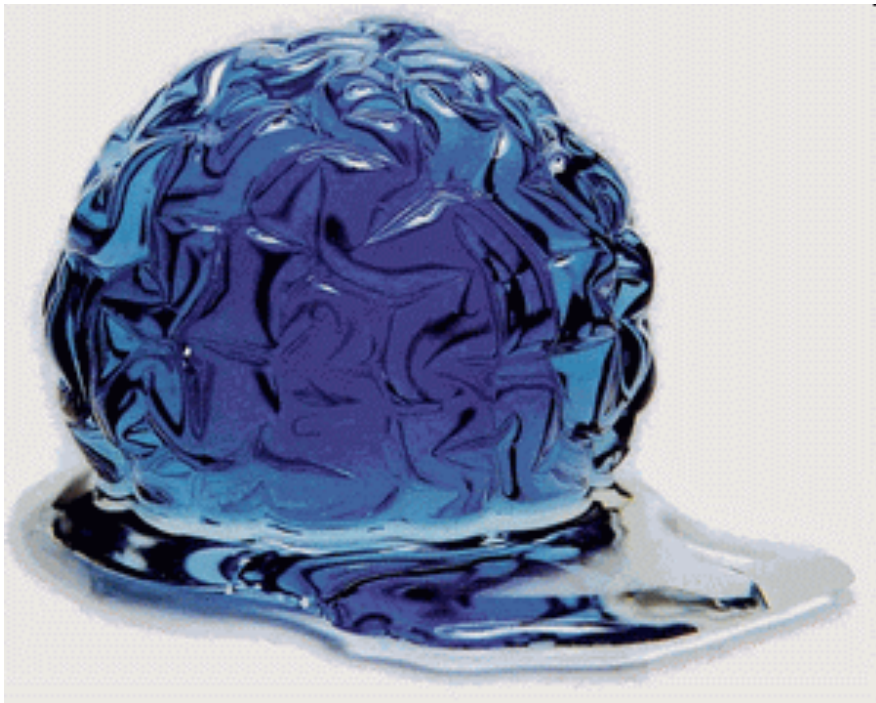




Materiały inteligentne – teraźniejszość i przyszłość

Co to są materiały inteligentne ?



Materiał inteligentny to taki, który jest zdolny do reagowania na bodźce zewnętrzne przez istotną zmianę swych właściwości dla pożądanego i skutecznego odpowiedzenia na te bodźce

Intelligent materials a smart materials

- **materiał inteligentny** powinien spełniać funkcję **czujnika** (sensora), procesora i "urządzenia" uruchamiającego - **aktuatora** (przekazującego uzyskany efekt), a jednocześnie właściwości te powinny wykazywać cechy sprzężenia zwrotnego (*feed back and feed forward*). **Występowanie tylko 2 lub 3 z wymienionych cech nie wystarcza do zaliczania materiału do klasy materiałów inteligentnych**
- **smart material** ogranicza się do uzyskania efektu zmiany właściwości pod wpływem działania bodźców zewnętrznych w sposób przewidywalny.

Podział materiałów inteligentnych

➤ **Materiały zmieniające kolor** (*colour changing materials*)

- Materiały fotochromowe (*photochromic materials*)
- Materiały termochromowe (*thermochromic materials*)
- Materiały elektrochromowe (*electrochromic materials*)

➤ **Materiały emitujące światło** (*light emitting materials*)

- Materiały elektroluminescencyjne (*electroluminescent materials*)
- Materiały fluoroscencyjne (*fluorescent materials*)
- Materiały fotoluminescencyjne (fosforyczne) (*photoluminescent (phosphorescent) materials*)
- Materiały katodoluminescencyjne (*cathodoluminescent materials*)
- Materiały termoluminescencyjne (*thermoluminescent materials*)
- Materiały radioluminescencyjne (*radioluminescent materials*)

Podział materiałów inteligentnych

- ➔ **Materiały zmieniające swój kształt lub wielkość** (*moving materials*)
 - Polimery przewodzące (*conducting polymers*)
 - Elastomery dielektryczne - materiały elektrostrykcyjne (*dielectric elastomers - electrostrictive materials*)
 - Materiały magnetostrykcyjne (*magnetostrictive materials*)
 - Materiały piezoelektryczne (*piezoelectric materials*)
 - Żele polimerowe (*polymer gels*)
 - Materiały z pamięcią kształtu (*shape memory alloys (SMA)*)

Podział materiałów inteligentnych

- **Materiały zmieniające temperaturę** (*temperature changing materials*)
 - Materiały termoelektryczne (*thermoelectric materials*)
- **Ciecze zmieniające swoją gęstość** (*thickness changing fluids*)
 - Ciecze magnetoreologiczne (*magnetorheological fluids MRFs*)
 - Ciecze elektroteologiczne (*electrorheological fluids ERFs*)
- **Materiały samogrupujące się** (*self assembling materials*)
 - Materiały samogrupujące się (*self assembling materials*)
- **Materiały samonaprawiające się** (*self repairing materials, self healing materials*)

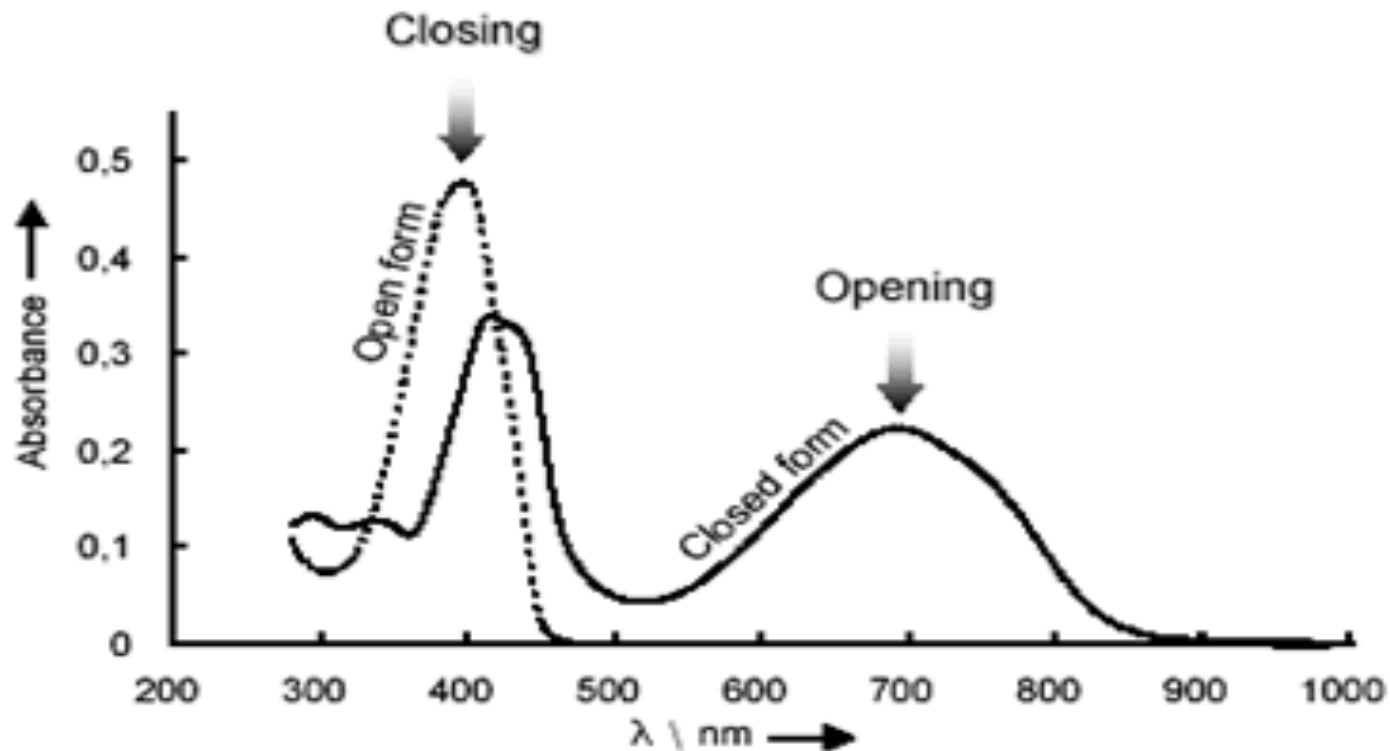
Materiały fotochromowe

- **Materiały fotochromowe** odwracalnie zmieniają barwę, w zależności od natężenia padającego na nie światła.
- Zazwyczaj są pozbawione koloru, gdy znajdują się w ciemnym miejscu - pod wpływem działania światła słonecznego lub ultrafioletowego następują zmiany materiałowe na poziomie molekularnym i w rezultacie materiał przybiera kolor.
- Po ustąpieniu działania światła, kolor zanika.

Materiały fotochromowe

- **Fotochromizm** występuje w substancjach nieorganicznych i organicznych.
- *Przykładowe substancje organiczne* to związki grupy azobenzenów, spiropyrenów, diaryloetenów itd.
- *materiały nieorganiczne*: **dwutlenek tytanu w połączeniu ze srebrem (Ag-TiO_2)**, otrzymywane w określonych warunkach, a także **dwutlenek hafnu HfO_2** i **dwufluorek wapnia CaF_2** .

Materiały fotochromowe



Zależność pomiędzy długością fali emitowanego światła a absorpcją materiału fotochromowego

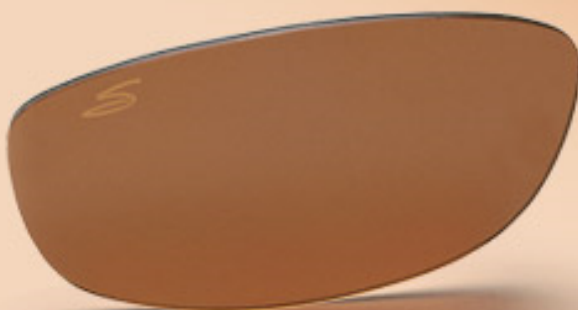
Materiały fotochromowe

O jakości danej substancji fotochromowej decyduje:

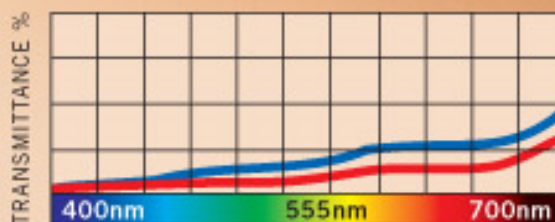
- czułość na światło,
- czas reakcji,
- stabilność termiczna obu izomerów (optymalny zakres stosowania to 180 - 240 °C),
- Trwałość,
- możliwość recyklingu bez starty charakterystycznych właściwości

W kontakcie substancji fotochromowej z ludzką skórą lub oczami, może ona wywoływać podrażnienia.

Materialy fotochromowe



POLARMAX™ DRIVERS® LENS



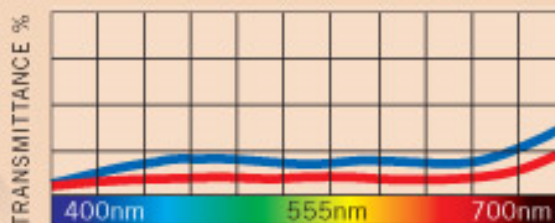
17% TRANSMITTANCE LIGHTENED LENS

9% TRANSMITTANCE DARKEND LENS¹

¹Blocks virtually 100% of UVB and UVA rays.



POLARMAX™ CPG LENS



18% TRANSMITTANCE LIGHTENED LENS

9% TRANSMITTANCE DARKEND LENS¹

¹Blocks virtually 100% of UVB and UVA rays.

Materiały termochromowe

- **Termochromizm to zdolność do odwracalnej zmiany kolorów, pod wpływem zmiany temperatury.**
- Najczęściej zakres temperatury -15 do 250 °C,
- możliwe obustronne poszerzenie tej granicy.
- Rozmiary mikrokapsuł materiałów termochromicznych wynoszą 1-6 μm , a najwyższa osiągnięta temperatura, w której materiał ten jeszcze nie ulega zniszczeniu, wynosi 280 °C

Czynniki determinujące termochromizm w materiałach organicznych

- **różnice w strukturze krystalicznej (ciekłe kryształy)**
- Termochromowe ciekłe kryształy przybierają różne barwy przy różnej temperaturze z powodu selektywnego odbijania promieni światła o określonej długości fali od ich struktury.

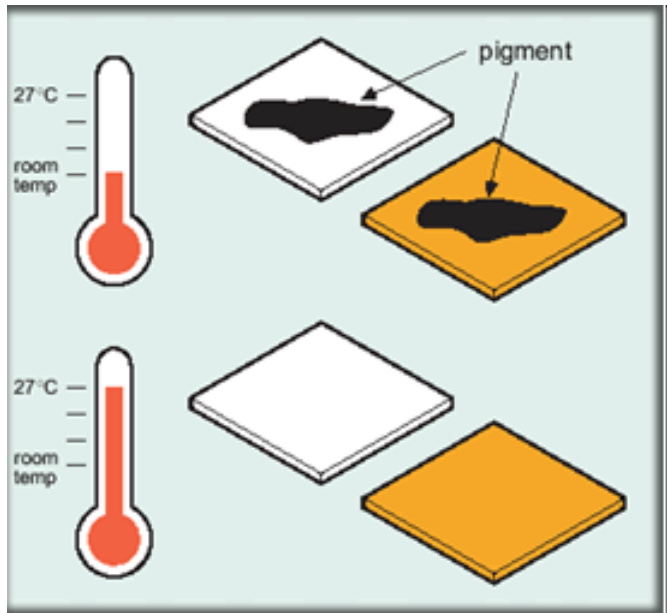
Termochromizm w substancjach nieorganicznych

Wiele metali i związków nieorganicznych zachowuje się jak materiały termochromowe, zarówno w postaci stałej jak i ciekłej.

Przyjmuje się, że zachowanie to może mieć źródło w następujących mechanizmach:

- przesunięcie fazy
- utrzymanie równowagi pomiędzy różnymi strukturami cząsteczkowymi
- zmiana liczby rozpuszczonych cząsteczek.

Termochromizm



Nowe zastosowanie termochromizmu.....



Materiały elektrochromowe

Elektrochromizm to zdolność do odwracalnych zmian optycznych, pod wpływem przepływu elektronów (a więc pod wpływem działania prądu elektrycznego).

Zmiany optyczne polegają na widzialnej zmianie koloru; może to być przemiana z substancji bezbarwnej do zabarwionej lub przemiana typu kolor - kolor.

Materiały elektrochromowe

Cechy które decydują o jakości danego materiału elektrochromowego to:

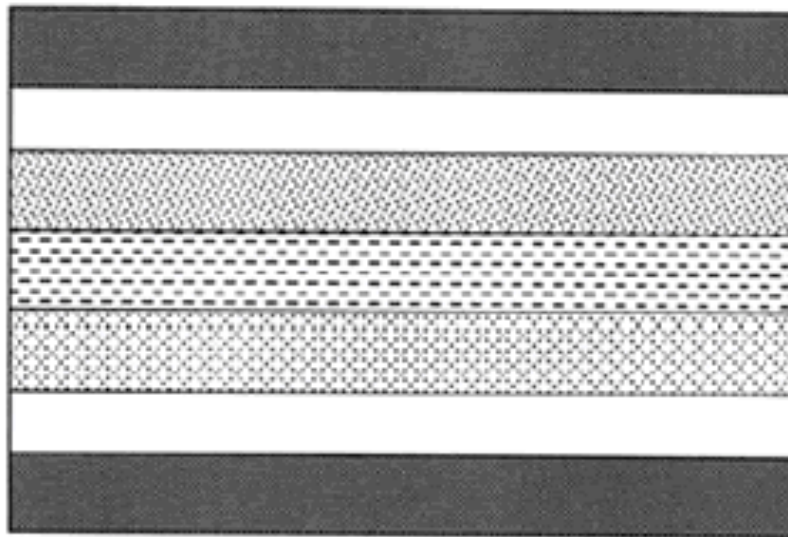
- *czułość,*
- *czas reakcji,*
- *stabilność elektrochromatyczna i termiczna,*
- *trwałość (możliwa liczba cykli),*
- *możliwość recyklingu bez starty charakterystycznych właściwości .*

Materiały elektrochromowe

- **Przewodzące tlenki metali**
- Po raz pierwszy zaobserwowano elektrochromizm w **trójtlenku wolframu WO_3** w 1969, do dzisiaj jednym z najczęściej i najchętniej używanych materiałów elektrochromowych.
- Znane są również inne tlenki metali, potrafiące zmieniać kolor pod wpływem przepływu elektronów, są to m.in. trójtlenek molibdenu MoO_3 , pięciotlenek dwuwanadu V_2O_5 , pięciotlenek dwuniobu Nb_2O_5 :

Materiały elektrochromowe

- Urządzenie elektrochromatyczne, jakim jest np. szyba, składa się z pięciu aktywnych warstw:



szkło

przezroczysta przewodząca elektroda

"pracująca" elektroda

elektrolit (warstwa przewodząca jony)

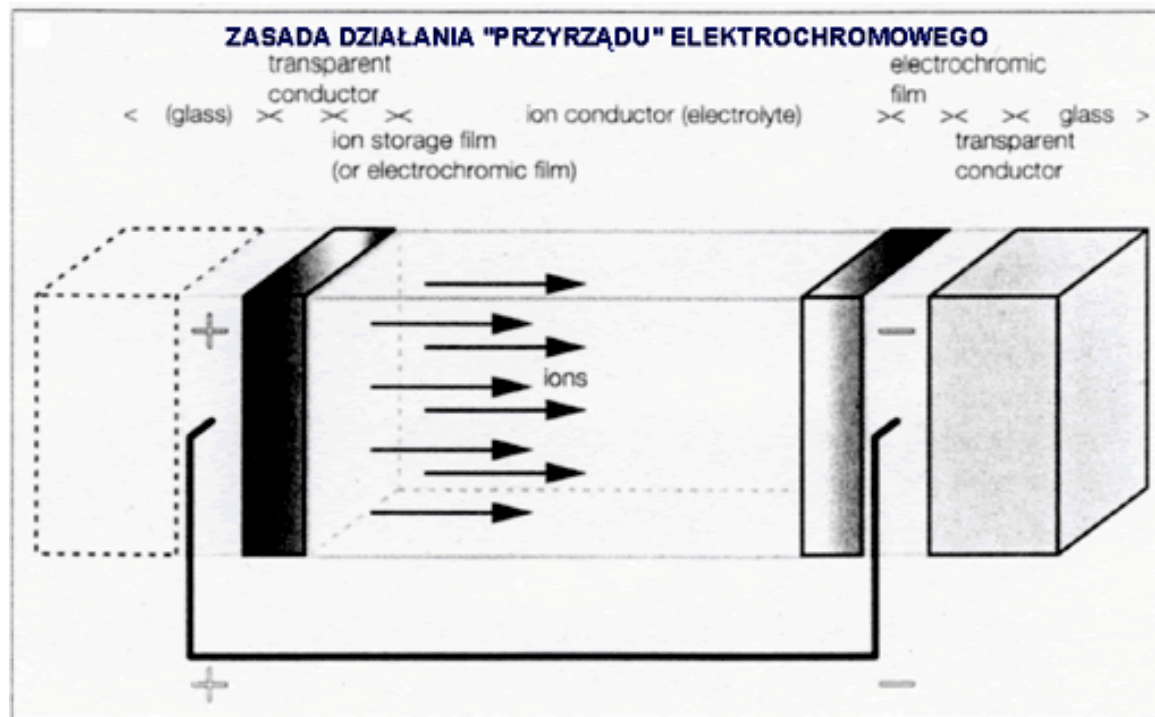
elektroda przeciwna

przezroczysta przewodząca elektroda

szkło

Materiały elektrochromowe

- Dla szyb najważniejszym materiałem na "pracującą" elektrodę jest trójtlenek wolframu. Szybkość zmiany kolorów jest stosunkowo mała i jest uzależniona od szybkości przemieszczania się jonów w warstwie elektrolitu.



„Intelligentne okna”



Materiały elektroluminescencyjne

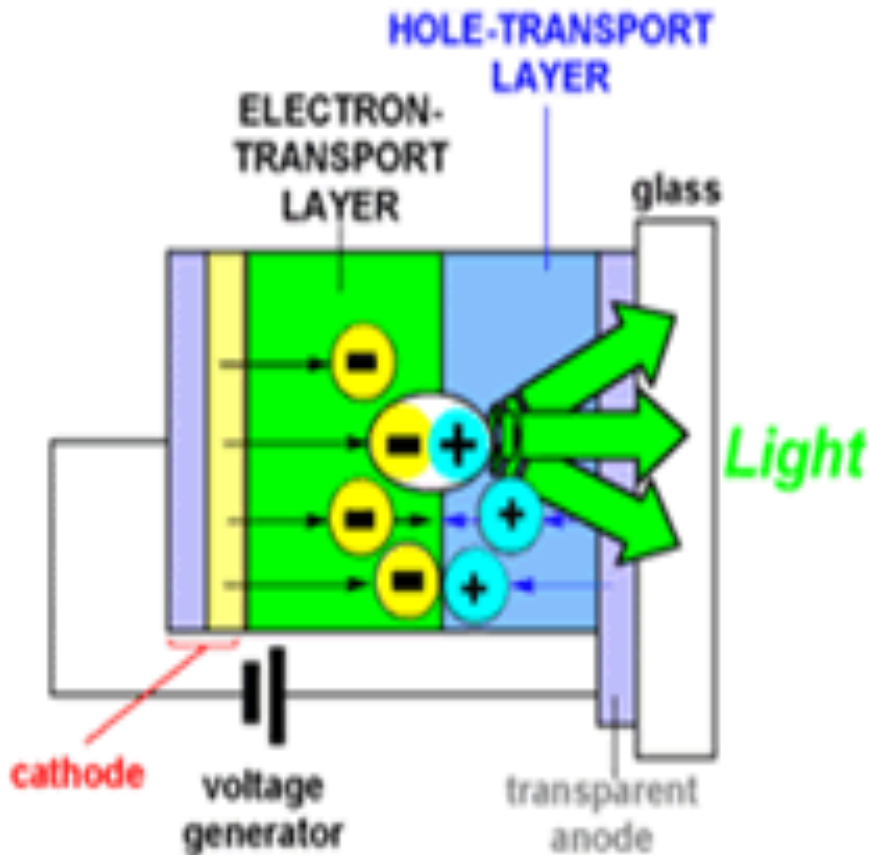
Elektroluminescencja to zdolność niektórych substancji do emitowania światła, kiedy płynie przez nie prąd (występuje różnica potencjałów). Przy emisji światła nie wydzielają się ciepło.

Wszystkie substancje **elektroluminescencyjne** są jednocześnie materiałami **fotoluminescencyjnymi**, - emitują światło także pod wpływem działania światła o odpowiedniej długości fali.

LED (Light-Emitting Diode)

OLED (Organic Light-Emitting Diode)

Elektroluminescencja



Jedna z elektrod (po prawej) jest przezroczysta - dzięki temu emitowane światło jest zauważalne. Materiał znajdujący się pomiędzy elektrodami jest izolatorem - w przypadku substancji nieorganicznych może to być np. siarczek cynku ZnS , siarczek strontu SrS , siarczek wapnia CaS , selenek kadmu $CdSe$ lub $CaGa_2S_4$.

Zalety lamp elektroluminescencyjnych

- możliwość uzyskania złożonych kształtów
- mała masa i elastyczność
- niski pobór mocy
- praktycznie brak wydzielanego ciepła
- niewielka wrażliwość na wstrząsy i drgania

Zastosowanie elektroluminescencji



Ekran OLED

Polimery elektroluminescencyjne, inaczej polimery emitujące światło (**LEP, z ang. *Light Emitting Polymers***) to polimery emitujące światło pod wpływem przyłożonego do nich napięcia elektrycznego.

ZALETY OLED:

- **nie wymagają podświetlenia** - mogą być cieńsze (kilkadziesiąt mikrometrów) i lżejsze oraz bardziej energooszczędne,
- są bardziej wytrzymałe mechanicznie,
- duży kąt obserwacji (do 180 stopni),
- małe napięcie sterujące (kilka V),
- są tańsze i proste w produkcji

Materiały fluorescencyjne

- **Materiały fluorescencyjne** - emitują widzialne lub niewidzialne światło jako rezultat działania promieni o małej długości fali (np. promienie X, ultrafiolet. itd). Światło emitowane jest tylko gdy materiał jest pod wpływem działania wspomnianych promieni - skoro tylko promienie UV lub promienie X przestaną być emitowane - efekt szybko zanika.

Naturalne materiały fluorescencyjne

- Przy produkcji **białego papieru**, dodaje się niewielką ilość materiałów fluorescencyjnych, które sprawiają że papier wydaje się być jaśniejszy,
- Gorzki smak **toniku** jest spowodowany występowaniem związku chemicznego o nazwie chinina, który pod wpływem promieniowania UV przybiera niebiesko-biały kolor.
- **Płyny fizjologiczne ciała ludzkiego** (krew, uryna, sperma) które ma człowiek zawierają cząsteczki o właściwościach fluorescencyjnych; właściwość ta jest wykorzystywana w kryminalistyce i przy sekcjach zwłok.
- **Witamina A oraz część witamin z grupy B** są silnie fluorescencyjne, np. witamina B-12 rozgnieciona i rozpuszczona w occie świeci na jaskrawy żółty kolor (w promieniach UV).

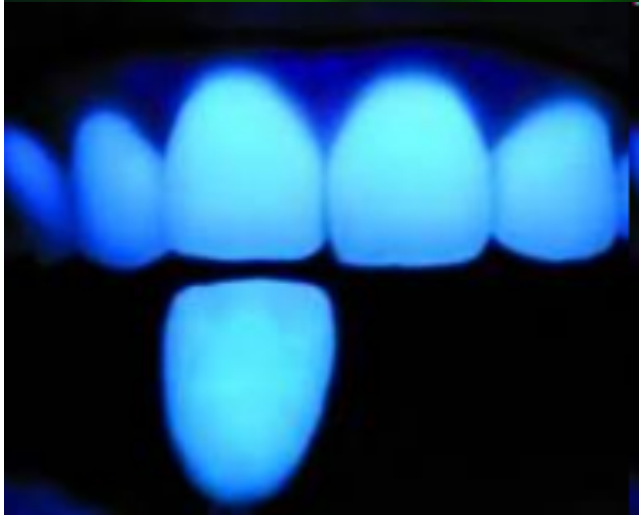
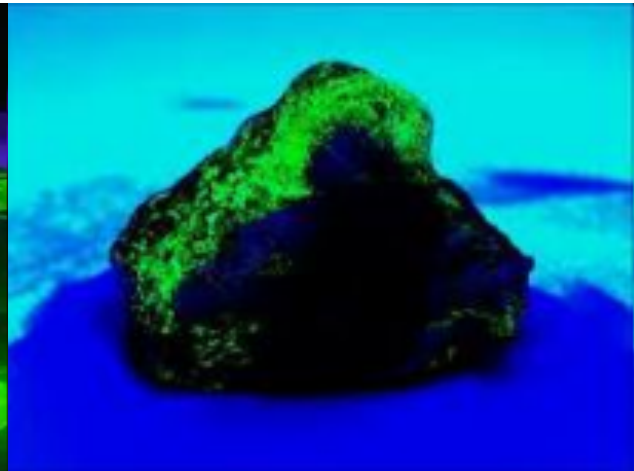
Naturalne materiały fluorescencyjne

- Dzięki **chlorofilowi** rośliny mają zielony kolor, ale pod wpływem promieniowania ultrafioletowego świeci na krwistoczerwony kolor.
- Do części **środków piorących** są dodawane substancje fluorescencyjne. Część z nich pozostaje na pranych ubraniach, np, gdy biała koszula ma niebieskawy odcień.
- **Wybielacze do zębów**
- **Pieczątki pocztowe**
- Część protein **meduzy** ma silne właściwości fluorescencyjne.
- **Niektóre minerały i kryształy** m.in. fluoryt, kalcyt, gips, talk, rubin, opal, adomit, cyrkon, kwarc i bursztyn.

Zastosowanie materiałów fluorescencyjnych

- Monitory komputerów i ekrany telewizorów
- Lampy i światła
- Ubrania, elementy bezpieczeństwa, taśmy
- Filtry do okularów zatrzymujące promieniowanie ultrafioletowe
- Urządzenia wykrywające promienie UV
- Identyfikacja minerałów i skał (geologia)
- Kryminalistyka
- "Niewidzialne" atramenty
- Wielowarstwowe płyty CD i DVD o zwiększonej pojemności

Fluorescencja



Fotoluminescencja

- **Fotoluminescencja to zdolność do pochłaniania energii świetlnej i następnie emitowanie jej w postaci światła widzialnego w wyniku stopniowego "uwalniania" zmagazynowanej energii.**
- **Obserwujemy to jako świecenie materiału - zjawisko to trwa jakiś czas od naświetlenia, a więc nie zanika przy braku promieni świetlnych (w przeciwieństwie do zjawiska fluorescencji).**
- **Substancje fotoluminescencyjne są bezpieczne w użyciu, nietoksyczne i nieradioaktywne.**

Zastosowanie fotoluminescencji

- Znaki i elementy bezpieczeństwa
- Elementy wyposażenia do ratowania życia
- Elementy na tarcze zegarków
- Taśmy
- Farby i atramenty
- Wyświetlacze



Materiały katodoluminescencyjne

Materiały katodoluminescencyjne emitują światło, gdy na ich powierzchnię pada strumień elektronów.

Substancjami **katodoluminescencyjnymi** są m.in.:

- Tlenek itru z domieszką gadolinu (Y_2O_3-Gd)
- Mieszanina selenku kadmu z siarczkiem cynku (CdSe-ZnS)

Materiały katodoluminescencyjne nie mają szerokiego zastosowania; **najczęściej wykorzystuje się je przy spektroskopii i dokładnych analizach cząsteczkowych elektronowymi mikroskopami skaningowymi (firma Gatan).**

Radioluminescencja

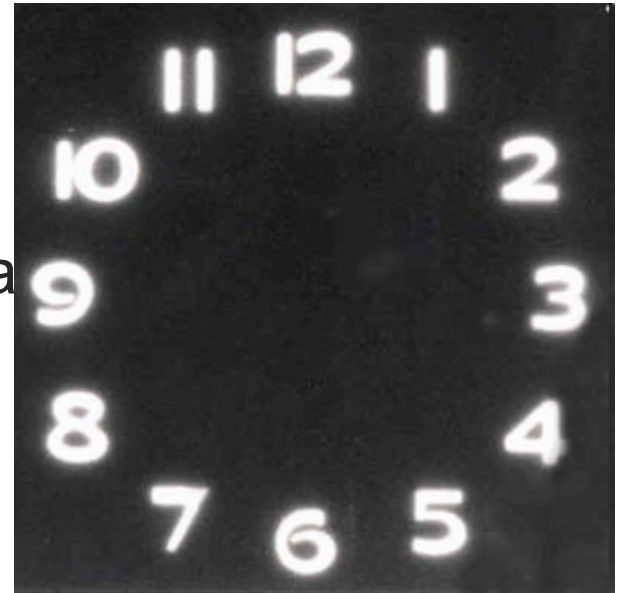
Radioluminescencja jest wywoływana działaniem **promieniowania jądrowego** - niektóre substancje pod jego wpływem świecą. Promieniowaniem tym może być **promieniowanie γ** , **promienie X** lub **cząstki α i β** . Promieniowanie pobudza elektrony na wyższe stany energetyczne

Zastosowanie radioluminescencji

Materiałem, który wykazuje własności radioluminescencyjne jest m.in. **siarczek cynku ZnS**.

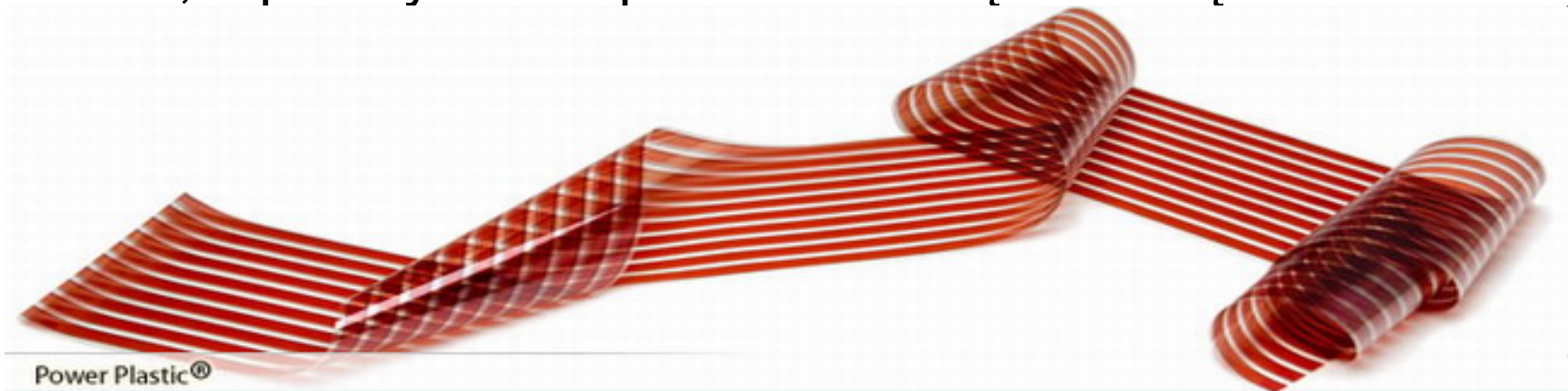
Radioluminescencja tego typu była stosowana jeszcze przed 1920 rokiem do lat 90. XX wieku - na tarcze zegarków była nakładana emulsja z siarczkiem cynku i źródłem promieniowania, którym był Tor, Promet 147 lub Rad 226

Zaprzestanie stosowania radu nastąpiło po wykryciu fatalnych skutków jego oddziaływania na organizmy żywe.



Polimery przewodzące

Duże nadzieje wiąże się z **budową diod wysyłających światło**, w których element świecący stanowi warstwa przewodzącego polimeru umieszczona między elektrodami połączonymi ze źródłem zasilania. Matryce złożone z milionów takich diod mogą w niedalekiej przyszłości stanowić naprawdę płaskie i elastyczne ekrany odbiorników telewizyjnych i komputerów. Ekrany te z łatwością można by zawieszać na ścianie, a po użyciu bezpiecznie zwinąć w rolkę.



Zasada działania elastomerów dielektrycznych

Elastomery dielektryczne zwane polimerami elektrostrykcyjnymi pod wpływem przyłożonego napięcia elektrycznego wykazują mechaniczne odkształcenie.

Elastomery dielektryczne dają większe wartości odkształcenia i siły niż większość innych rozwiązań (zdolność do odkształceń jest znacznie wyższa niż w piezoceramikach (10-30% vs. 0,1-0,3%)). Pod tym względem ich parametry są zbliżone do mięśni. Stąd ich potoczna nazwa - "sztuczne mięśnie"

Zastosowanie elastomerów dielektrycznych

Głośniki: Tworzy go rozpięta warstwa elastomeru dielektrycznego na ramce. Tak uzyskana membrana, rozciągając się i kurcząc zgodnie z doprowadzanym napięciem, będzie źródłem dźwięku. Może stanowić lekki, płaski i tani głośnik, w którym element drgający zarazem wymusza ruch i emituje dźwięk.

Powierzchnie o zmiennej fakturze i powierzchnie inteligentne

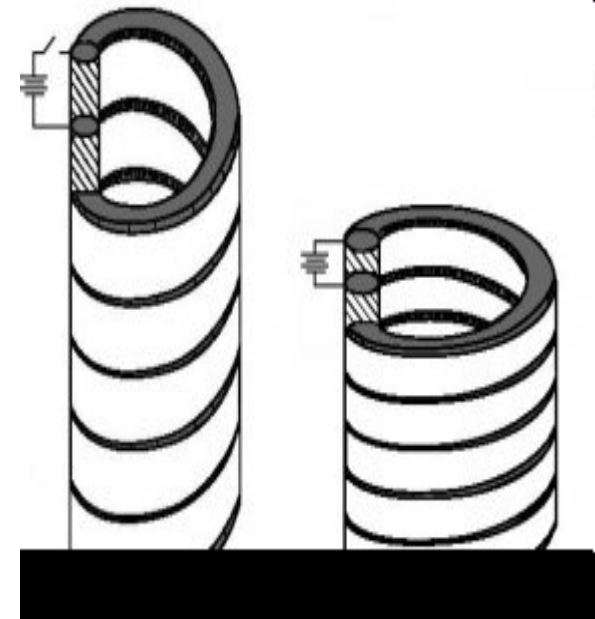
- Jeżeli na powierzchnię polimeru naniesie się wiele elektrod, na przykład w postaci kropek, można w zależności od potrzeb zmieniać jej kształt.

Zastosowanie elastomerów dielektrycznych

Spring rollsy, węże i ramiona robotów -

Polimery, dielektryczne umożliwiają projektowanie sterowanych wydłużających się lub zginających siłowników.

Siłowniki cylindryczne (tzw. *spring rollsy*) mogą mieć wiele zastosowań w robotach, protezach, pompach, zaworach i wszędzie tam, gdzie wymagany jest przesuw liniowy



Materiały magnetostrykcyjne (MM)

Materiały magnetostrykcyjne należą do grupy materiałów inteligentnych, które **przekształcają energię magnetyczną w energię odkształcenia sprężystego**. Ze względu na odwracalność zjawiska magnetostrykcyjnego mogą służyć jako **aktuatory i czujniki**.

Otrzymywanie materiałów magnetostykcyjnych

- Otrzymywanie MM obejmuje wiele nowoczesnych technik wytwarzania.
- Niektóre z nich bazują na kosztochłonnej **metodzie kierunkowej krystalizacji**. Metoda ta polega na topieniu stopu w tyglu ceramicznym, a następnie wlewaniu go, przez otwór w dnie, do nagrzanej formy. Inne techniki wykorzystują procesy otrzymywania amorficznych i krystalicznych cienkich warstw.
- **Metoda metalurgii proszków** pozwala na masową produkcję małych wyrobów o skomplikowanych kształtach.

Zastosowanie materiałów magnetostykcyjnych

- **Zjawiska magnetostrykcji oraz odwrotny efekt Villariego znajdują zastosowanie jako** aktuatory i sensory, m.in. w sonarach, czujnikach sejsmicznych, tomografii geologicznej, zaworach hydraulicznych układów wtrysku paliwa, pompach hydraulicznych, lustrach o zmiennej geometrii, urządzeniach do odgazowywania przy wulkanizacji gumy, przemysłowym myciu ultradźwiękowym, sensorach ruchu, siły i pola magnetycznego

Materiały piezoelektryczne

Materiały piezoelektryczne przetwarzają energię elektryczną w mechaniczną i odwrotnie.

Odkształcenia sprężyste piezoelektryka wywołuje w nim powstanie wewnętrznego pola elektrycznego (efekt piezoelektryczny prosty) lub umieszczenie materiału w polu elektrycznym prowadzi do zmiany jego wymiarów (efekt piezoelektryczny odwrotny).

Podstawowe ceramiczne materiały piezoelektryczne

Podstawowe ceramiczne materiały
piezoelektryczne:

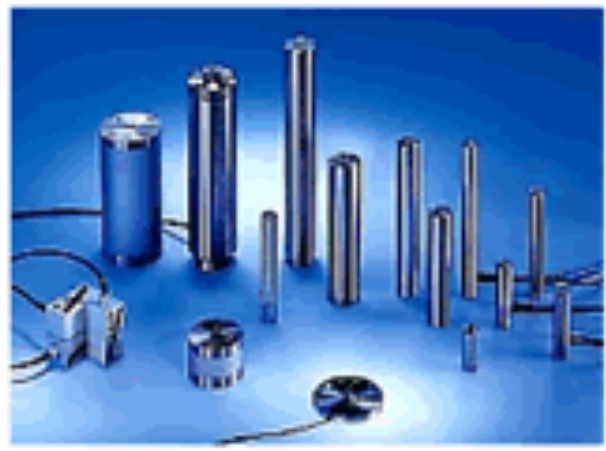
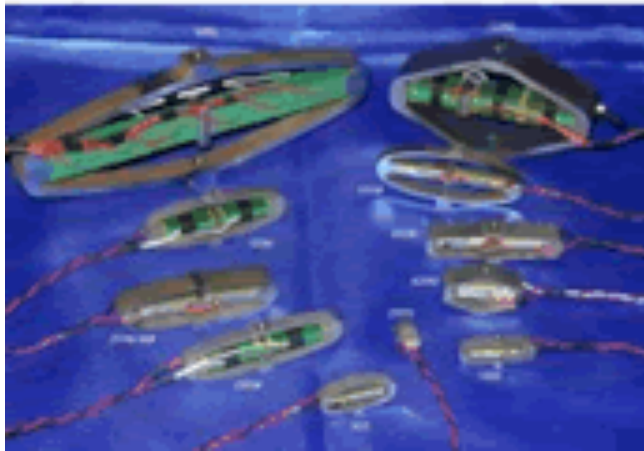
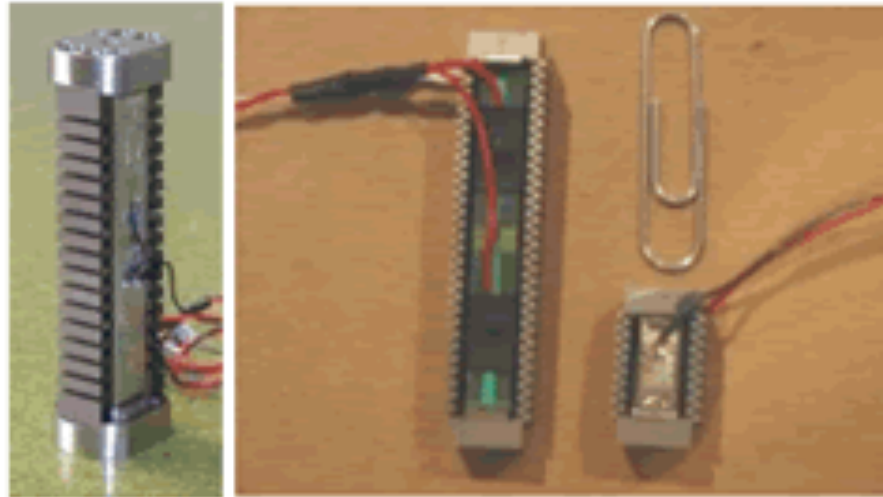
- **tytaniań baru** (BaTiO_3)
- **tytaniań ołowiu** (PbTiO_3)
- **cyrkonian - tytaniań ołowiu** (PZT)
- **nioban ołowiu i magnezu** - PMN
($\text{PbMg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3}\text{O}_3$)

Zastosowanie materiałów piezoelektrycznych

Typowe zastosowania ceramiki piezoelektrycznej

Wykorzystane zjawisko	Zakres zastosowań
Efekt piezoelektryczny prosty	Odbiorniki dźwięku, mikrofony, hydrofony, generatory energii elektrycznej, generatory iskry, sensory (ciśnienia akustycznego, drgań)
Efekt piezoelektryczny odwrotny	Nadajniki dźwięku, silniki piezoelektryczne, piezoelektryczne transformatory, serwomechanizmy, aktuatory
Rezonans piezoelektryczny	Rezonansowe stabilizatory częstotliwości, rezonansowe sensory ciśnienia, wilgoci i temperatury, filtry piezoelektryczne
Elektrostrykcja	Filtry piezoelektryczne, wzmacniacze

Zastosowanie materiałów piezoelektrycznych



Polimery piezoelektryczne

- **Polimery piezoelektryczne** coraz częściej zastępują ceramiczne materiały piezoelektryczne. Polimery te nie są kruche tak jak ceramiczne materiały piezoelektryczne i odznaczają się wyraźnie niższą akustyczną impedancją właściwą, znacznie korzystniejszą do niektórych zastosowań.
- Polimery piezoelektryczne charakteryzują się łatwymi i znacznie tańszymi metodami wytwarzania.

Zastosowanie piezoelektryków w badaniach materiałowych

➔ Czujniki piezoelektryczne mogą być umieszczone **wewnątrz materiału** lub na jego **powierzchni**. W większości przypadków z ich pomocą monitorowany jest stan całego wyrobu lub konstrukcji. Najczęściej monitorowane są drgania konstrukcji, uszkodzenia spowodowane udarami, uszkodzenia wewnętrzne (za pomocą sygnałów diagnostycznych lub fali Lamba), a także impedancja strukturalna. Informacje uzyskane na skutek monitorowania drgań konstrukcji mogą posłużyć do określenia stanu konstrukcji tj. stopnia jej uszkodzenia i degradacji. Wyróżnia się monitorowanie pasywne i aktywne.



Żele polimerowe

- **Żele polimerowe to substancje, które przy wzroście temperatury kurczą się, podczas gdy przy ochłodzeniu rozszerzają się.**
- **Żele polimerowe** mogą być wykorzystane do konstrukcji nanourządzeń: **czujników** i członów wykonawczych.
Nowe **żele inteligentne** zdolne są do niewymuszonych, periodycznych oscylacji przypominających bicie serca.

Materiały z pamięcią kształtu

- są unikatową klasą stopów metali, które mogą zmieniać kształt, przy podgrzaniu powyżej pewnej temperatury. Zmiana kształtu polega na powrocie materiału do kształtu wyjściowego, tego który został "zapamiętany" lub na tzw. efekcie pseudoelastyczności.

Materiały te posiadają dwie stabilne fazy:

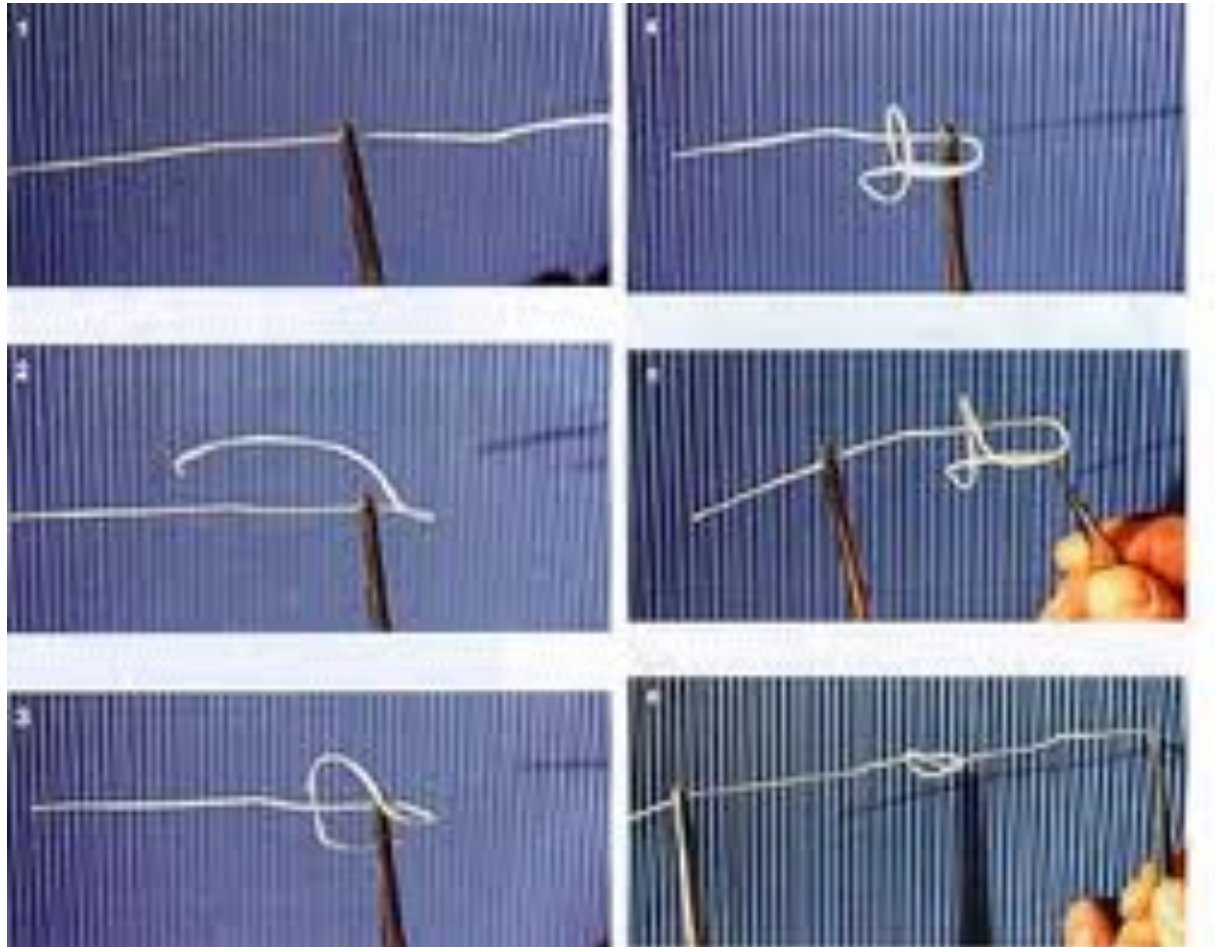
- fazę wysokotemperaturową (austenit)
- niskotemperaturową (martenzyt).

Dodatkowo, faza martenzytyczna występuje w dwóch formach: zbliźnionzonej i zbliźnionzonej zniekształconej.

Stopy z pamięcią kształtu

- Najpowszechniej i najczęściej stosowanymi materiałami z pamięcią kształtu są stopy niklowo-tytanowe Ni-Ti. Ogólna nazwa tych stopów to **Nitinol**. Po raz pierwszy odkryto ich szczególne właściwości w 1961 roku w Nickel Titanium Naval Ordnance Laboratory.

Stopy z pamięcią kształtu



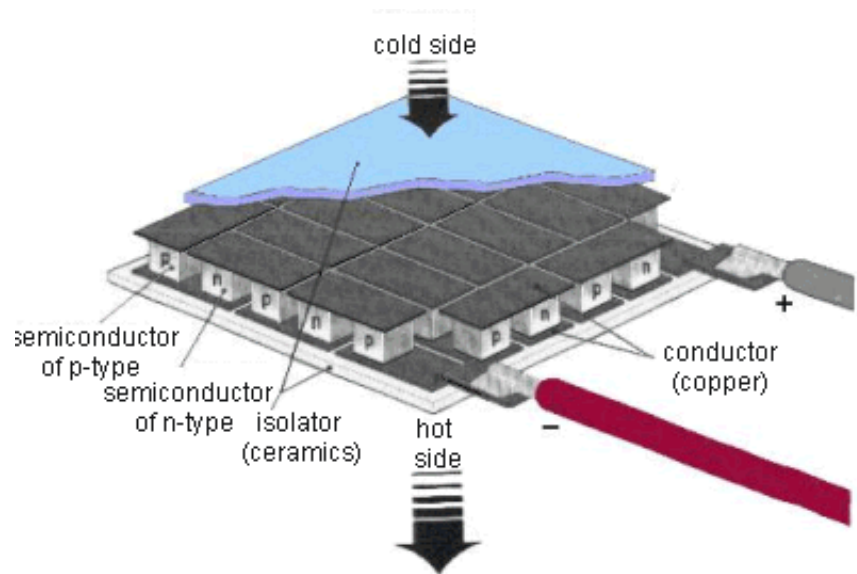
Efekt Seebeck'a

Efekt Seebeck`a następuje, gdy przez dwa różne materiały (przy gradiencie temperatury) następuje przemieszczanie elektronów i jednocześnie pojawienie się prądu elektrycznego.

Ciepło jest absorbowane przez zimną stronę materiału, przechodzi przez urządzenie i jest emitowane na stronie materiału o najwyższej temperaturze. Od momentu rozpoczęcia "przechodzenia" ciepła, generuje się prąd elektryczny.

Efekt Peltier'a

Efekt Peltier'a jest zjawiskiem odwrotnym do efektu Seebecka. Występuje, gdy przez dwa różne materiały przepuszczany jest prąd elektryczny: wywołuje to wystąpienie gradientu temperatury, czyli w rezultacie, wydzielenie ciepła.



Materiały termoelektryczne

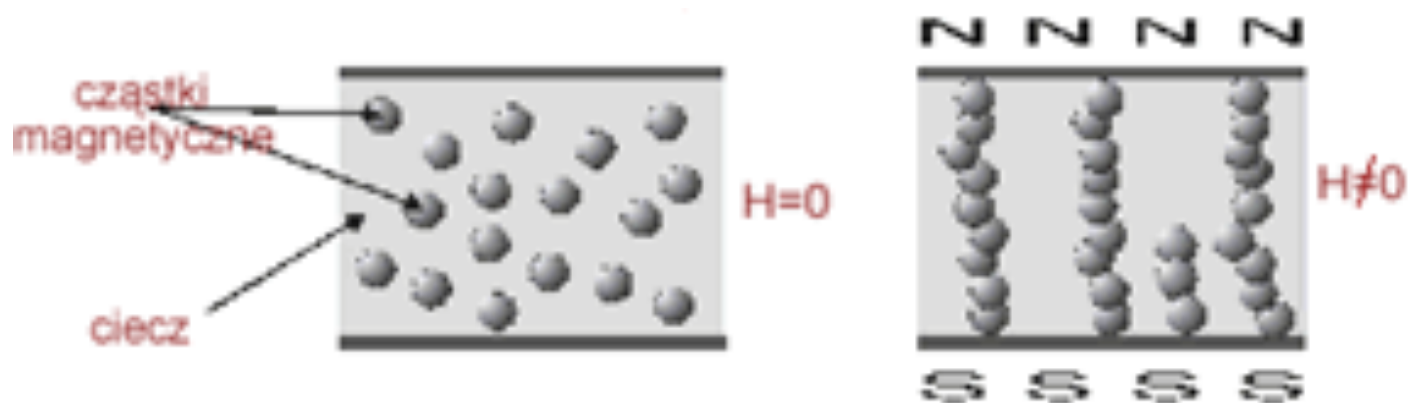
- **Dobre właściwości termoelektryczne wykazuje półprzewodnikowy Bi_2Te_3 , dlatego ta właśnie substancja jest jedną z najpowszechniej używanych.** Zjawisko termoelektryczne jest zauważalne zwłaszcza w przedziale temperatury -10 do 130 °C- szerokie zastosowanie tellurku bizmutu w większości urządzeń termoelektrycznych.
- Urządzenie z Bi_2O_3 może obniżyć swoją temperaturę o 50 st. C (w stosunku do otoczenia), ale jeśli dodać ciez, spadek temperatury sięga $60-100$ °C (w skrajnych przypadkach - o 200 °C).

Zastosowanie materiałów termoelektrycznych



Ciecze magnetoreologiczne

- cieczami, które mogą gwałtownie zmienić swoje własności lepkości. Ciecze te mogą zmieniać swoją konsystencję z gęstego płynu (o konsystencji np. oleju samochodowego) do prawie ciała stałego - osiągnięty końcowy stan materiału zależy od tego jak silne pole magnetyczne zostanie zastosowane. Proces ten trwa zaledwie kilka (1-10 ms) ms i **jest wywołany obecnością pola magnetycznego**. Efekt ten może być odwrócony równie szybko jak został wywołany. Ciecz magnetoreologiczna zmienia swoją lepkość pod wpływem działania pola magnetycznego; **jest układem dyspersyjnym złożonym z nośnika w postaci oleju mineralnego lub syntetycznego, w którym rozproszona jest zawiesina ferromagnetyczna**.

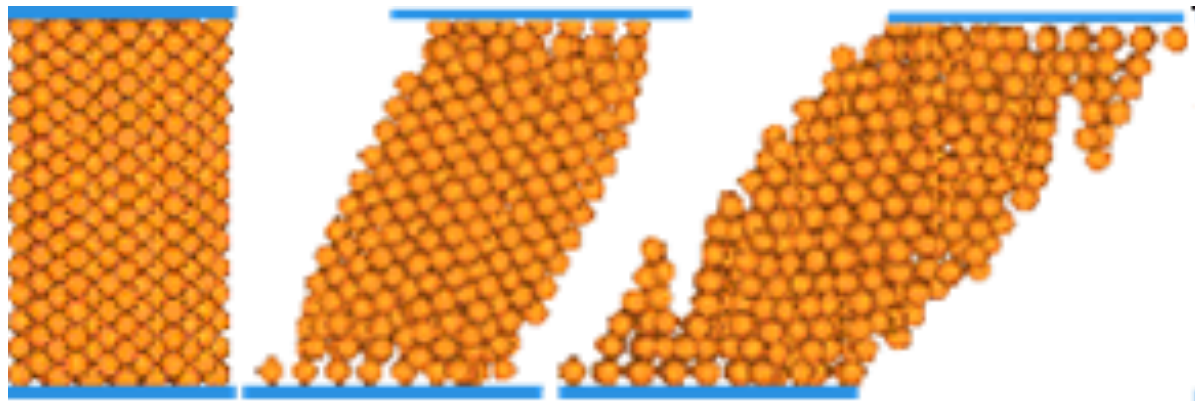


Zastosowanie cieczy magnetoreologicznych

- Systemy zawieszenia w samochodach (tłumiki drgań)
- systemy ochrony pasażerów w samochodach (airbag, zderzaki, hamulce)
- Układy pneumatyczne do kontroli szybkości i pozycji
- układy tłumienia drgań i kontroli sztywności w siedzeniach samochodów ciężarowych i autobusach
- układy zmniejszające skutki trzęsień ziemi i silnego wiatru
- protezy kończyn dla zwiększenia kontroli ruchu, szybkich reakcji i uzależnienia siły od szybkości ruchu

Ciecz elektroreologiczna

- to gęsta zawiesina mikroskopijnych drobin wielkości rzędu $0,1-100 \mu\text{m}$ (układ dyspersyjny), które pod wpływem pola elektrycznego ustawiają się w identycznej pozycji i przyciągają się nawzajem, tworząc uporządkowaną przestrzennie sieć, która znacznie utrudnia przemieszczanie się rozpuszczalnika - a więc płynięcie cieczy.



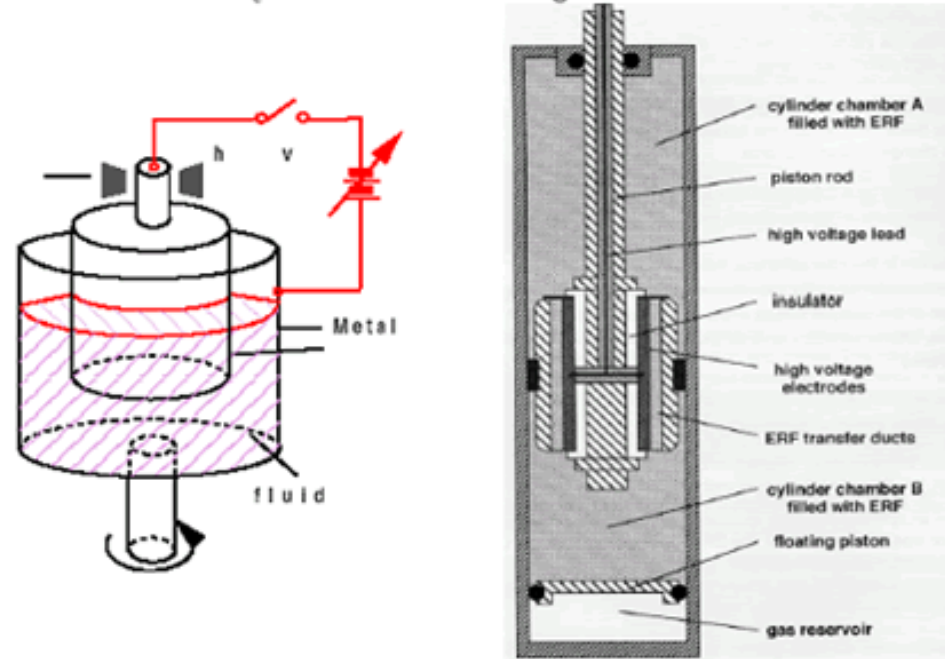
Ciecz elektoreologiczna

- Efekt ten jest proporcjonalny do natężenia pola elektrycznego. Zmiana dokonuje się w kilka milisekund. Zjawisko to jest odwracalne - po ustąpieniu pola elektrycznego, materiał MR powraca do swych pierwotnych własności. Kierunek układania drobin może być prostopadły lub równoległy do działającego pola elektrycznego. Drobiny ułożone równoległe zapewniają większą wytrzymałość materiału, w porównaniu z drobinami ułożonymi prostopadle.

Zastosowanie cieczy elektroreologicznych

- Ze względu na swoje specyficzne własności, materiały ER są stosowane w aktywnych urządzeniach tłumiących drgania, amortyzatorach, elektrycznie kontrolowanych sprzęgłach i zaworach, aplikacjach lotniczych. Materiały MR stosuje się także przy budowie sztucznych kończyn i mięśni (także serca).

Urządzenie elektroreologiczne



Materiały samonaprawiające się

Materiały samonaprawiające się reagują na uszkodzenie strukturalne, takie jak:

- pęknięcia
- ubytki
- wygięcia.

Materiały samonaprawiające się dzielimy na trzy grupy:

- **materiały kompozytowe** - zestaw materiałów, które występują w danym elemencie jako kompozyty, czyli składowe całości. Przykładem takiego materiału jest Automend
- **mikrokapsułki** - jest to rodzaj kleju, który naprawia mikropęknięcia w materiale. Substancja ta (dicyklobutadien, DCPD) występuje w formie ciecży i jest zamknięta w mikrokapsułkach rozproszonych w materiale. Zazwyczaj jest to około 100 - 200 kapsułek na cal sześcienny.
- **materiały samonaprawiające się katalitycznie** - do zapoczątkowania procesu potrzebny jest katalizator; jednym z nich jest tzw. katalizator Grubbs'a. Istotny jest fakt, że do chwili zapoczątkowania procesu, materiał samouzdrawiający się i katalizator muszą być przechowywane oddzielnie. Sam proces naprawy polega na typowej polimeryzacji.