



Przemysław FILIPEK, Tomasz KAMIŃSKI

WYKORZYSTANIE WŁAŚCIWOŚCI KRYSTAŁÓW W TECHNICIE

Streszczenie

W artykule przedstawiono zastosowania ciekawych właściwości kryształów we współczesnej technice (układy scalone, radia kryształkowe, matryce LCD, lasery niebieskie i rubinowe). Wykonano zestawienie kilkudziesięciu materiałów krystalicznych i ich właściwości wraz z podaniem zastosowania.

WSTĘP

Kryształ (krystallos – z greckiego) to forma ciała stałego, która wbrew pozorom bardzo często występuje w przyrodzie, a człowiek styka się z nią codziennie – choćby w postaci cukru lub soli kuchennej. Tak powszechny w zimie lód również jest ciałem krystalicznym.

Budowa kryształu tym różni się od tradycyjnych ciał stałych, że jego cząsteczki, atomy lub jony są odpowiednio usytuowane w sieci przestrzennej (krystalicznej), mogąc jedynie drgać wokół punktu równowagi. Kryształy cechują się anizotropią własności chemicznych i fizycznych - zależnością własności fizycznej lub chemicznej od kierunku przestrzennego np.: rezystancja, przewodnictwo cieplne i przenikalność świetlna są inne dla różnych kierunków w tym samym kryształ.

Istnieje bardzo wiele różnych rodzajów kryształów, stąd również można je grupować w zależności od ich własności i parametrów. Już sama budowa struktury wewnętrznej (roz rozmieszczenie cząsteczek w sieci krystalicznej) dzielona jest na siedem układów, w tym 32 klasy krystalograficzne. Kryształy dzieli się również ze względu na [2]:

- wiązania i siły pomiędzy cząsteczkami (np.: siły van der Waalsa, wiązania kowalencyjne, metaliczne, wodorowe),
- właściwości fizyczne (np.: twardość, łupliwość, gęstość),
- właściwości mechaniczne (np.: kruche, ciągliwe, kowalne, sprężyste),
- właściwości optyczne, (np.: barwa, połysk, współcz. załamania światła, przezroczystość),
- właściwości elektryczne, (np.: przewodność, piroelektryczność, piezoelektryczność),
- właściwości chemiczne, (np.: skład chemiczny, krystalografia, skupienie minerałów),
- właściwości magnetyczne.

1. KRYSZTAŁY WYSTĘPUJĄCE W PRZYRODZIE (WYBRANE MINERAŁY)

Skorupa ziemna zbudowana jest z mas skalnych które często zawierają w sobie różne składniki – minerały. W budowie skorupy ziemskiej bierze udział około 2000 minerałów tworzących liczne odmiany. Kryształy wyróżniają się w przyrodzie geometrycznymi kształtami, wspaniałymi barwami i żywym połyskiem, od zawsze stanowiły przedmiot zainteresowania.

Obserwacje własności fizycznych magnetytu doprowadziły do poznania magnetyzmu naturalnego a badania kalcytu stworzyły podstawy do odkrycia polaryzacji światła przez jego załamanie. W naturalnej postaci kryształy wykorzystywane są jako kamienie ozdobne. Z uwagi na dużą ilość różnego rodzaju kryształów poniżej przedstawiono tylko kilka z nich.

1.1. Kwarc

Tlenek krzemu – jeden z najbardziej rozpowszechnionych minerałów występujących w skorupie ziemskiej. Tworzy liczne odmiany różniące się zabarwieniem, wykształceniem kryształów lub skupieniem drobnych ziaren. Kwarc jest ważnym surowcem do produkcji wyrobów kwarcowych, szkła, krzemionkowych materiałów ogniotrwałych (stosowanych w stalownictwie, gazownictwie i przemyśle koksowym) oraz podzespołów elektronicznych. Kwarc (zwłaszcza górski) najczęściej tworzy struktury w postaci zakończonych ostro graniastosłupów prostych, które mogą się grupować w tzw. „szczotki”.



Fot. 1. „Szczotka” kwarcowa

1.2. Chalkantyt

Uwodniony siarczan miedzi $\text{CuSO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$ ma kolor niebieski, lekko przezroczysty. Jest wrażliwy na silne światło słoneczne i ciepło. Po ogrzaniu traci zawartą w sobie wodę a niebieski kryształy rozpadają się tworząc biało-błękitny proszek. Kryształ łatwo rozpuszcza się w wodzie.



Fot. 2. „Szczotka” chalkantytu

1.3. Piryt

Siarczek żelaza – jest jednym z bardziej rozpowszechnionych minerałów w skorupie ziemskiej, lecz zwykle występuje w niewielkich ilościach. Dość często tworzy kryształy w kształcie sześcianu. Posiada silny, metaliczny połysk o barwie mosiężno-żółtej, stąd nazywany jest potocznie „złotem głupców”. Z pirytu wytwarza się kwas siarkowy, a wypalki pirytowe są surowcem wykorzystywanym w przemyśle cementowym.



Fot. 3. Piryt

1.4. Galena

Siarczek ołowiu – najczęściej przyjmuje kształty sześcianu i ośmiościanu. Galena jest najważniejszym kruszcem ołowiu. W pierwszej połowie XX wieku kryształy galeny stosowano jako diody detektorowe w tzw. radiach kryształkowych (Fot. 5.).



Fot. 4. Galena



Fot. 5. Radio „kryształkowe” firmy PTT produkcji polskiej 1925 r. [5]

2. ZASTOSOWANIE KRYSZTAŁÓW W TECHNICIE

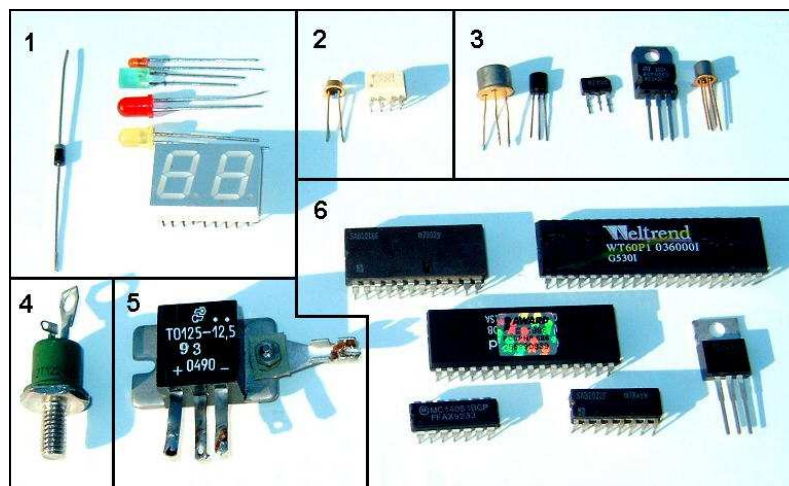
Do budowy różnych urządzeń wykorzystuje się obecnie kryształy syntetyczne – otrzymane sztucznie. Ta metoda pozwala na uzyskanie czystych kryształów bez defektów i domieszek w swojej strukturze.

Kryształy można podzielić na [1]: półprzewodniki, nadprzewodniki, przewodniki, dielektryki, ferroelektryki, piezoelektryki, piroelektryki, materiały optyczne, elektrooptyczne, akustooptyczne, laserowe, foniczne, magnetyki i kamienie szlachetne.

Do budowy narzędzi skrawających szeroko stosuje się diament z powodu jego wysokiej twardości (wiertła i frezy diamentowe, tarcze diamentowe do szlifierek i pił, ściernice diamentowe).

Moduły oparte na monokryształach są wykorzystywane w wielu gałęziach techniki, między innymi w elektronice, optyce, telekomunikacji, automatyce, robotyce, lotnictwie, astronautyce i medycynie.

Najszerze zastosowanie kryształów we współczesnej technice to materiały elektroniczne. Oparte są głównie na wykorzystaniu krzemu i germanu Fot. 6.



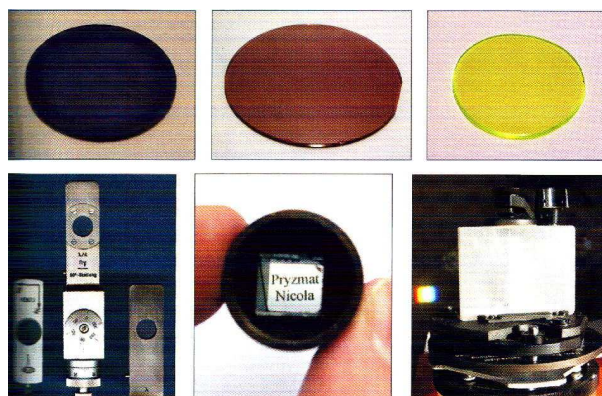
Fot. 6. Elementy elektroniczne z zastosowaniem kryształów; 1. dioda prostownicza, diody świecące, wyświetlacz LED 2. fotodioda i transoptor scalony 3. tranzystory 4. tyrystor 5. triak dużej mocy 6. układy scalone

Najczęściej produkowane materiały elektroniczne z zastosowaniem kryształów to [1]:

- diody, diody świecące LED, fotoogniwa,
- tranzystory bipolarne, unipolarne, tyrystory, triaki, fototranzystory, fotorezystory,
- układy scalone (analogowe, cyfrowe, pamięci), mikroprocesory,
- wyświetlacze i matryce LCD,
- przetworniki (temperatury, światła, ciśnienia, siły [tensometry]),
- detektory: pola magnetycznego (hallotrony, gausotrony, magnetometry), promieniowania jądrowego, promieniowania elektromagnetycznego (podczerwonego, widzialnego, ultrafioletowego), promieniowania rentgenowskiego, promieniowania gamma,
- rezonatory kwarcowe (oscylatory, filtry),
- lasery (niebieski).

W optyce (Rys. 7.) wykorzystuje się najczęściej kryształy CaF₂, kwarcu, kalcytu, LiF, TiO₂, gipsu, NaCl, KCl, szafiru, ZnSe i diamentu do produkcji [1]:

- soczewek i okien (mikroskopy, kamery, noktowizory),
- pryzmatów,
- polaryzatorów,
- płytek światłodzielących,
- płytek fazoczułych,
- kolimatorów (monochromatory, spektrofotometry),
- laserów (rubinowy, szafirowy).



Fot. 7. Kryształy w optyce [1]; płytki kryształów szafiru i granatu itrowo-glinowego (góra), kompensatory optyczne, pryzmat Nicola i pryzmat z monokryształu NaCl (dół)

W tabeli 1 zestawiono ciekawe właściwości kryształów i ich zastosowanie w technice.

Tab. 1. Wykorzystanie ciekawych właściwości kryształów

Lp	Kryształ		Właściwości		Wykorzystanie w technice	
	Nazwa	Symbol chemiczny	Klasyfikacja	Rodzaj/Opis	Przemysł	Zastosowanie
1	Sól	NaCl	Spożywcze	Smak (słony)	Spożywczy	Przyprawy do potraw
2	Cukier	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	Spożywcze	Smak (słodki)	Spożywczy	Przyprawy do potraw
3	Kwasek cytrynowy	C ₃ H ₄ (OH)(COOH) ₃ [syntetyk]	Spożywcze	Smak (kwaśny)	Spożywczy	Przyprawy do potraw
4	Diament	C (alotropowa odmiana węgla)	Fizyczne	Twardość	Mechaniczny	Narzędzia skrawające
5	Lód	H ₂ O (woda w stanie stałym)	Fizyczne	Temperatura (niska)	Spożywczy	Schładzanie napoi
6	Kamienie szlachetne	(wiele różnych związków)	Optyczne	Barwa, połysk	Jubilerski	Ozdoby, biżuteria
7	Rubin	Al ₂ O ₃ :Cr	Optyczne	Optyka	Optyczny	Lasery rubinowe
8	Kwarc	SiO ₂	Elektryczne	Piezoelektryczność	Elektroniczny	Rezonatory
9	Tellurek bizmutu	Bi ₂ Te ₃	Elektryczne	Termoelektryczność	Elektroniczny	Ogniwa Peltiera
10	Ciekły kryształ	(mieszanka 12 - 15 składników)	Elektryczne	Elektrooptyka	Elektroniczny	Wyświetlacze LCD
11	Gips	(CaSO ₄) ₂ ×H ₂ O	Chemiczne	Wiązanie pod wpływem wody	Budownictwo	Gips budowlany
12	Tiosiarczan sodu	Na ₂ S ₂ O ₃	Chemiczne	Reakcja egzotermiczna	Chemiczny	Ogrzewacze dłoni
13	-	Co, Ni, Fe, Nd ₂ Fe ₁₄ B	Magnetyczne	Magnetyczne	Elektroniczny	Dyski twarde
14	Półprzewodnik	Si, Ge, Se, GaAs	Elektryczne	Półprzewodnictwo	Elektroniczny	Diody, układy scalone, procesory

15	Azotek galu	GaN	Elektryczne	Elektrooptyka	Optyczny	Lasery niebieskie
16	Arsenek indu	InAs, InSb, HgTe, german	Elektryczne	Efekt Halla (detekcja pola magnetycznego)	Elektroniczny	Hallotrony
17	Arsenek galu	GaAs, GaP, GaN, GaAsP (różne barwy świecenia)	Elektryczne	Elektrooptyka (zjawisko elektro luminescencji)	Elektroniczny	Diody LED, matryce, wyświetlacze
18	Mika	$AB_{2-3}(OH,F)_2$ (Si,Al ₄ O ₁₀)	Elektryczne	Dielektryk	Elektroniczny	Kondensatory
19	-	Si, Ge, Se	Elektryczne	Zjawisko fotowoltaiczne	Elektroniczny	Ogniwo fotowoltaiczne
20	Kwarc	SiO ₂	Elektryczne	Piezoelektryczność	Elektroniczny	Generatory ultradźwięków
21	-	Si, CdS, PbS	Elektryczne	Zjawisko fotoelektryczne	Elektroniczny	Fotorezystory, fotodiody
22	-	Ge, Si, GaAs, NaI, BGO	Elektryczne	Zjawisko scyntylacji	Elektroniczny	Liczniki prom. jonizującego
23	Nanorurki węglowe	CNT	Elektryczne	Przewodność i wytrzymałość	Elektroniczny	Tranzystory

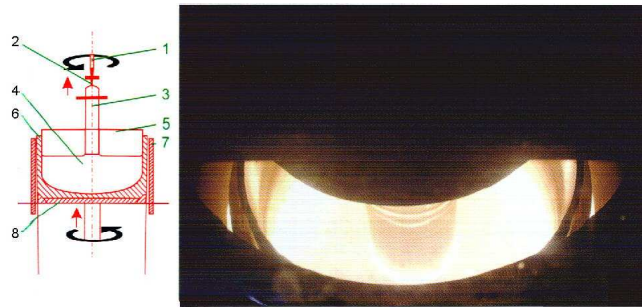
Źródło – zestawienie autora

3. POLSKIE AKCENTY

Wśród naukowców zajmujących się strukturą, właściwościami, wykorzystaniem i wytwarzaniem kryształów – nie brakuje Polaków. Poniżej przedstawiono tylko kilka przykładów sukcesów naszych uczonych w tej dziedzinie.

3.1. Metoda Czochralskiego [1]

W 1916 roku profesor Jan Czochralski (1885 – 1953) wynalazł i opracował sposób hodowli dużych kryształów półprzewodników i metali. Polega ona na powolnym wyciąganiu z rozgrzanego tygla, zawierającego roztopiony stop, małego zarodka krystalizacji. Podczas wyciągania, zarodek jest oblepiany wciąż kolejnymi warstwami atomów które powiększają uzyskiwany kryształ. Metodę tą wykorzystano do masowej produkcji kryształów krzemu w USA w latach pięćdziesiątych, a obecnie – to podstawowa metoda wytwarzania monokryształów metali na całym świecie.



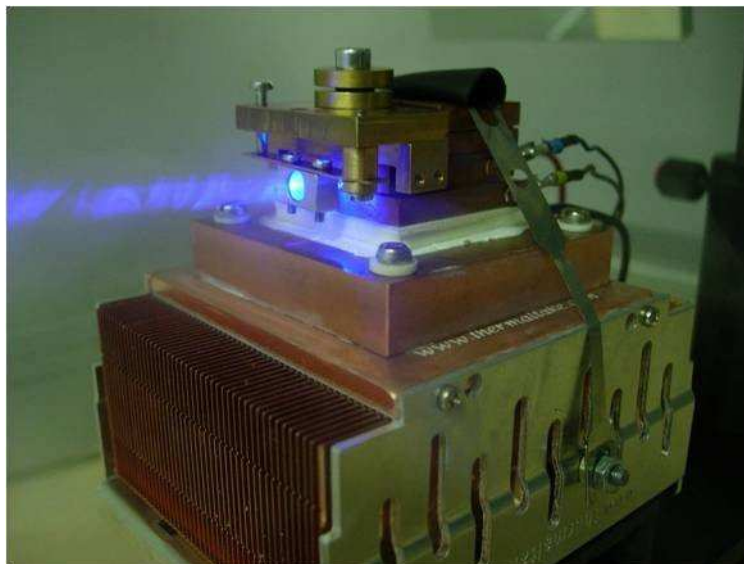
Rys. 1. Otrzymywanie kryształów metodą Czochralskiego [1]; 1. zarodek 2,3. monokryształ 4. powierzchnia stopionej substancji 5. tygiel ze szkła krzemionkowego 6. tygiel grafitowy 7,8. układ grzejników; z prawej – tygiel z roztopem krzemu

3.2. Polski niebieski laser [1]

Powstał w Instytucie Wysokich Ciśnień PAN, w 2005 roku. Jest to tak naprawdę kilka laserów różnego rodzaju. Profesor Sylwester Porowski (szef Instytutu i współtwórca laserów) określa moc ciągłą niebieskiego lasera na 200 mW (1W w impulsie). Jest to na chwilę obecną jedna z najwyższych wartości mocy dostępna na rynku dla takich laserów. Polskie niebieskie lasery produkuje firma TopGaN, w której 45% udziałów ma Instytut Wysokich Ciśnień, 16% wynalazcy, a resztę – polski inwestor prywatny.

Japończycy również produkują niebieskie lasery, ale są one bardzo drogie, gdyż oparte na podłożu z szafiru. Polacy wykorzystali jako podłoże – tańszy kryształ azotku galu (GaN), który sami produkują. Technologia ta jest chroniona kilkoma międzynarodowymi patentami.

Niebieski laser ma większą energię od czerwonego oraz krótszą falę – dzięki czemu można go bardziej skupić, co sprawia, że jest dziesięciokrotnie wydajniejszy w zapisie danych np. na płytach DVD.



Fot. 8. Polski niebieski laser

3.3. Produkcja dużych kryształów azotku galu [4]

Niewielka polska spółka Ammono zajmując się opatentowaną produkcją dużych kryształów azotku galu wyprzedza cały świat w tej technologii. Założyło ją dziesięć lat temu czterech absolwentów i doktorantów Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego oraz

Wydziału Chemii Politechniki Warszawskiej. Jako jedyni na świecie opracowali technologię i produkują duże (2 i 4 calowe) kryształy azotku galu GaN. Ich kryształy są najwyższej światowej jakości, choć proces wyciągania trwa tygodniami.

Azotek galu jest półprzewodnikiem i wysmienitym materiałem do budowy układów sterujących prądem – dla dużych mocy i częstotliwości. Ponadto w zależności od domieszki potrafi świecić we wszystkich barwach tęczy, co umożliwia produkcję np. niebieskich laserów czy białych diod LED które mogą zastąpić żarówki i energooszczędne świetlówki. Dr Robert Wiliński (jeden z założycieli i prezes firmy) uważa, że ważnym zastosowaniem azotku galu będą w przyszłości miniaturowe projektory telewizji cyfrowej wbudowane w telefony komórkowe, laptopy lub zegarki.



Fot. 9. Kryształ GaN firmy Ammono[4]

PODSUMOWANIE

Istnieje wiele różnych rodzajów ciał krystalicznych. Zależnie składu chemicznego i budowy posiadają one odrębne właściwości fizyczne, które można wykorzystać do różnych celów (np. twardość diamentu do narzędzi skrawających).

Oprócz walorów estetycznych i naukowych, kryształy pełnią bardzo ważną rolę we współczesnej technice. Bez nich ludzkość nie osiągnęłaby tak zaawansowanego poziomu rozwoju (półprzewodniki, matryce LCD, lasery).

Kryształy można otrzymywać sztucznie stosując różne metody (np. Czochralskiego). Syntetyczne monokryształy są wolne od wad (defekty w strukturze) oraz od zanieczyszczeń (domieszki innych minerałów), które bardzo często posiadają minerały naturalne.

Struktura minerałów kryje w sobie jeszcze wiele nie odkrytych tajemnic. Ta dziedzina nauki cały czas się rozwija. Powstają nowe technologie (np. produkcja dużych kryształów azotku galu przez firmę Ammono) i urządzenia (np. polski niebieski laser).

USING SPECIFICITY OF CRYSTALS IN TECHNIQUE

Abstract

The article show interesting specificity of crystals in modern technique. (Matches integrated, crystal radio, LCD matrix, Blue and ruby lasers). We juxtaposition parameters and specifications of some crystal materials.

BIBLIOGRAFIA

1. Wojtczak L., Ziomek J.: *Kryształy w przyrodzie i technice*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2008.
2. *Właściwości fizyczne minerałów*. Portal: pl.wikipedia.org, http://pl.wikipedia.org/wiki/W%C5%82a%C5%9Bciwo%C5%9Bci_fizyczne_i_chemiczne_minera%C5%82%C3%B3w 15.09.2012
3. *Niebieski laser – polski skarb*. Portal: wyborcza.pl, http://wyborcza.pl/1,75476,7893518,Niebieski_laser_polski_skarb.html 17.09.2012
4. *Polski kryształ, który zmieni wszystko. Wyprzedzamy gigantów techniki*. Portal: wyborcza.pl, http://wyborcza.biz/biznes/1,101562,8309575,Polski_krysztal_ktory_zmieni_wszystko_Wyprzedzamy.html 17.09.2012
5. *Radiodbiorniki produkowane w latach 1925-1929*. Portal: neostrada.pl, <http://historiaradia.neostrada.pl/Lata1925-1929.html> 21.09.2012

Autorzy:

dr inż. Przemysław FILIPEK– Politechnika Lubelska

dr inż. Tomasz KAMIŃSKI– Instytut Transportu Samochodowego, Warszawa