

Rys. 3. Struktury niektórych anionów występujących w krystalicznych krzemianach: a)  $[\text{SiO}_4]^{4-}$ , b)  $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$ , c)  $[\text{Si}_3\text{O}_9]^{6-}$ , d)  $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$ , e)  $[\text{Si}_3\text{O}_7]^{2n-}$ , f)  $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]^{6n-}$ , g)  $[\text{Si}_2\text{O}_5]_n^{2n-}$ .

skorupy ziemskiej. Pierwiastek ten zajmuje drugie miejsce (26,99% wagowych) pod względem obecności w przyrodzie. Krzemiany i glinokrzemiany stanowią grupę najbardziej rozpowszechnionych minerałów w przyrodzie. Głównym ich elementem są czworosciany  $\text{SiO}_4$ , które istnieją zawsze niezależnie od wzoru chemicznego krzemianu. Badania rentgenowskie krzemianów wskazały, że duże jony tlenu  $\text{O}^{2-}$  (promień jonowy  $r = 1,32 \text{ \AA}$ ) otaczają małe jony krzemu  $\text{Si}^{4+}$  ( $r = 0,39 \text{ \AA}$ ). Stosunek promieni jonowych wskazuje na liczbę koordynacyjną 4, czyli, że każdy jon krzemu otoczony jest przez cztery jony tlenu. Składnikami budującymi sieć krystalograficzną są czterowartościowe aniony  $\text{SiO}_4^{4-}$  oraz kationy np. magnezu, żelaza, cynku, cyrkonu, wapnia, znajdujące się w sieci między czworoscianami. Struktury anionów, odpowiadających niektórym grupom krzemianów występujących w przyrodzie, przedstawia rysunek 3. Różnicom struktur wewnętrznych krzemianów odpowiadają materiały o różnych właściwościach, od kamieni szlachetnych do włókien (azbest). W zależności od wzajemnego położenia czworoscianów  $\text{SiO}_4^{4-}$  rozróżnia się

- krzemiany wyspowe, czyli takie, w których każdy jon tlenu należy tylko do jednego jonu krzemu – np. oliwin  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ;
- krzemiany grupowe, w których czworosciany łączą się narożami poprzez wspólny atom tlenu – np.  $\text{Si}_2\text{O}_7^{6-}$ , tworząc układy łańcuchowe – np.  $\text{Si}_2\text{O}_6^{4-}$ , lub pierścieniowe –  $\text{Si}_3\text{O}_9^{6-}$ ,  $\text{Si}_4\text{O}_{12}^{8-}$ ,  $\text{Si}_5\text{O}_{16}^{12-}$ ,  $\text{Si}_6\text{O}_{18}^{12-}$ ; przykładami takich minerałów mogą być wolastonit  $\text{Ca}_3\text{Si}_3\text{O}_9$ , beryl  $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ , azbest  $\text{Ca}_2\text{Mg}_5(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2(\text{OH})_2$ ;
- krzemiany warstwowe, w których utworzone warstwy – np.  $\text{Si}_2\text{O}_5^{2-}$ , powstają w wyniku tego, że każdy z trzech atomów tlenu każdego czworoscianu związany jest jednocześnie z dwoma atomami krzemu sąsiednich tetraedrów, a czwarty atom tlenu połączony jest tylko z jednym atomem krzemu; takimi krzemianami są np. mika i talk  $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ;
- krzemiany przestrzenne (szkieletowe), w których wszystkie atomy tlenu każdego czworoscianu należą jednocześnie do dwóch czworoscianów; czworosciany stykające się narożami tworzą trójwymiarową sieć koordynacyjną o stosunku  $\text{Si} : \text{O} = 1 : 2$ . Tego rodzaju struktury mają wszystkie odmiany kwarcu.

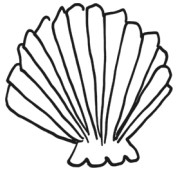
Naturalne krzemiany stanowią cenne surowce dla przemysłu szklarskiego, ceramicznego i cementowego, a także wykorzystywane są jako kamienie jubilerskie.

Krzem widziany okiem chemika to niezwykle ciekawy pierwiastek. Jego zdolność do tworzenia długich łańcuchów Si-O-Si, które można stosunkowo łatwo modyfikować, jest coraz częściej wykorzystywana do tworzenia nowych materiałów o unikalnych właściwościach chemicznych i mechanicznych.

## Krzem w inżynierii materiałowej

**Krzem a metoda Czochralskiego.** Polski metaloznawca Jan Czochralski opracował metodę wyciągania kryształu z cieczy, służącą po dziś dzień przy wytwarzaniu monokryształów krzemu. Polega ona na zetknięciu pręta z powierzchnią ciekłego metalu. Poprzez różnicę temperatur cieczy i pręta (przechłodzenie), na czołowej jego powierzchni tworzy się zarodek krystalizacji wzrastający przy podnoszeniu pręta z szybkością krystalizacji. Pręt wykonuje ruch obrotowy dla wyeliminowania różnic gradientu temperatury na obwodzie. Po utworzeniu kryształu długości kilku średnic obniża się temperaturę ciekłego metalu, dzięki czemu powiększa się średnica kryształu. „Wyciąganie” jest podstawową metodą otrzymywania monokryształów krzemu na potrzeby elektroniki.

**Krzem w metalurgii.** Krzem należy do najczęściej stosowanych pierwiastków stopowych (czyli pierwiastków wprowadzanych celowo do stali w ilości przekraczającej minimalne stężenie, przy którym nie stwierdza się wyraźnego wpływu pierwiastka na strukturę i właściwości stali). Krzem w stalach stopowych wpływa korzystnie na następujące właściwości mechaniczne: podwyższa twardość, wytrzymałość, granice plastyczności, żarowytrzymałość oraz znacznie poprawia sprężystość. Natomiast dodatek krzemu zmniejsza: udarność, odporność na zużycie, skrawalność oraz podatność na obróbkę plastyczną.



Krzem występuje również w odlewniczych stopach aluminium – siluminach, zawierających od 4 do 30% Si. Dodatek krzemu powoduje dobre właściwości odlewnicze stopów, zapewniając dobrą rzadkopląsność i lejsność oraz mały skurcz. Siluminy, ze względu na swoję żaroodporność, stosowane są w produkcji wysoko obciążonych tłoków i głowic silników spalinowych, elementów dla przemysłu okrętowego i elektrycznego.

Innym przykładem zastosowania krzemu w przemyśle są brązy krzemowe. Stopy Cu z Si charakteryzują się korzystnymi parametrami mechanicznymi w temperaturze pokojowej, dobrymi właściwościami ślizgowymi i wysoką odpornością na korozję. Dzięki temu znalazły zastosowanie w produkcji siatek, sprężyn i łożysk oraz kół ciernych i zębatych.

**Krzem – surowiec ceramiki.** Krzem jest jednym z głównych surowców przy produkcji ceramiki, zarówno klasycznej, jak i inżynierskiej. Materiały ceramiczne oparte o węglík krzemu (SiC) i azotek krzemu (Si<sub>3</sub>N) wykazują wysoką wytrzymałość i ciągliwość w temperaturze powyżej 1570 K oraz dobrą odporność na zużycie i mały współczynnik tarcia. Dzięki tym właściwościom znalazły zastosowanie, między innymi, jako smary stałe, ścierniwa, przegrody cieplne, komory spalania oraz turbiny i silniki rakietowe.

Przykładem spiekanych materiałów skrawających są sialony. Nazwa tego materiału pochodzi od pierwszych liter pierwiastków wchodzących w jego skład (Silicon-Aluminium-Oxygen-Nitride). Narzędzia wykonane z sialonu z powodzeniem zastępują te wykonane z Si<sub>3</sub>N. Sialony znalazły także zastosowanie w produkcji narzędzi do cięcia rur i drutów, narzędzi do ciągłego odlewania metali oraz narzędzi górniczych do skał i węgla kamiennego.

Z włókien szklanych, najczęściej ze szkła krzemianowego, wykonywane są, między innymi, włókna światłowodowe, które znajdują zastosowanie do transmisji sygnałów na duże odległości oraz jako elementy oświetlenia.

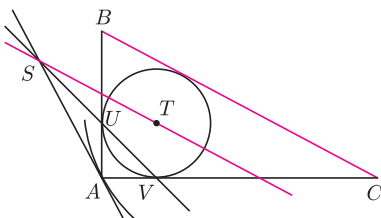
\*Wydział Inżynierii Materiałowej,  
Politechnika Warszawska

Agata BIESAGA\*



## Zadania

Redaguje Tomasz TKOCZ



**M 1354.** Dany jest nierównoramienny trójkąt prostokątny  $ABC$  o kącie prostym przy wierzchołku  $A$ . Niech  $T$  będzie środkiem okręgu wpisanego, zaś  $U$  i  $V$  niech będą jego punktami styczności odpowiednio z bokami  $AB$  i  $AC$ . Prosta  $UV$  przecina w punkcie  $S$  styczną do okręgu opisanego poprowadzoną w punkcie  $A$ . Udowodnić, że proste  $ST$  i  $BC$  są równoległe.  
Rozwiązanie na str. 9

**M 1355.** Niech  $n$  będzie liczbą całkowitą dodatnią. Udowodnić, że liczba  $2 \cdot 3^{2^n} + 3 \cdot 5^{2^n}$  jest podzielna przez 7 wtedy i tylko wtedy, gdy  $n$  jest liczbą parzystą.  
Rozwiązanie na str. 22

**M 1356.** Niech  $\overline{a_n \dots a_2 a_1 a_0}$  oznacza liczbę, której cyfrą jedności w zapisie dziesiętnym jest  $a_0$ , cyfrą dziesiątek –  $a_1$ , cyfrą setek –  $a_2$ , itd. Znaleźć wszystkie liczby czterocyfrowe  $\overline{abcd}$ , które spełniają równość

$$\overline{abcd} + 1 = (\overline{ac} + 1)(\overline{bd} + 1).$$

Rozwiązanie na str. 23

Redaguje Ewa CZUCHRY

**F 815.** Dwie kuleczki o masach  $m$  oraz  $M \gg m$  spadają jedna nad drugą z wysokości  $H$ . Na jaką wysokość wzbije się mniejsza kulka po odbiciu od podłogi? Wszystkie odbicia są sprężyste.  
Rozwiązanie na str. 22



**F 816.** Temperatura fotosfery wynosi około 6000 K. Dlaczego atomy wodoru, które są jej głównym składnikiem, nie opuszczają powierzchni Słońca?  
Rozwiązanie na str. 22