

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 29 (2001/2002)

Številka 4

Strani 226-230

Branislav Čabrić in Aco Janićijević, prev. Marija Vencelj:

MONOKRISTALI

Ključne besede: fizika, kristalografija, kristali, kal, rast, razpad.

Elektronska verzija:

<http://www.presek.si/29/1482-Cabric-Janicijevic.pdf>

© 2002 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2010 DMFA - založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.

MONOKRISTALI

Izmed treh agregatnih stanj, v katerih se lahko nahaja snov, je kristalno stanje najstabilnejše in najbolj urejeno. Kristal¹ je skupina atomov, katerih položaj v kristalni mreži² je položaj z najnižjim energetskim potencialom, t.j. prosta energija sistema atomov oz. molekul je minimalna. Kristali imajo ostro določeno tališče za razliko od amorfni snovi, ki so pravzaprav podhlajene kapljevine³.

Da bi razložili proces vzgoje in rasti kristalov, moramo odgovoriti na tri vprašanja:

1. Kako nastane kristalna kal⁴ znotraj homogenega stanja?
2. Kako poteka rast kristalov (kinetika kristalizacije)?
3. Kako poteka proces razpadanja kristalov?

Vemo, da v nekaterih snoveh kristalne kali zlahka nastajajo in da je taline takih snovi praktično nemogoče podhladiti oz. prenasiti njihove raztopine. Po drugi strani pa je oblikovanje kristalnih kali pri nekaterih snoveh povezano s precejšnjimi težavami. Lahko rečemo, da je bil v teoriji nastajanja kristalnih kali dosežen določen napredek, vendarle popolnega odgovora še ni. Vedeti moramo, da igra prisotnost netopnih primesi veliko vlogo pri oblikovanju kali iz talin in iz raztopin. Primesi različno vplivajo na nastajanje kali; največji učinek imajo izomorfne⁵ primesi.

Pri študiju kinetike kristalizacije moramo ločiti med dvema pomembnima pojmom: hitrostjo nastajanja kristalnih kali in hitrostjo rasti kristalov. Hitrost nastajanja kali je število nastalih kali v prostorski enoti na časovno enoto. Hitrost rasti kristala je sprememba velikosti kristala v časovni enoti.

Monokristal je kristal, ki se razvije iz ene same kali.

¹ Kristal je trdno telo iz čiste snovi z ravnimi mejnimi ploskvami, ki se sekajo pod stalnimi, natanko določenimi koti. Zunanja oblika kristala odraža periodično urejeno notranjo zgradbo, ki jo podaja kristalna mreža, sestavljena iz enakih gradbenih enot, atomov, ionov ali molekul. Nastajajo in rastejo iz prenasitih raztopin, podhlajenih talin in pri zgoščevanju hlapov (op. prev.).

² Kristalna mreža je prostorska mreža točk, razporejenih na ustrezaajočih si krajih v kristalu (op. prev.).

³ Te se ob višanju temperature postopno mehčajo (op. prev.).

⁴ Kristalna kal ali kristalna klica je drobec kristala koloidne velikosti (med 1 nm in 100 nm), na katerem se nadaljuje rast kristala (op. prev.).

⁵ Izomorfija je lastnost kemično različnih spojin, da kristalizirajo v enaki kristalni obliki (op. prev.).

Dandanes postajajo monokristali čedalje pomembnejši, tako v osnovnih raziskavah kot za tehnično rabo. Prav raziskovanje monokristalov je povzročilo ogromen napredek v fiziki in kemiji trdne snovi. Prav tako pa številni industrijsko tehnični izdelki temelje na uporabi monokristalov.

Omenimo le nekaj najpomembnejših primerov uporabe pri raziskavah snovi:

- Snovne konstante⁶ kristalov lahko natančno določimo le na monokristalih. To še posebej velja za anizotropne⁷ lastnosti kristalov.
- Trdoto trdnine lahko določamo izključno na monokristalih.
- Obnašanje polprevodnikov so lahko razložili šele potem, ko jim je uspelo dobiti monokristale zelo čistega germanija⁸.
- Proučevanje t.i. *barvnih centrov*, ki so v tesni zvezi s pojavi v polprevodnikih, poteka samo na monokristalih.
- Monokristali so nujno potrebni pri raziskavah prevodnosti in superprevodnosti kovin.
- Včasih so potrebni pri študiju kemijskih procesov in kemijske kinetike⁹ v trdni snovi.

Nič manjše vloge nimajo monokristali v tehniki:

- Iz njih izdelujejo razne optične elemente: prizme (NaCl, KBr), okenca (KBr, CsBr), leče, filtre, polarizatorje (kvarc) itd.
- Uporabljajo jih kot monokromatorje¹⁰ za rentgensko svetlobo.
- Velik pomen imajo v jedrski fiziki, kjer jih uporabljajo za detekcijo in spektrometrijo ionizirajočega sevanja.

⁶ Snovne konstante so npr. gostota, prožnostni modul, lomni količnik, toplotna prevodnost (op. prev.).

⁷ Anizotropnost je pojav, da je kaka količina odvisna od smeri (lomni količnik, toplotna prevodnost, itd.) (op. prev.).

⁸ Glej prispevek J. Strnada Elektroni in vrzeli v polprevodniku s primesjo v 5. številki 27. letnika Preseka (op. prev.).

⁹ Kemijska kinetika je področje fizikalne kemije, ki se ukvarja s proučevanjem kemijskih reakcij v odvisnosti od reakcijskih pogojev, npr. od tlaka, temperature, koncentracije, katalizatorjev ipd. (op. prev.).

¹⁰ Monokromator je optična naprava, s katero dobimo iz mešane svetlobe enobarvno svetlobo (op. prev.).

okolje rasti	območje uporabe (temperatura in pritisk)	naprava	kontrola razvoja
povečanje kristalov v trdnem stanju	zelo omejeno (do tališča)	enostavna	slaba
raztopine (voda, organske raztopine)	omejeno (do vrelišča)	enostavna do srednje zapletena	zelo dobra
raztopine v talini (mineralizatorji)	delno omejeno (do 1800°C)	enostavna	slaba
hidrotermalna sinteza	delno omejeno (do 5000 at)	zapletena	zelo težka
sinteza pri srednjem pritisku	omejeno (do 250 at)	zapletena	težka
sinteza pri visokem pritisku	delno omejeno (do 100 000 at)	zapletena in zelo zapletena	ni mogoča
talina (stacionarna)	delno omejeno (do 1600°C)	enostavna	zadovoljiva
talina (nestacionarna)	delno omejeno (do 1300°C)	enostavna do srednje zapletena	dobra
talina (metoda brez talilnika)	omejeno (do 2500°C)	srednje zapletena	težka
consko taljenje	omejeno (do 1300°C)	srednje zapletena	dobra
plinsko stanje	omejena (do 1800°C)	enostavna	slaba

Tabela 1. Primerjava metod za vzgojo kristalov.

- Posebej velika je uporaba monokristalov v elektrotehniki. Piezoelektrične¹¹ kristale uporabljajo kot oddajnike in detektorje električnih signalov, nadalje kot frekvenčne stabilizatorje, električne filtre¹² itd.

¹¹ Piezoelektričnost je lastnost nekaterih kristalov, da nastane ob natezanju ali stiskanju med izbranimi mejnima ploskvama električna napetost (op. prev.).

¹² Električni filter je naprava, ki prepušča izmenični tok s frekvenco na izbranem območju in ne prepušča toka zunaj tega območja (op. prev.).

hitrost rasti	velikost kristalov	kvaliteta kristalov	snovi, ki lahko kristalizirajo
majhna	zelo majhni	nizka	kovine
zelo majhna	zelo veliki	visoka	fosfati, sulfati glikonati, tartrati
srednja do velika	majhni	nizka	kovine, oksidi, feriti silikati, titanati
zelo majhna	večji	visoka	oksidi, silikati sulfidi
srednja	srednji do veliki	zadovoljiva	sulfidi
zelo velika	zelo majhni	nizka	diamant, oksidi
srednja do velika	srednji	visoka	kovine, oksidi, silikati, halogenidi, organske spojine
srednja do velika	večji	visoka do zelo visoka	kovine, III/IV-spojine, oksidi, silikati, halogenidi, organske spojine
velika	večji	zadovoljiva do visoka	oksidi, feriti titanati, volframati
velika	srednji do veliki	visoka do zelo visoka	kovine, III/V-spojine, organske spojine
velika	majhni do srednji	zadovoljiva do nizka	kovine, oksidi halogenidi

(nadaljevanje tabele s str. 228)

Uporaba polprevodnih monokristalov stalno narašča: za izdelavo tranzistorjev, usmernikov, termistorjev in detektorjev infrardečega sevanja. V zadnjem času je odkritje pojava spodbujenega elektromagnetnega sevanja še razširilo področje uporabe monokristalov in odločilno vplivalo na razvoj novih in izpopolnjevanje starih metod za pridobivanje monokristalov.

- Velik potrošnik sintetičnih monokristalov je tudi draguljarstvo.

Težko je reči, kdo in kdaj je prvi začel pridobivati monokristale v laboratoriju. Že *Aristotel* omenja pridobivanje kristalov kuhinjske soli in *Belinius* pridobivanje kristalov bakrovega sulfata z izparevanjem vodnih raztopin teh soli. Študij zunanjih geometrijskih oblik kristalov sega v sredino 17. stoletja. V tem času začenja tudi posnemanje naravnih pogojev za vzgojo in rast kristalov v laboratoriju. Tako je *Robert Boyle* odkril, da dodatek primesi spremeni videz kristala. V 19. stoletju so se v Franciji veliko ukvarjali s pridobivanjem kristalov dragih kamnov iz različnih mineralizatorjev. Kot naravno nadaljevanje teh raziskav je *Verneuil* izdelal fuzijsko metodo (s plamenom) za pridobivanje korundovih kristalov. Verneuilova metoda pomeni začetek sodobnega pridobivanja optičnih, elektroakustičnih, polprevodniških, laserskih in drugih kristalov z določenimi fizikalnimi in kemičnimi lastnostmi.

Monokristale lahko pridobivamo na tri bistveno različne načine: s kristalizacijo iz trdnega, kapljevinskega ali plinskega stanja. V okviru teh treh možnosti so izdelali vrsto metod, ki jih prikazuje tabela 1. Navadno lahko posamezno snov kristaliziramo na več načinov. Izbira najugodnejše metode je odvisna od več parametrov. Najpomembnejša je narava snovi, ki jo želimo kristalizirati, nato njene fizikalno-kemične lastnosti, pa namen, za katerega bomo kristal uporabili, t.j. zaželena kvaliteta, in nazadnje sredstva, ki so nam na voljo.

Branislav Čabrić in Aco Janičijević, prev. Marija Vencelj
