Inne (Odporność na działanie kwasów, zasad (odporność chemiczna); odporność na wilgoć; odporność na działanie deszczów solnych)

Powlekanie – przykładowe zastosowania

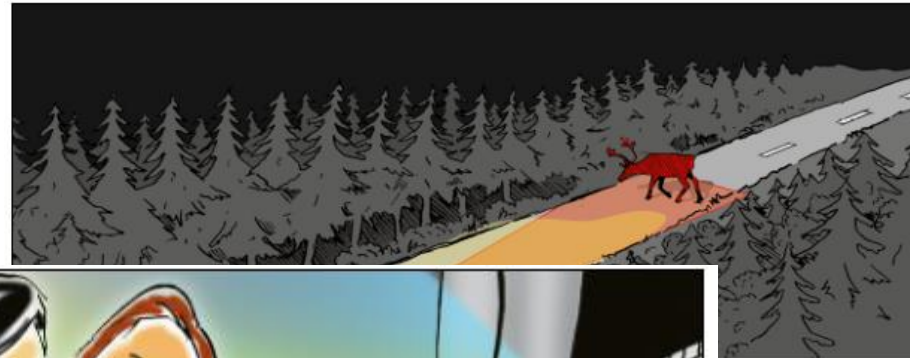
<https://www.opticsbalzers.com/en/applications/>



Near-Eye Displays for Defence

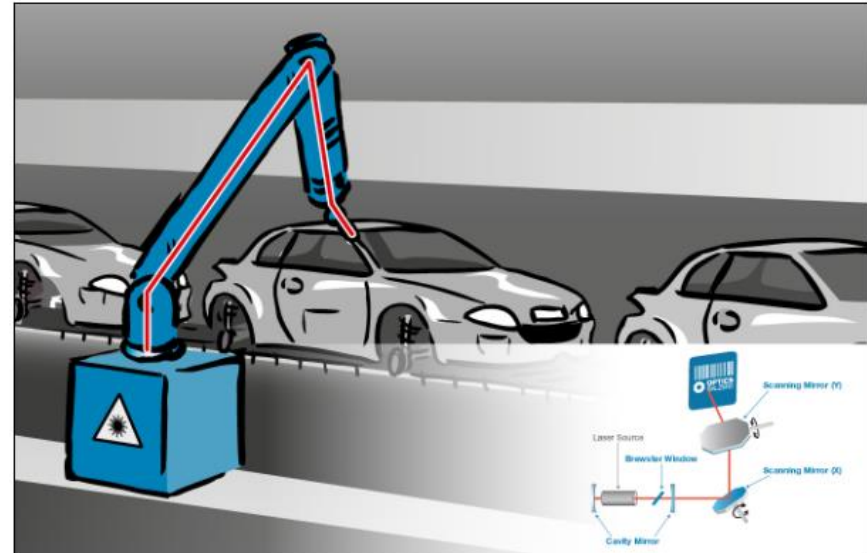
Powlekanie – przykładowe zastosowania

<https://www.opticsbalzers.com/en/applications/>

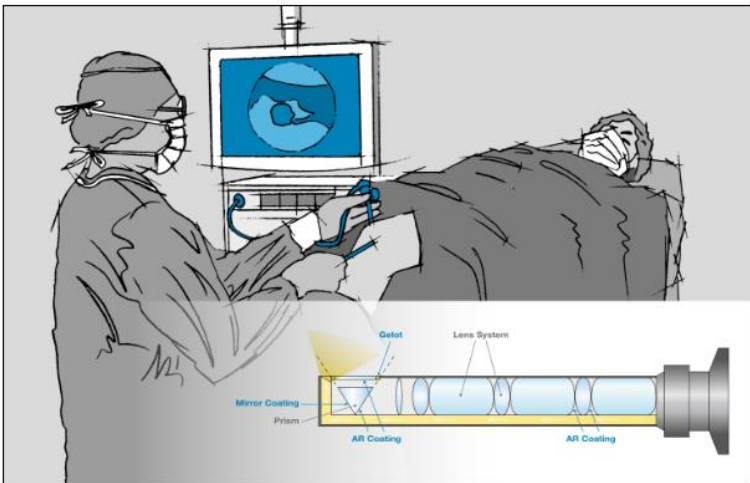


Powlekanie – przykładowe zastosowania

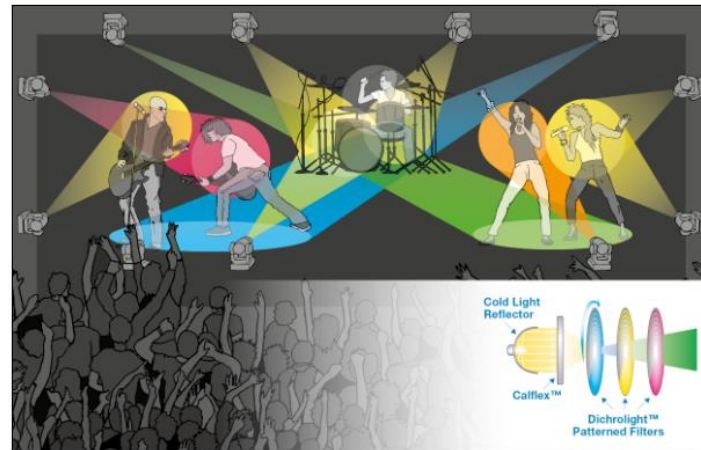
<https://www.opticsbalzers.com/en/applications/>



Manufacturing – Laser Scanning / Marking



Endoscopy



Entertainment Lighting

Podsumowanie

B&M Optics Rzeszów produkcja elementów optycznych

<https://www.youtube.com/watch?v=PhMSW5bVvZ0>

La Croix (USA)produkcja elementów optycznych

<https://www.youtube.com/watch?v=CefCvUd3tMU>

BXOptic (Chiny)produkcja elementów optycznych

<http://www.bxoptic.com/en/kccs.php>