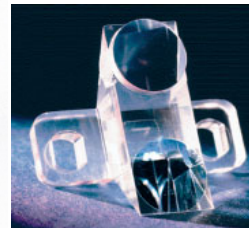


Materiałoznawstwo optyczne

TWORZYWA SZTUCZNE
METAMATERIAŁY

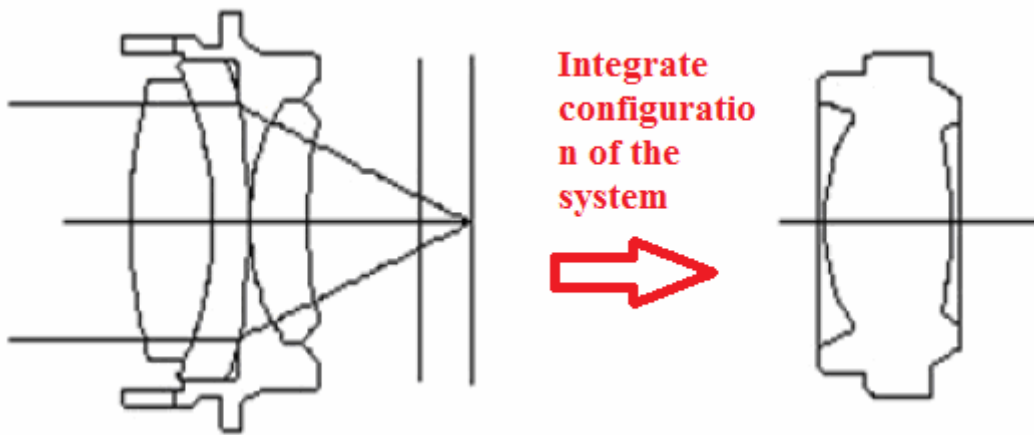
Zastosowania

- Telefony komórkowe/ Soczewki w samochodach/ Soczewki aparatów
- Skanery kodów kreskowych w odtwarzaczach CD
- Pryzmaty
- Kolimatory LED
- Elementy dyfrakcyjne



Główne zalety

- Cena
- Wielkość produkcji
- Redukcja masy
- Powierzchnie asferyczne i dyfrakcyjne
- Funkcje integralne
- dobra przepuszczalność światła widzialnego
- mały ciężar właściwy
- elastyczność i łatwość formowania podczas produkcji elementów optycznych



Plastic optical assembly
made of PMMA



Wady

- Niższa temperatura pracy niż szkło
 - max 80-130 °C
- Niska stabilność strukturalna
 - mniejsze, większe ugięcie podczas przyłożenia siły, niższa częstotliwość rezonansowa niż dla szkła
- Słabe właściwości termiczne
 - znaczna rozszerzalność cieplna (kilkakrotnie większa niż dla szkła optycznego)
 - mała odporność na podwyższone temperatury (np. w układach oświetlających)
- Wchłanianie wilgoci
- Ograniczony wybór materiałów
- mała odporność mechaniczna
- mała przyczepność powłok optycznych

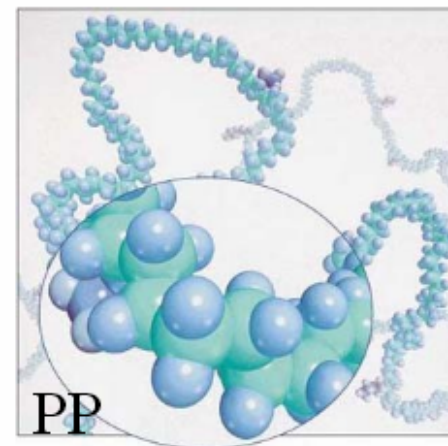
TWORZYWA SZTUCZNE

Optyczne tworzywa sztuczne (tzw. szkła organiczne) – produkt syntezy organicznej.

Efekt polimeryzacji – ciało stałe, przezroczyste, bezpostaciowe i szkliste.

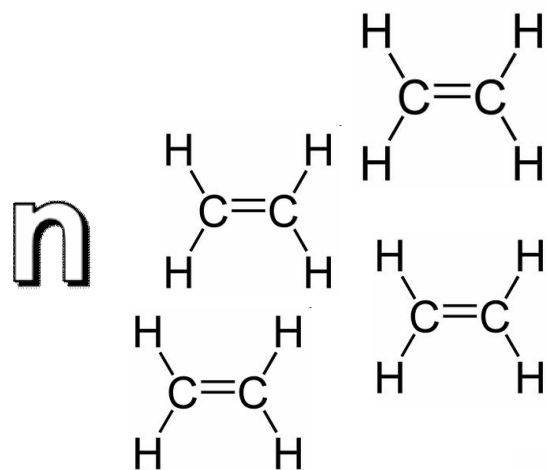
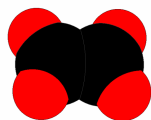
Polimery – wielkocząsteczkowe związki chemiczne powstające z monomerów w wyniku polimeryzacji.

Polimeryzacja - reakcja łączenia się wielu, często wielu tysięcy, jednakowych cząsteczek, zwanych monomerami w większe cząsteczki – POLIMERY.



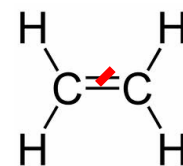
POLIMERYZACJA

- katalizator, temperatura, ciśnienie



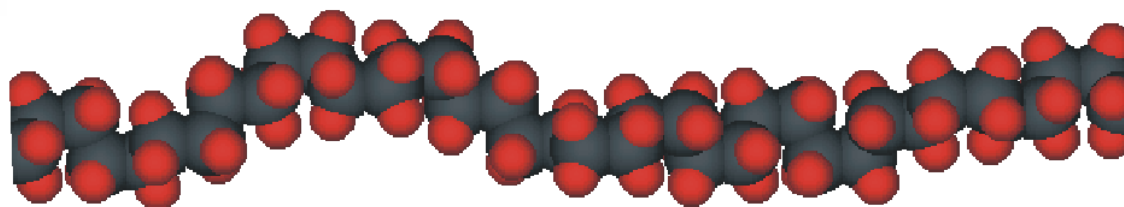
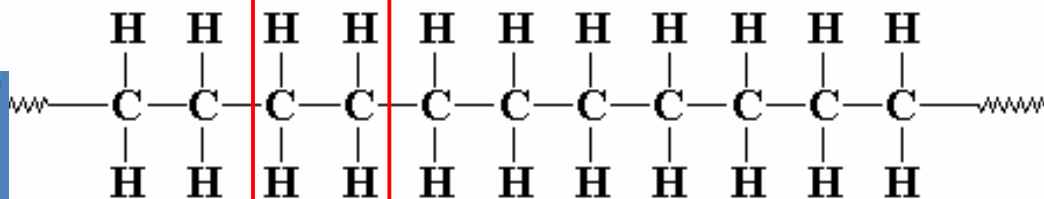
polimeryzacja

kat., T, p, t (czas)



mer

monomery
(substraty)



polimer - polietylen

TWORZYWA SZTUCZNE

Tworzywa sztuczne: materiał w którym oprócz podstawowego składnika masy – polimeru – znajdują się rozproszone (zdyspergowane) określone substancje, zwane składnikami dodatkowymi lub środkami pomocniczymi. Należą do nich:

- napełniacze
- nośniki
- stabilizatory
- Zmiększacze (plastyfikatory)
- przeciwutleniacze
- fotostabilizatory
- barwniki
- Pigmenty
- przeciwstatyki
- opóźniacze palenia

TWORZYWA SZTUCZNE

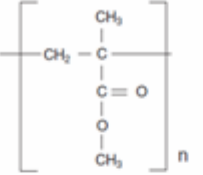
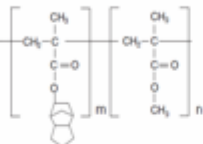
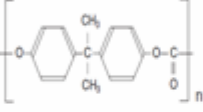
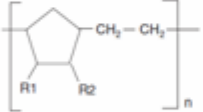
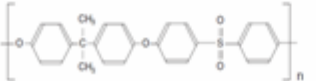
Rodzaje:

- Polimekrylan metylu (PMMA)
- Polistyren
- Poliwęglan
- Węglan allilodwuglikowy (CR-39)

Tablica 27.1. Rodzaje szkła organicznego do wytwarzania elementów optycznych

Materiał	Gęstość g/cm ³	Współ- czynnik rozsze- rzałości 10 ⁻⁶ /°C	Górna granica stabil- ności cieplnej	n_d	v_d
Węglan allilodwuglikowy	1,32	90 ÷ 100	60 ÷ 70	1,498	53,6
Polimetakrylan (transpex I, Perspex, Pleksiglas, Acrylit, Vedril Umaplex)	1,19	63(80)	70 ÷ 100	1,492	57,8
Polistyren (Transpex II, Styren, Distren)	1,10	80	70	1,591	30,8
Kopolimer styren-metakrylan (Zerlon)	1,14	66	95	1,533	42,4
Kopolimer metylstyrenmetylmetakrylan (Bavick)	1,17	—	110 ÷ 120	1,519	—
Poliwęglan (Merlon, Lexan)	1,2	70	120 ÷ 135	1,586	34,7
Poliester-styren	1,22	80 ÷ 150	50 ÷ 120	1,54 ÷ 1,57	43
Ester celulozy	1,30	90 ÷ 100	50 ÷ 60	1,47 ÷ 1,50	45 ÷ 50
Kopolimer styrenakrylonitryl (Lustran, Tyril)	1,07	70	90	1,50	35,2

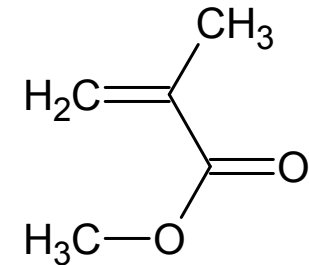
Table 5. Selected plastic optical material characteristics

Materials	Type	Chemical Structure	characteristics	Issues	Applications
PMMA	Acrylate Polymers		- high transparency - low birefringence - outstanding hardness - high light deterioration resistance - high Abbe number	- high water absorption - change of refractive index due to absorption - heat resistance	- condensers - fresnel lenses - car lamps lenses - light guide plates for LCD backlights
Alicyclic Acrylate	Acrylate Polymers		- low birefringence - low water absorption - high heat resistance	Water absorption is reduced, being approximately half of that of PMMA.	- optical lenses - CD pick-up Lenses - LBP lenses
Optical Polycarbonate (PC)	Polycarbonate		- most commonly used - low levels of impurities - transparency - high refractive index - heat resistance - high moldability - transferability - high intensity.	- large birefringence - the photoelastic coefficient is approximately 10 times greater than that of PMMA.	CD-ROM, CD-R/RW, MD, DVD-ROM, DVD-Video, and DVD-R/RW
Cycloolefin Polymer (COP)	Polycarbonate		- Transparent - The lowest water absorption - Low scattering - Low birefringence - Heat resistance - High processability		- optical devices such as lasers used for the visible region - optical discs - light guide plates for LCD backlights
Cycloolefin Copolymer (COC)	Polycarbonate		- low specific gravity - transparency - low water absorption - low scattering - low birefringence - heat resistance - high processability.		- DVD pick-up lenses - Cell phone camera lenses - Optical lenses
Polysulfone (PSU)			- Heat resistance. The heat deflection temperature is 343F - High refractive index (>1.6). - High intensity		- food service components - plumbing fixtures - membranes - laboratory animal cages

TWORZYWA SZTUCZNE

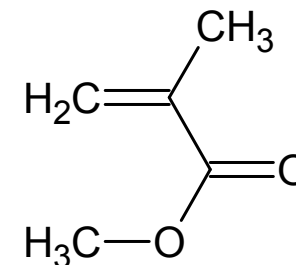
Material	Characteristics	Acrylic (PMMA)	Polystyrene	Polycarbonate (Optical Grade)	NAS	Polyolefin (Zeonex)	Arton F	Optores (OZ1000-1100)	Optores (OZ1310-1330)
Optical	Spectral Passing Band (nm)	390-1600	360-1600	395-1600	300-1600	390-?	390-?	410-?	
	Refractive Index @ 589nm @25°C	1.491	1.590	1.587	1.563	1.525	1.51	1.4995-1.5025	1.5059-1.5096
	Abbe Value	57.4	30.9	29.9	33.5	56.3	57	57-56	54-52
	Transmittance (%) Thickness 3.2mm	92	92	90	90	91	92	92	92
	Haze (%) Thickness 3.2mm	1.3	1.5(?)	1.7(?)	1.5(?)	1.5(%)	1.5	1(?)	1(?)

POLIMETAKRYLAN METYLU



- PMMA, akryl, plexiglas, transpex X, perspex i inne nazwy handlowe
- Dobrze przepuszcza światło widzialne
- łatwoksztaltowalny metodą wtrysku, prasowania na gorąco oraz obróbki mechanicznej
- odporny na działanie wody, benzyny, słabych wodnych roztworów kwasów, zasad i soli,
- duża odporność na działanie czynników atmosferycznych i niskiej temperatury
- Mało odporny na działanie takich reagentów jak ester octowy, aceton, benzol, alkohol i stężone kwasy
- wpływ promieniowania UV - starzenie się i nieznaczne żółknięcie
- można mu nadać zerową stałą elastooptyczną (przez odpowiednie domieszkowanie) nie pogarszając jego właściwości
- możliwość barwienia na różne kolory
- dobre właściwości mechaniczne - łatwość obróbki, materiał ma właściwości termoplastyczne

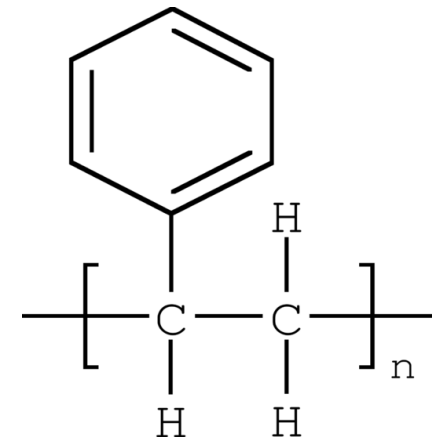
POLIMETAKRYLAN METYLU



- PMMA, akryl, plexiglas, transpex X, perspex i inne nazwy handlowe
- Zastosowania:
 - W przemyśle motoryzacyjnym, lotniczym, elektrotechnicznym i elektronicznym
szyby, światła odblaskowe, osłony aparatury nawigacyjnej i pomiarowej, kierunkowskazy, obudowy kabin, tablice rozdzielcze
 - W przemyśle optycznym: pryzmaty, soczewki (w tym soczewki kontaktowe)
 - W przemyśle galanterijnym (guziki) i dekoracyjnym (abażury, osłony świetlówek, naczynia stołowe)

POLISTYREN

- styren, transpex II, distyren
- współczynnik załamania – 1,591 oraz mały współczynnik dyspersji 30,8
- najtańszy
- łatwo się kształtuje metodą wtrysku do form
- wady: mniejsza odporność na rysy i działanie atmosfery
- wpływ UV – żółknie bardziej niż PMMA
- najlżejszy z termoplastów
- dobra odporność chemiczna
- niska chłonność wody
- bardzo mała przewodność cieplna
- rozszerzalność ośmiokrotnie większa niż stali
- mała uderzalność
- odporne na działanie kwasów (z wyjątkiem azotowego), zasad, węglowodorów nasyconych, alkoholi, olejów mineralnych i roślinnych
- nie rozpuszcza się węglowodorach alifatycznych, niższych alkoholach, eterze, fenolu, kwasie octowym i w wodzie



POLIWĘGLAN

- Merlon, Lexan
- duża odporność uderowa (na uderzenia mechaniczne)
- najbardziej odporny na działanie wysokich temperatur
- trwałość zachowana w dużym zakresie temperatur
- współczynnik załamania $n = 1,586$, niestety niska liczba Abbego
- z powodu dużej ciągliwości źle obrabia się skrawaniem; elem. optyczne wykonuje się z niego wyłącznie na wtryskarkach
- odporność na działanie kwasów, alkoholi i tłuszczów
- mało odporny chemicznie na zasady i węglowodory aromatyczne i chlorowane
- Odporność na rysowanie jest mniejsza od akrylu i styrenu
- droższy od akrylu i styrenu
- lekkość, łatwość obróbki, formowania i montażu

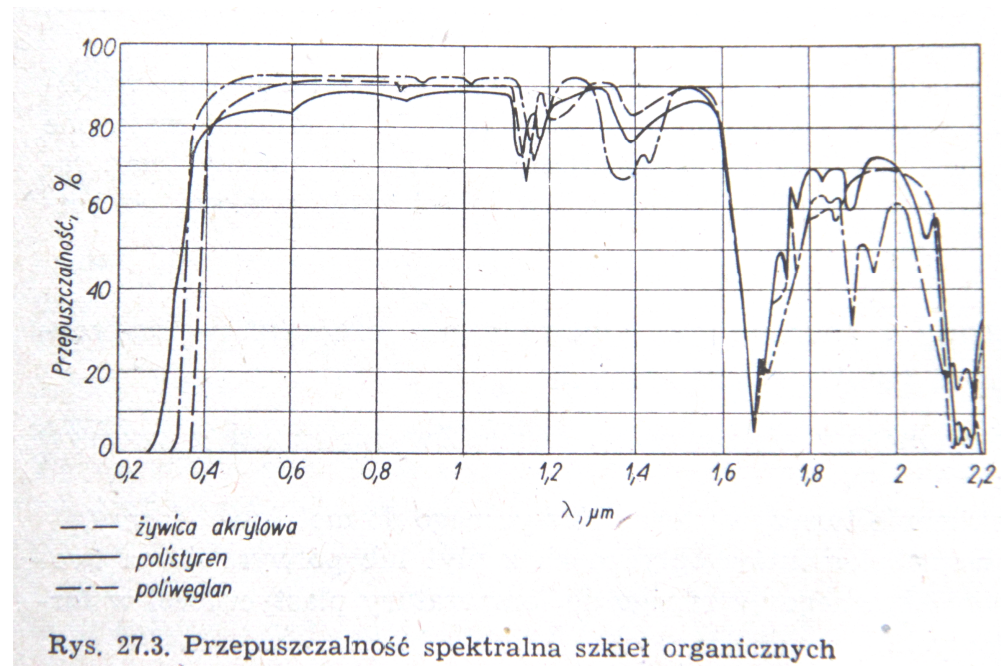
Okulary, soczewki, pamięci optyczne (CD), butelki dla niemowląt, samoloty, szyby hełmów astronautów, kierowców Formuły 1

WĘGLAN ALLILODWUGLIKOŁOWY

- CR-39
- materiał termoutwardzalny
- przejrzystość, bardzo wysoka liczba Abbego, łatwość barwienia
- niska cena
- odlewa się go w formach szklanych, a następnie utwardza w określonych warunkach cieplnych
- ma duży skurcz przy polimeryzacji, co ogranicza jego zastosowanie w optyce precyzyjnej
- Wada: duża kruchość, brak pełnej absorpcji promieniowania UV, duża wrażliwość termiczna

OPTYCZNE WŁASNOŚCI

- dobrze przepuszczają światło widzialne
- promieniowanie UV – działa ujemnie obniżając z czasem przepuszczalność świetlną
- większość tworzyw sztucznych przepuszcza promieniowanie o obszarze bliskiej podczerwieni przy dużym spadku transmisji w pobliżu długości fali 1,7 μm .
- przy przejściu promieni światła przez granicę powietrze-szkło i szkło-powietrze, część światła jest tracona na odbicie.
- współczynnik załamania zmienia się w zależności od temperatury (zmiany kilkakrotnie większe niż w szkłe nieorganicznym)



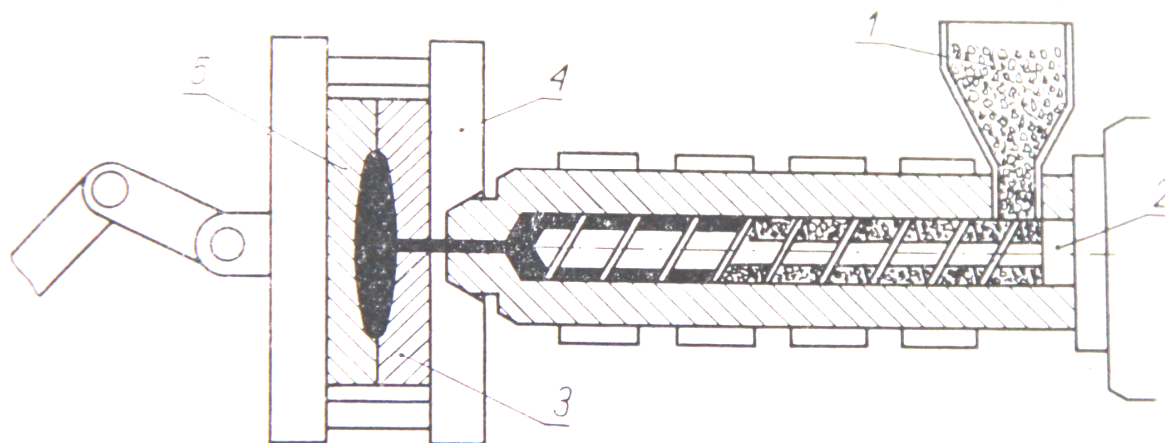
OPTYCZNE WŁASNOŚCI

- współczynnik załamania określony z dokładnością $\pm 5 \cdot 10^{-4}$
- smużystość i dwójłomność powstają w procesie wytwarzania
- odporność na zarysowania jest znacznie mniejsza niż szkła nieorganicznego.
- szkła organiczne mają małą odporność cieplną
- większa odporność (niż szkło nieorganiczne) na szybkie zmiany temperatur - rozszerzalność cieplna tworzyw jest kilkakrotnie większa od rozszerzalności szkła

METODY I TECHNOLOGIA WYTWARZANIA ELEMENTÓW OPTYCZNYCH Z TWORZYW SZTUCZNYCH

1. wtryskiwanie tworzywa termoplastycznego do metalowej formy
2. Prasowanie elementów optycznych z płyt lub półwyrobów z tworzywa termoplastycznego ogrzanego do temperatury plastyczności w formach metalowych
3. Polimeryzacja monomeru tworzywa sztucznego w formach ze szkła lub metalu, stosuje się do tworzyw termoutwardzalnych jak również i do termoplastycznych
4. Obróbka mechaniczna tworzywa skrawaniem, szlifowaniem i polerowaniem z zastosowaniem metod obróbki elementów optycznych ze szkła optycznego

Wtryskiwanie tworzywa do formy



Rys. 27.4. Schemat wtryskarki do wyrobu elementów z tworzyw sztucznych

Wymogiem jest ściśle utrzymywanie stałych warunków technicznych:

- masa tworzywa w granulkach powinna być jednorodna, sucha i czysta (bez kurzu)
- temperatura wtryskarki i formy powinna się utrzymywać ze stałą dokładnością
- ciśnienie wtrysku powinno być stałe

W celu eliminacji naprężeń to należy elementy odpężyć wygrzewaniem w piecu z regulowaną temperaturą.

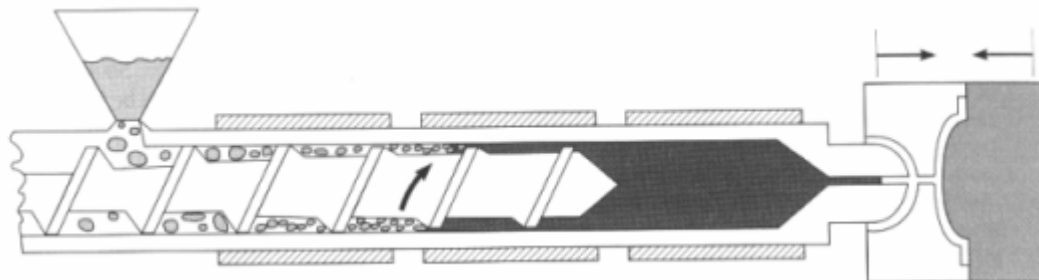
Wtryskiwanie tworzywa do formy

Niedoskonałości powierzchni:

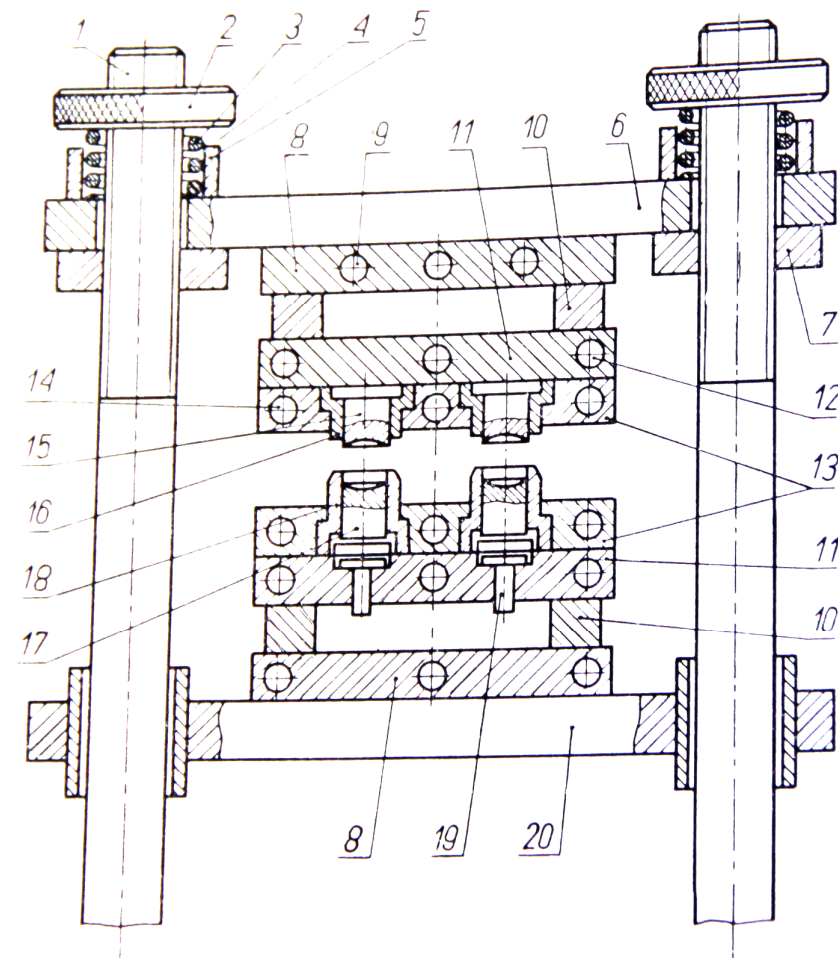
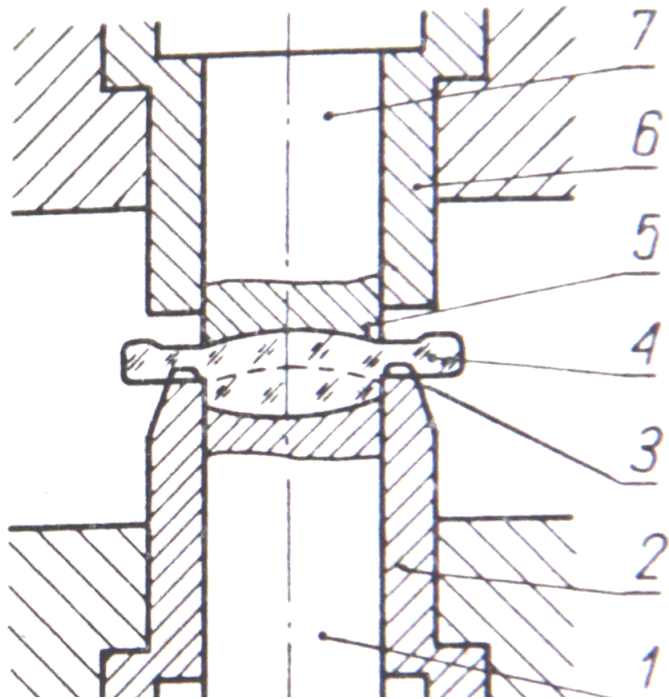
- temperatura płynięcia jest zbyt wysoka, aby spowodować wydzielanie gazu: pęcherzyki
- ciśnienie jest zbyt niskie, co powoduje niekompletne wypełnienie formy.

Kurczliwość:

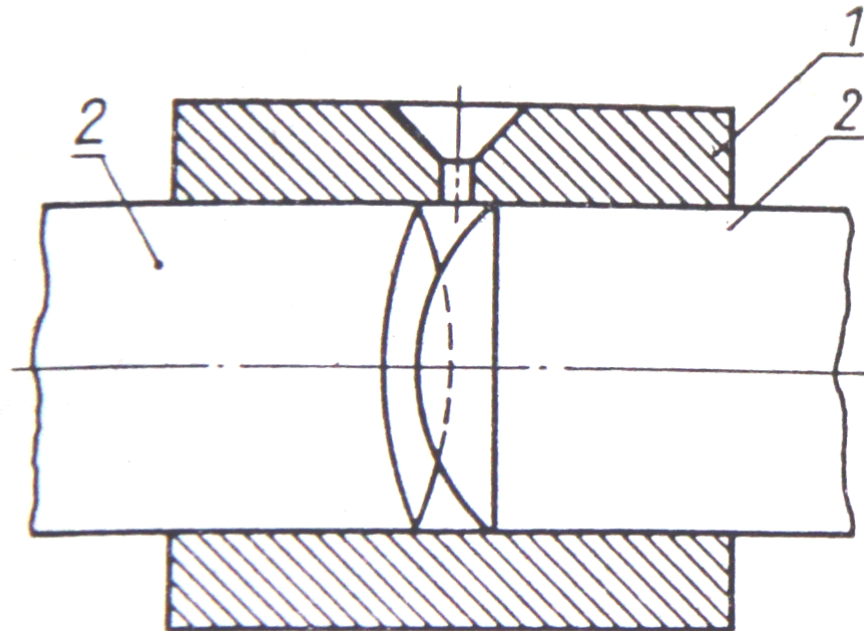
- element będzie się kurczył podczas ochładzania
- ciśnienie wtrysku powinno być stałe, w celu kompensowania kurczenia się materiału.



Technika prasowania



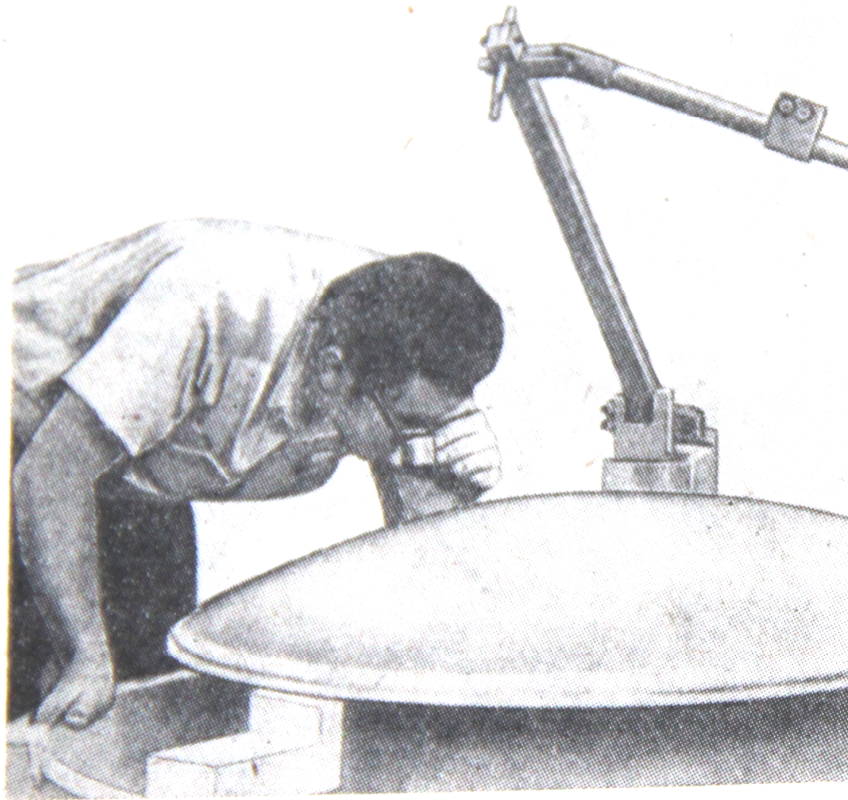
Technika polimeryzacji



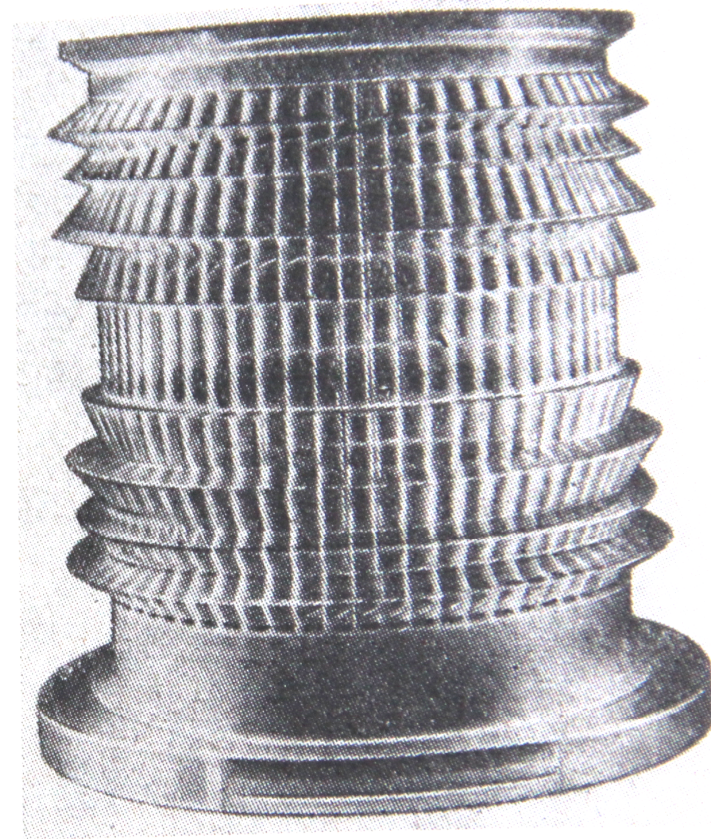
- soczewki, pryzmaty, siatki dyfrakcyjne, soczewki asferyczne, optyczne dwu- i wieloogniskowe

Metoda obróbki mechanicznej

- stosuje się przy wykonywaniu soczewek i zwierciadeł o średnicy powyżej 100 mm



Rys. 27.9. Soczewka ϕ 90 cm wykonana z bloku akrylu

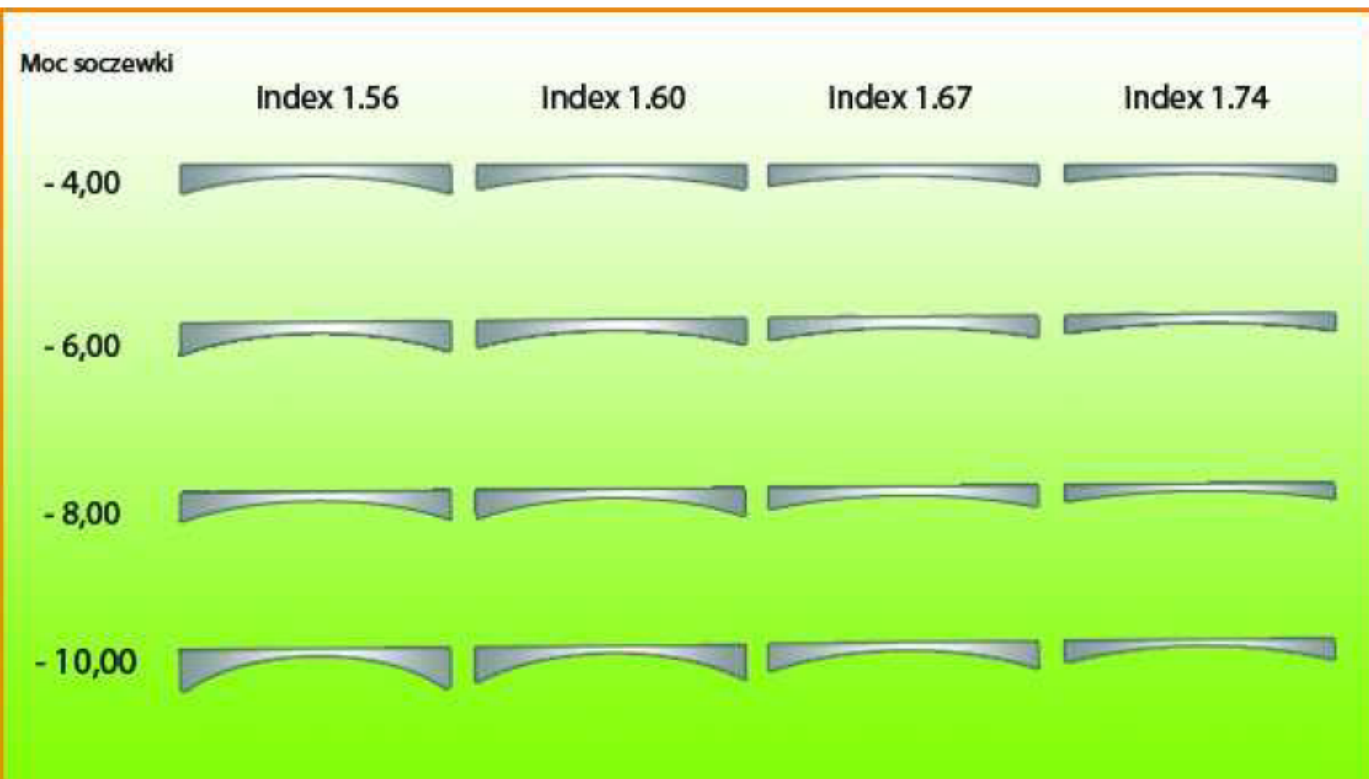


Rys. 27.10. Soczewka o bardzo złożonej konstrukcji ϕ 325 mm, $h = 325$ mm, wykonana obróbką mechaniczną tworzywa (żywica akrylowa)

Materiały wykorzystywane w optyce okularowej

- szkła optyczne mineralne (coraz rzadziej)
- szkła organiczne (PMMA, CR-39, Trivex)
- poliwęglan
- plastiki z grupy poliuretanów o dużej wartości współczynnika załamania światła

L.p.	Nazwa grupy	symbol	Wsp. załamania
1.	nisko indeksowe	LI	$1.48 < n_e < 1.54$
2.	średnio indeksowe	MI	$1.54 < n_e < 1.64$
3.	wysoko indeksowe	HI	$1.64 < n_e < 1.74$
4.	bardzo wysoko indeksowe	THI	$n_e > 1.74$



L.p.	Nazwa	n_e	liczba Abbego	gęstość g/cm^3	Własności
1.	PMMA	1.50	53	1,17	
2.	CR-39	1.50	58	1,32	
3.	CR-407	1.56	34	1,28	znacznie mniejszy od CR 39 za to soczewki z niego wykonane są o około 20% lżejsze i cieńsze
4.	CR-607	1.50	58	1,28	używany do soczewek fotochromowych Transitions
5.	Poliwęglan	1.59	30	1,20	bardzo wysoka odporności na uderzenia łatwo reaguje z różnymi substancjami oraz ma ogromne naprężenia wewnętrzne. Jest miękki i łatwo ulega zarysowaniu.
6.	Trivex	1.53	43/45	1,11	bardzo wysoka odporności na uderzenia, niezwykle lekki, obojętny chemicznie
7.	SunSensors+	1.55	38	1,17	Fotochromowy
8.	Solio II	1.55	40	1,20	Fotochromowy
9.	MR-7	1.66	32	1,36	mniejszy niż CR-407, ale twardszy niż poliwęglan. Mięknie w temperaturze powyżej 60° C, a w czasie obróbki mechanicznej wydzielają nieprzyjemny zapach.

10.	<i>MR-8</i>	1.60	41	1,32	siedmiokrotnie odporniejszy na przełamanie niż CR-39
11.	<i>Eyas</i>	1.60	41	1,32	wyższa odporność termiczna od MR8, krystaliczna czystość i wysoka adhezja powłok antyrefleksyjnych
12.	<i>Eynoa</i>	1.67	31	1,37	Poprawiona odporność termiczna, dobre przyleganie powłok, doskonała elastyczność i czystość
13.	<i>MR-174</i>	1.74	33	1,47	najwyższy współczynnik załamania światła, pięciokrotnie wytrzymalszy na próbę przełamania niż CR-39 doskonały do opraw bezramkowych
14.	<i>Eyvia</i>	1.74	31	1,47	Modyfikacja MR174 przez firmę Hoya dla poprawy elastyczności i odporności termicznej
15.	<i>Tribrid</i>	1.60	41	1,23	Najnowsze połączenie technologii Trivex w produkcji soczewek wysoko indeksowych, jest niezwykle cienki, lekki, przejrzysty niemal niezniszczalny

Materiały wykorzystywane w optyce

Soczewki Kontaktowe:

- materiały termoplastyczne (np. PMMA)
 - hydrożele (np. PHEMA)
 - elastomery
 - hydrożele silikonowe.
-
- kryteria optyczne (współczynnik załamania i jego dyspersja, przezroczystość)
 - właściwości mechaniczne (elastyczność, wytrzymałość, twardość)
 - właściwości powierzchniowe (zwilżalność)
 - gazoprzepuszczalność (przenikliwość dla gazów, głównie tlenu)
 - stabilność kształtu i rozmiarów niezależne od zmian temperatury i odczynu środowiska (pH)
 - odporność na gromadzenie złogów
 - możliwość czyszczenia i dezynfekcji
 - niski koszt produkcji.

Polimery ciekłokrystaliczne

Polimery ciekłokrystaliczne - polimery zdolne do generowania faz ciekłokrystalicznych.

Większość polimerów ciekłokrystalicznych zawiera w swojej strukturze znane z niskocząsteczkowych ciekłych kryształów ugrupowania o kształcie zbliżonym do pręta lub dysku.

Ugrupowania te mogą być wbudowane w główne łańcuchy polimerów, lub mogą być przyłączone jako ugrupowania boczne. Znane są też polimery nie posiadające typowych ugrupowań znanych z ciekłokrystalicznych związków organicznych a mimo to generujące fazy ciekłokrystaliczne.

Najważniejszą zaletą polimerów ciekłokrystalicznych w porównaniu do ciekłych kryształów opartych na związkach niskocząsteczkowych jest ich podwyższona odporność mechaniczna. Można z nich np. : formować folie, które nie zmieniają swojego kształtu po przejściu do stanu ciekłokrystalicznego. Można by z nich np. : wykonywać nietłukące się wyświetlacze, jednak jak dotąd przeszkodą w otrzymywaniu wyświetlaczy na bazie polimerów ciekłokrystalicznych są ich zbyt długie czasy reakcji na zmiany pola elektrycznego.

Polimery ciekłokrystaliczne znalazły jednak wiele innych zastosowań. m.in. :

- stosuje się je jako elementy piezoelektryczne
- wykorzystuje się je do budowy elementów do optyki nieliniowej
- stosuje się je jako membrany, których przepuszczalność można sterować polem elektrycznym
- są stosowane jako indykatory temperatury
- podejmowane są próby stosowania ich w nanomaszynach i nanoelektronice

Właściwości:

- Duża wytrzymałość mechaniczna
- Wysoka temperatura zeszklenia
- mały współczynnik rozszerzalności liniowej
- Bardzo dobre właściwości dielektryczne
- Duża odporność chemiczna i termiczna
- Odporność na hydrolizę, czynniki atmosferyczne oraz promieniowanie gamma
- Tworzywo anizotropowe!

Nazwy handlowe: Xydar, Vectra, Ultrax, Victrex, Zenite

METASZKŁO

- Metamateriał - materiał, którego własności zależą od jego struktury w skali większej niż cząsteczkowa, a nie jedynie od struktury cząsteczkowej.
- szczególne znaczenie w optyce i fotonice (nieklasyczne typy soczewek, anten, modulatorów i filtrów)
- Aby wpływać na falę elektromagnetyczną, metamateriał musi zawierać struktury o wielkości porównywalnej z długością tej fali (by opisać za pomocą współczynnika załamania, nawet znacznie mniejsze od długości fali – dla światła widzialnego używa się metamateriałów o strukturach wewnętrznych rozmiaru rzędu 250 nm, dla mmikrofaal – rzędu cm).

METASZKŁO

- Metaszkło – materiał, który w zakresie wybranych właściwości fizycznych jest analogiem szkła, ale którego parametry i charakterystyki (na ogół transmisyjne) wynikają głównie ze struktury, a nie ze składu chemicznego.
- Współczynnik załamania

$$n = \sqrt{\epsilon\mu}$$

- Praktycznie wszystkie przezroczyste materiały mają dodatnie wartości zarówno przenikalności elektrycznej ϵ jak i magnetycznej μ (Wiele metali (np. srebro i złoto) ma ujemną wartość dla światła widzialnego. Materiały dla których jedna z wartości lub jest ujemna są nieprzezroczyste i mają metaliczny połysk).
- Ostatnie badania wykazały, że mogą istnieć materiały o ujemnym współczynniku załamania gdy jednocześnie $\epsilon < 0$ i $\mu < 0$ (jest to warunek wystarczający ale nie konieczny).

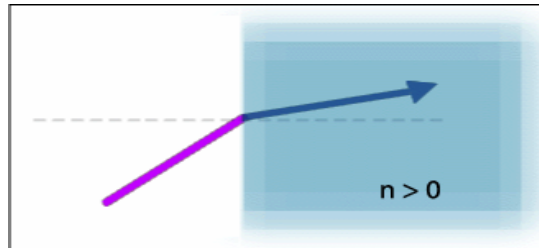
METASZKŁO

- Metaszkło o ujemnym współczynniku załamania
 - prawo załamania światła Snella obowiązuje z ujemną wartością kąta załamania,

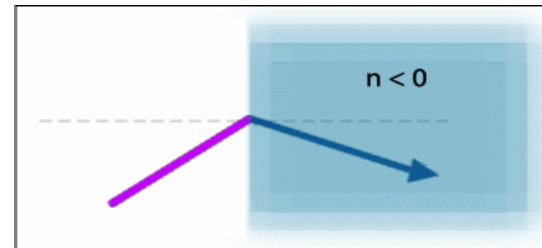
Załamanie światła zachodzi zgodnie z prawem Snelliusa:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

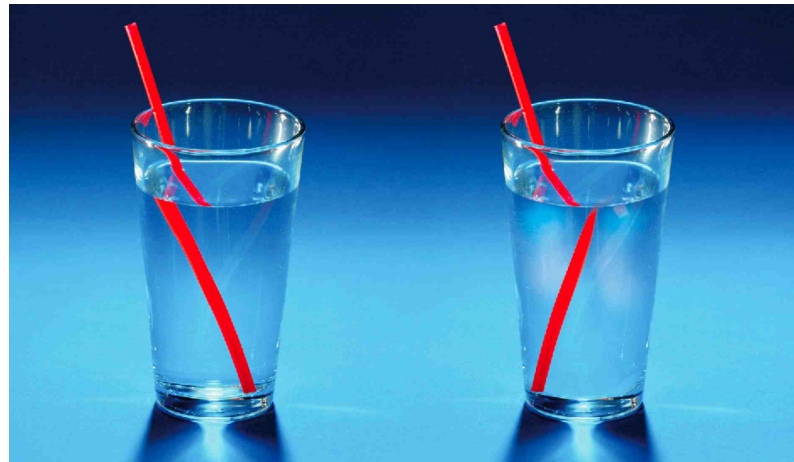
dla kąta załamania o ujemnej wartości:



normalny materiał (np. szkło, woda)

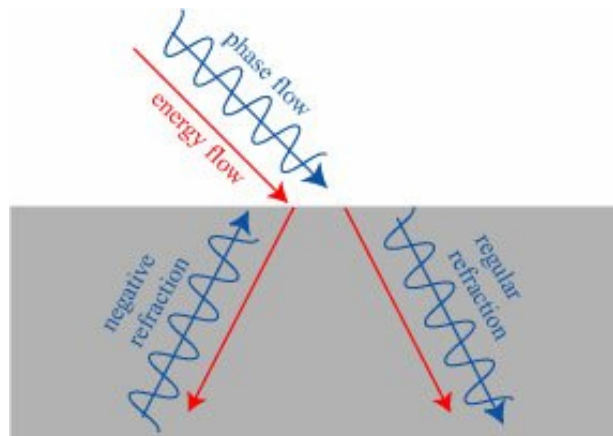


metamateriał



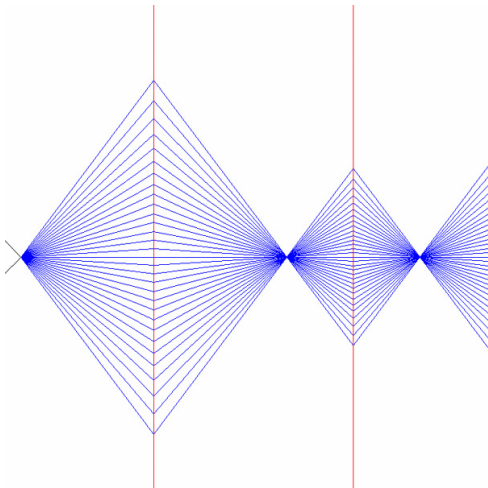
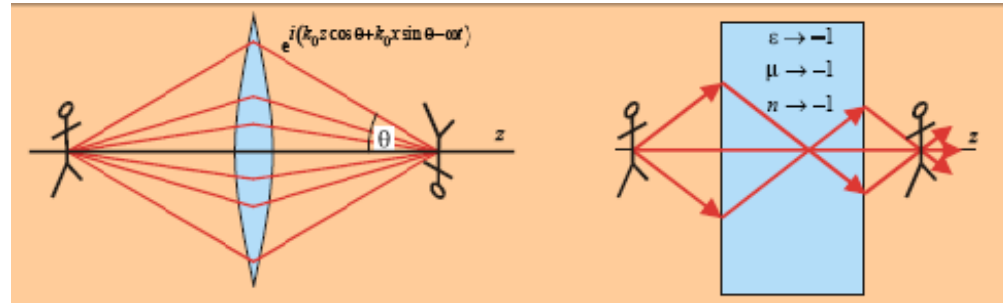
METASZKŁO

- przesunięcie częstotliwości Dopplera fali optycznej jest spełnione z odwróconą wartością wzrostu lub zmniejszenia częstotliwości (światło ze źródła poruszającego się w kierunku obserwatora ma obniżoną częstotliwość)
- Światło ma tym większą długość fali im wyższą częstotliwość (odwrotnie niż w zwykłych materiałach).
- Dla fali płaskiej propagującej a się w takim metamateriale wzajemne kierunki pola elektrycznego, pola magnetycznego i wektora Poyntinga podlegają regule lewej ręki (nie jak w regule „prawej ręki” dla iloczynu wektorowego). Fakt ten pozwala nazywać klasę materiałów: metamateriały lewoskrętne.
- prędkość fazowa fali świetlnej oraz prędkość grupowa propagują w przeciwnych kierunkach,, Kierunek propagacji i kierunek przepływu energii są więc różne!

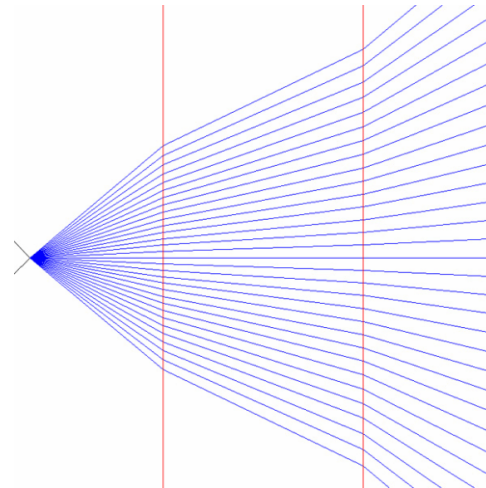


METASZKŁO

- hipotetyczna niewidzialność

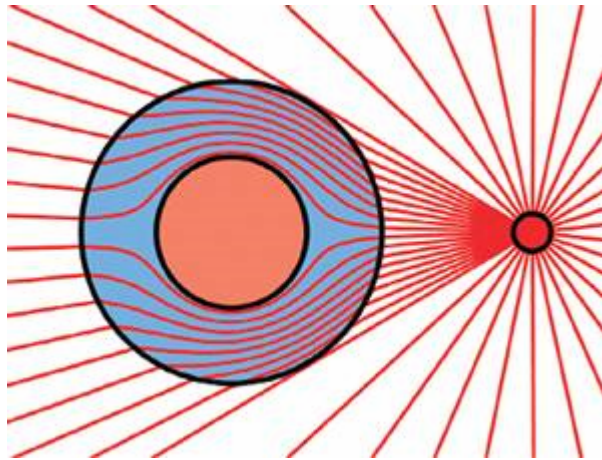


Supersoczewka
(cienka warstwa)

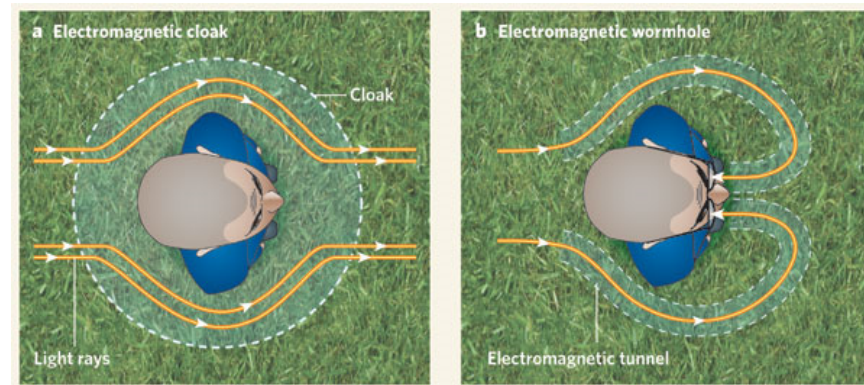


normalny materia

METASZKŁO



Rysunek wskazujący jako promienie świetlne musiałyby być ugięte wokół maskowanego obiektu, by sprawić, by stał się niewidoczny; światło rozchodzi się tak, że obserwator ma wrażenie, że przeszło przez obiekt.



Niewidzialny płaszcz
(na wybrane długości fal)

Sekretny tunel
(na wybrane długości fal)