

11 Technológie výroby polovodičov

11.1 Monokryštály

11.1.1 Úvod

Do tejto skupiny materiálov zahŕňame objemové a povlakové (vrstvé) monokryštály. Cieľom technológie výroby je dosiahnuť čo najväčšie a najdokonalejšie monokryštály s maximálnou čistotou, prípadne s vopred určeným množstvom prímiesí. Objemové monokryštály sa po vyrobení členia na plátky (wafre). Ich príprava zahŕňa rast, čistenie, identifikáciu, rezanie, leštenie a leptanie kryštálu. Povlakové monokryštály sa pripravujú epitaxiou na podložkách [11, 12, 16, 22].

Podľa použitia sa monokryštály delia na základe ich zdôraznenej vlastnosti na:

- monokryštály s polovodičovými vlastnosťami pre prvky mikroelektroniky,
- monokryštály s extrémnou tvrdosťou zaradené do skupiny minerálov a technických kameňov (monokryštály syntetického kremeňa, zaфіru a rubínu, Al_2O_3),
- piezoelektrické monokryštály,
- monokryštály s magnetickými vlastnosťami,
- monokryštály s feroelektrickými vlastnosťami zaradené do skupiny feroelektrík,
- optické monokryštály (syntetické kryštály z roztavených solí pre optiku, t.j. IR a UV prvky),
- funkčné a nosné dielektriká,
- kovové monokryštály – whiskre používané pre výrobu kompozitov.

Chemicky čistený polykryštalický polovodič alebo iný materiál sa použitím známych metód pre výrobu objemových monokryštálov podrobí technologickým operáciám, pri ktorých sa vypestuje monokryštál s požadovanou čistotou a kryštalografickou orientáciou. Objemové monokryštály sa vyrábajú týmito postupmi:

- vyťahovaním z taveniny,
- z vodných roztokov,
- narastaním na monokryštál z roztavených práškov.

11.1.2 Príprava monokryštálov vyťahovaním z taveniny

Czochralského metóda

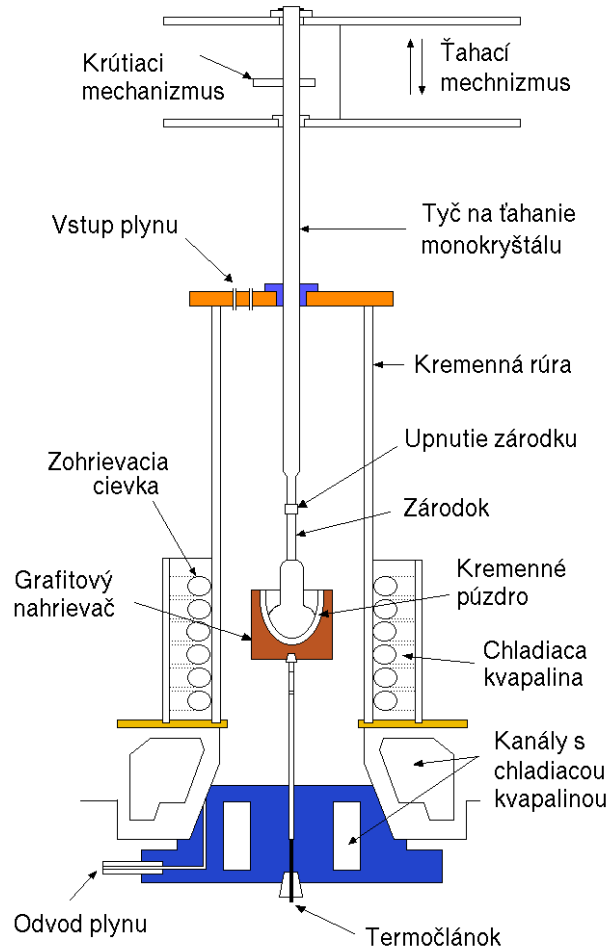
Zárodok monokryštálu upevnený na ťahacom hriadeli (obr. 11.1) je priložený k tavenine v kremennom téglíku v grafitovom ohrievači (meandrovom odporovom alebo vľ indukčnom), pomaly vyťahovaný 5 - 150 mm/h a rotovaný 10 -100 ot/min proti smeru rotácie taveniny 5 - 25 ot/min. Proces prebieha v inertnej atmosfére alebo pod ochrannou taveninou vo vákuovej alebo tlakovej nádobe. Počas tuhnutia vyťahovanej taveniny dochádza k segregácii prímiesí opísanej pomerom koncentrácie prímiesí v tuhej C_s a kvapalnej fáze C_l - *segregačným koeficientom* k :

$$k = \frac{C_s}{C_l} \quad (11.1)$$

pričom väčšina prímiesí má tendenciu ostávať v kvapalnej fáze (tab.11.1). Koncentrácia prímiesí sa mení pozdĺž ťahaného kryštálu, lebo objem kvapaliny sa nepretržite znižuje. Výsledný monokryštál v tvare valca má približne hyperbolický priebeh koncentrácie nečistôt pozdĺž valca.

Tabuľka 11.1 Segregačné koeficienty podstatných prímiesí v kremíku

prvok v Si	Au	In	Ga	Al	As	P	B
k	$3 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	0,8



Obr. 11.1 Czochralského metóda

Podmienky rastu monokryštálu:

- vertikálny teplotný gradient (rozhranie medzi monokryštálom a taveninou musí byť chladnejšie ako ostatná tavenina),
- osová symetria tepelného prúdu,
- možnosť kontroly teploty,
- čistý povrch taveniny,
- viskozita taveniny,
- charakter kryštalografických fázových premien.

Podmienky rastu monokryštálu pri ťahaní Czochralského metódou sú uvedené v tab. 11.2.

Tabuľka 11.2 Podmienky pri ťahaní monokryštálov Si, Ge, GaAs Czochralského metódou

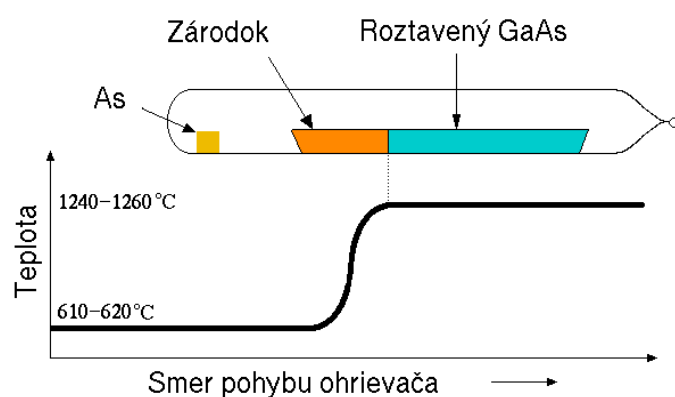
	Si	Ge	GaAs
Tlak v aparátúre (MPa)	do 0,1	do 0,1	0,2
Rýchlosť ťahania (mm/h)	30 - 150	30 - 150	20 - 40
Materiál téglika	kremenné sklo	grafit	kremenné sklo
Atmosféra	argón, vákuum	argón, vodík, vákuum	dušik

Zariadenie: pracovná komora, téglik, vf ohrev, ťažná tyč, výveva, regulácia prietoku plynu, regulácia teploty.

Pri použití Czochralského metódy teda prebieha aj čistenie kryštálu. Táto metóda sa používa s výhodou najmä pri výrobe monokryštálov kremíka, germánia a GaAs. Nevýhodou Czochralského metódy je možnosť reakcie roztaveného polovodiča s materiálom téglika.

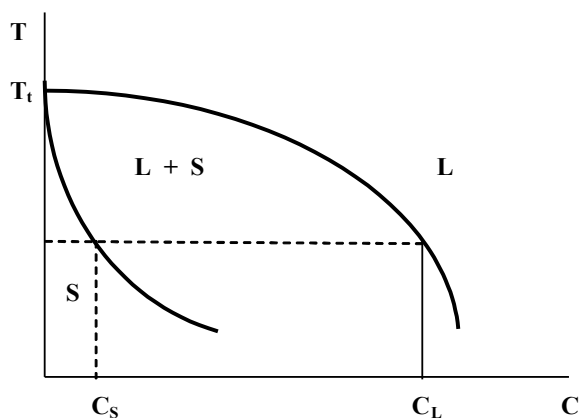
Zónová rafinácia

Princíp metódy, ktorou sa materiál čistí a zároveň kryštalizuje, spočíva v tom, že pozdĺž dlhého ingotu sa pohybuje dlhá priečna roztavená zóna (taviace a tuhúce rozhranie). Účinnosť čistenia sa zvyšuje počtom prechodov zóny, pričom dochádza k redistribúcii prímiesí.



Obr. 11.2 Zónová rafinácia

Na tuhúcom rozhraní sa pre $k < 1$ koncentruje prímies v tavenine a pre $k > 1$ sa koncentruje v tuhej fáze. Na taviacom rozhraní sa materiál taví a zmiešava s kvapalným obsahom zóny. Redistribúcia prímiesí nastáva na tuhúcom rozhraní a prímies sa koncentruje buď v tavenine alebo v tuhej fáze (obr. 11.3). Nakoniec sa dosiahne stav, že nečistoty sa sústredia na konci vzorky v smere pohybu alebo na opačnom konci a stredná časť ingotu sa vyčistí.



Obr. 11.3 Fázový diagram

Polykryštálová tyč – ingot upevnený vodorovne v kremennej lodičke alebo zvislo bez nej (*metóda visutej zóny*) je od zárodka vodorovne, resp. smerom nahor lokálne natavovaný 1 - 5 MHz vf ohrevom, pričom viacnásobným prechodom tejto roztavenej zóny možno dosiahnuť vysoký stupeň vyčistenia. V *pedestálovej* modifikácii je kryštál s menším priemerom ako ingot vyťahovaný Czochralského metódou, pričom roztavená zóna sa drží povrchovým napätím. Keďže segregáčny koeficient hlavnej nečistoty v kremíku bóru je 0,8,

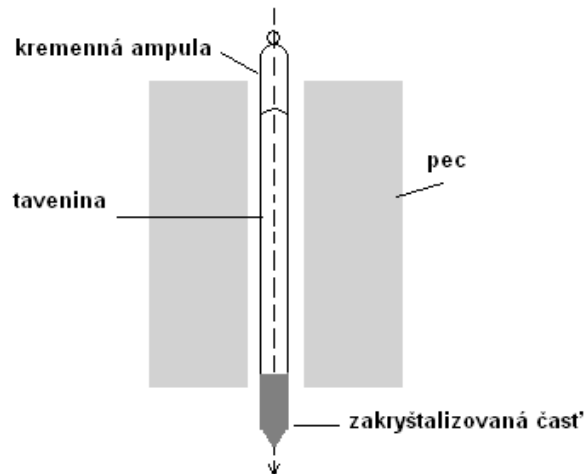
je potrebné aplikovať mnoho prechodov zóny. U kremíka je problém aj s vysokým bodom tavenia a vysokou reaktivitou, kvôli čomu sa používa piedestálová metóda v argónovej alebo vákuovej atmosfére.

Zónovou rafináciou sa pripravujú aj InSb, GaSb, AlSb a v tlakovom usporiadaní GaAs a InP.

Bridgemanova metóda

Táto metóda sa využíva najmä pre výrobu GaAs, čím nahradzuje Czochralského metódu. U mnohých zlúčenín má materiál napr. taký vysoký tlak pár, že proces kryštalizácie je potrebné realizovať v zatavených ampulách malého objemu. Pre tieto prípady možno použiť Bridgemanovu metódu.

Princíp metódy: Rozhranie kvapalnej a tuhej fázy sa posúva na základe pohybu celej ampule s taveninou (teda nie je to vyťahovanie monokryštálu z taveniny). Používa sa horizontálne aj vertikálne usporiadanie. Pri vertikálnom usporiadaní (obr. 11.4) sa pohybuje roztavená ampula s taveninou smerom dole a ochladzuje sa na konci topnej pece. Získaný monokryštál má tvar vnútorného priestoru ampule. V prípade otvorenej ampule je aparátúra naplnená inertnou atmosférou. Podobne ako pri Czochralského metóde sa dbá na dodržiavanie konštantných rastových podmienok pri raste kryštálu



Obr. 11.4 Princíp prípravy monokryštálov Bridgemanovou metódou

Kontrola kryštalografickej orientácie monokryštálov sa robí röntgenograficky.

Objemové polovodičové monokryštály sa používajú pre výrobu mikroelektronických súčiastok vo forme tenkých plátok (waferov). Objemový monokryštál sa upravuje na tenké wafre:

- úprava monokryštálu na presný valcovitý tvar,
- rezanie diamantovými alebo laserovými pilami na hrúbku 150 alebo 250 μm (priemer waferu býva okolo 15 až 25 cm),
- obojstranné brúsenie (v jemných práškoch na báze mikrokorundu Al_2O_3 , karbidu kremíka SiC, oxidu kremičitého SiO_2 , zmesi Al_2O_3 a ZrO_2 alebo diamantu),
- leštenie (ovčie rúno, syntetické usne na báze polyuretánu, oxid céričitý s veľmi jemným zrnom),
- chemické leštenie (soľ kyseliny kremičitej upravenej čpavkom),
- umývanie vo vode vysokej čistoty.

11.1.3 Príprava epitaxných tenkých vrstiev

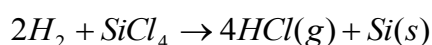
Epitaxia je narastanie monokryštalickej polovodičovej vrstvy na podložke. Jej výhodou je možnosť plynulo meniť koncentráciu donorových alebo akceptorových prímiesí a vytvárať PN priechody. Príprava epitaxných tenkých vrstiev je spôsobom vytvárania monokryštalickej tenkých vrstiev z plynnej alebo kvapalnej fázy na monokryštalickej podložkách. *Homoepitaxiou* deponujeme vrstvy rovnakého zloženia ako substrát a *heteroepitaxiou* rozdielneho zloženia. Podmienkou epitaxného rastu je prispôbenie mriežkového parametra epitaxantu a substrátu z hľadiska hustoty kryštalografických porúch, činiteľov rozťažnosti a i. Epitaxné vrstvy možno pri raste súčasne dotovať prímiesami. Pre vytváranie epitaxných vrstiev na báze kremíka sa používa silán SiH_4 , monochlorsilán SiH_3Cl , tetrachlorid kremíka SiCl_4 , trichlorsilán SiHCl_3 .

V modernej elektronike sa v stále väčšej miere využívajú polovodiče vo forme vrstiev, ktoré môžu mať rozličnú hrúbku, rozličnú štruktúru a môžu byť vyrobené rozličnými technológiami, preto príprava monokryštalickej vrstvy má v oblasti technológií významné miesto.

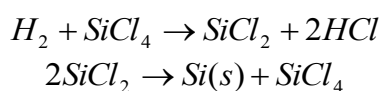
a) Epitaxia z plynnej fázy využíva transportné a iné chemické reakcie pri atmosférickom tlaku. Do epitaxnej pece je vháňaný plyn tryskami cez veľmi presné hmotové prietokomery nezávislé od tlaku a teploty plynu umožňujúce presnú reguláciu zloženia a teploty plynu, ktorých princíp je založený na meraní množstva preneseného tepla úmerného hmotnosti pretečeného plynu. Procesná rýchlosť je $\sim 10^1 - 10^2 \mu\text{m/s}$. Transportnými médiami sú hydridy ako SiH_4 , PH_3 a chloridy ako SiCl_4 , PCl_3 . Niektoré zlúčeniny vznikajú priamo v reaktore pri transportnom procese (plynný Cl_2 alebo HCl tvorí pri teplote $\sim 10^2 \text{ K}$ plynné chloridy s Ga, In).

Príprava tenkých monokryštalickej vrstvy z plynnej fázy (VPE - Vapour Phase Epitaxy) patrí k štandardným technológiám v polovodičovom priemysle, kde slúži ako základ výroby diód, tranzistorov, integrovaných obvodov a pod. Vrstvy sa nanášajú na monokryštalickej podložky a ich hrúbka býva rádovo mikrometre (možno ich však vyrobiť aj značne hrubšie). Ide o transportnú chemickú reakciu, pri ktorej sa do sústavy privádza polovodič A vo forme plynnej zlúčeniny s látkou B (tzv. transportným plynom). Plyn sa v dôsledku gradientu tlaku premiestňuje do oblasti podložky (substrátu), kde vplyvom zmeny teploty prebehne reverzná reakcia, pri ktorej sa A vylúči formou monokryštalickej vrstvy na substráte a uvoľnené médium B sa môže cirkulačne vrátiť späť a využiť na pokračovanie epitaxie, prípadne odchádza preč. Dôležité je, aby reakcia prebiehala až na substráte; v opačnom prípade by sa vytvárali zhluky atómov s rozličnou orientáciou.

Tetrachloridový proces depozície kremíka redukciou SiCl_4 pri teplote 1 150 - 1 250°C:

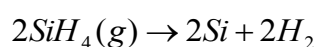


resp.

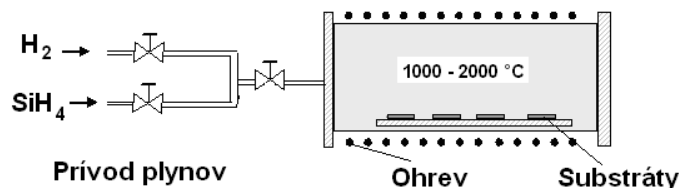


Ak y je pomer SiCl_4 s celkovou molekulárnou koncentráciou, pre $y < 0,11$ prebieha rast a pre $y > 0,28$ leptanie vrstvy reverznou reakciou.

Pyrolytický rozklad silánu pri teplote od 600°C:



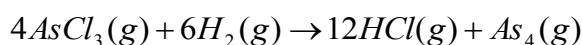
Ak je do pece vháňaná zmes ($2\text{H}_2 + \text{SiCl}_4$), dochádza k epitaxnému rastu a ak je do pece vháňaný HCl dochádza k leptaniu povrchu (obr. 11.5).



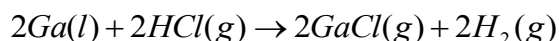
Obr. 11.5 Principiálne usporiadanie pre epitaxný rast vrstiev kremíka z plynnej fázy

Silánová epitaxia umožňuje epitaxný rast aj na iných podložkách (zafír, spinel). Jej nevýhodou je samozápalnosť silánu a náchylnosť na polykryštalický rast spôsobený tvorbou zárodočných centier v nosnom plyne. Obdobne sa vytvárajú aj vrstvy germánia.

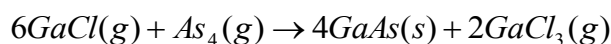
Epitaxná technológia zlúčenín typu $A^{III} B^V$ (GaAs) je zložitejšia. *Epitaxný rast vrstiev GaAs*: pri teplote nad 600 K sa rozloží chlorid arzenitý transportovaný vodíkom:



vzniknutý plynný chlorovodík reaguje s gáliom zohriatym na 1 000 K:



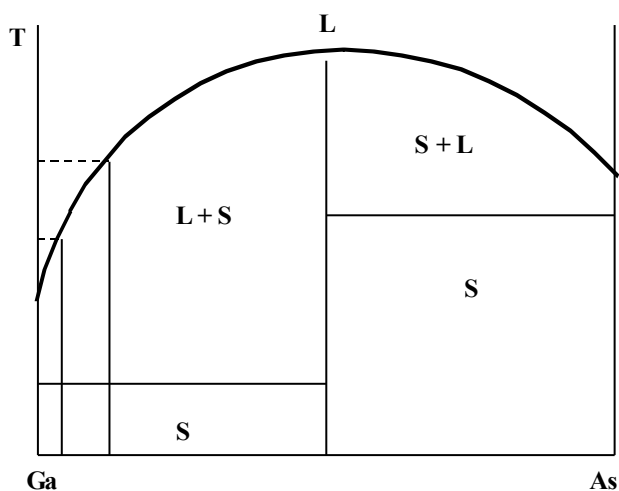
a nakoniec v depozičnej oblasti pri teplote <1000 K reaguje chlorid galitý s parami arzénu:



Rýchlosť epitaxného rastu je $\sim 1 \mu\text{m}/\text{min}$, pre dopovanie sa pridáva najmä bór z B_2H_6 pre polovodič typu P a arzén z AsH_3 , fosfor z PH_3 pre polovodič typu N.

Pri *selektívnej epitaxii* využívame skutočnosť, že na selektovaných ostrovčekoch rastie vrstva monokryštalická a na krycej vrstve polykryštalická s vysokou rezistivitou, čím sú tieto ostrovčeky vzájomne odizolované.

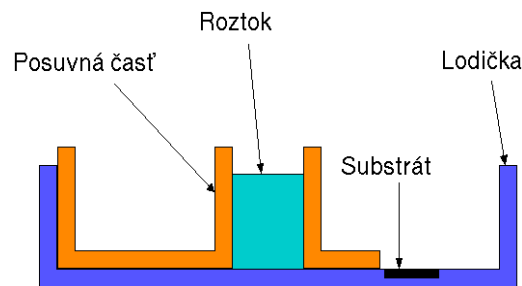
b) Epitaxiou z kvapalnej fázy (LPE – Liquid Phase Epitaxy) možno získať veľmi čisté vrstvy a viacvrstvé štruktúry s výraznou zmenou koncentrácie prímiesí (obr. 11.6).



Obr. 11.6 Fázový diagram

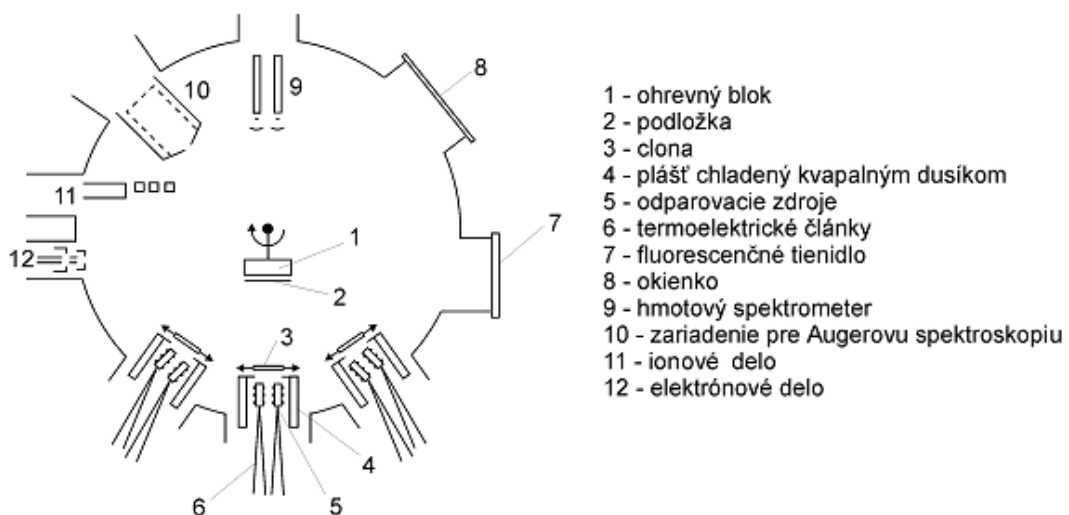
Epitaxant rozpustený v rozpúšťadle je znížením teploty privedený do stavu presýtenia roztoku a po kontakte so substrátom sa naň zráža. Je potrebná malá rozpustnosť rozpúšťadla v nanášanej látke a vysokočistá pracovná atmosféra (najmä vodíková). Postupným znižovaním teploty sa tavenina ochudobní o arzén a nerozpustný GaAs sa usadzuje na monokryštalickej podložke. Epitaxiou z kvapalnej fázy možno získať veľmi čisté vrstvy a viacvrstvové štruktúry s výraznou zmenou koncentrácie prímiesí.

Teplota procesu býva hlboko pod bodom tavenia danej látky, čo značne obmedzuje kontamináciu vrstiev a znižuje počet štruktúrnych defektov, čomu dopomáha aj naleptanie povrchu substrátu pred epitaxiou. Procesná rýchlosť je $\sim 10^1 - 10^2 \mu\text{m/s}$. U nestacionárnej LPE vrstiev GaAs sa znížením teploty tavenina ochudobní o arzén a nerozpustený GaAs sa usadzuje na podložke. U preklápacieho systému je lodička so substrátom na jednom konci a roztokom na druhom preklopená tak aby roztok zalial povrch substrátu. Sústava je uzavretá v ampule s vhodnou atmosférou a umiestnená v odporovej peci. Najpoužívanejší systém s posuvnou lodičkou využíva pohyb lodičky s roztokom v nádržke ponad substrát (obr. 11.7). LPE sa využíva na prípravu vysoko náročných vrstiev najmä typu $A^{\text{III}}B^{\text{V}}$ ako GaAs, GaP, $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ pre špeciálne polovodičové vč a luminiscenčné prvky.



Obr. 11.7 Princípálne usporiadanie pre LPE s posuvnou lodičkou

c) Molekulárna epitaxia je ultravákuové ($10^{-8} - 10^{-9}$ Pa) vytváranie veľmi tenkých viacvrstvových vrstiev naparovaním zväzkami atómov, alebo molekúl rýchlosťou $\sim 1 \text{ nm/min}$ (obr. 11.8).



Obr. 11.8 Schéma aparatury pre molekulárnu epitaxiu

Zväzok je sústredený kolimačnými štrbinami a rýchlo prerušovateľný ovládacími clonami. Súčasťou je kvadrupólový hmotový spektrometer na analýzu zvyškových plynov, Augerov elektrónový spektroskop na chemickú analýzu povrchu substrátu a s ním iónové delo na analýzu zloženia naparovanej vrstvy a zariadenie na difrakciu elektrónov na odraz na sledovanie štruktúry vrstiev. Využíva povrchové analytické metódy s mimoriadne presným

počítačovým riadením napařovacej rýchlosti a zloženia vrstiev s molekulárnou presnosťou. Možno ňou pripravovať izolačné aj kovové vrstvy v jednom cykle. Každý epitaxant sa nachádza vo vlastnej peci s nastaviteľnou odparovacou rýchlosťou v tégliku z nitridu bóru ovinutom ohrievacou tantalovou špirálou. Pri epitaxii vrstiev GaAs je zabezpečený prebytok molekúl As_2 , ktorý sa po reakcii všetkých atómov Ga odrazí späť. Využíva sa pri výrobe mikrovlnných diód, Schottkyho MOS tranzistorov, injekčných polovodičových laserov, optických vlnodov, IO.

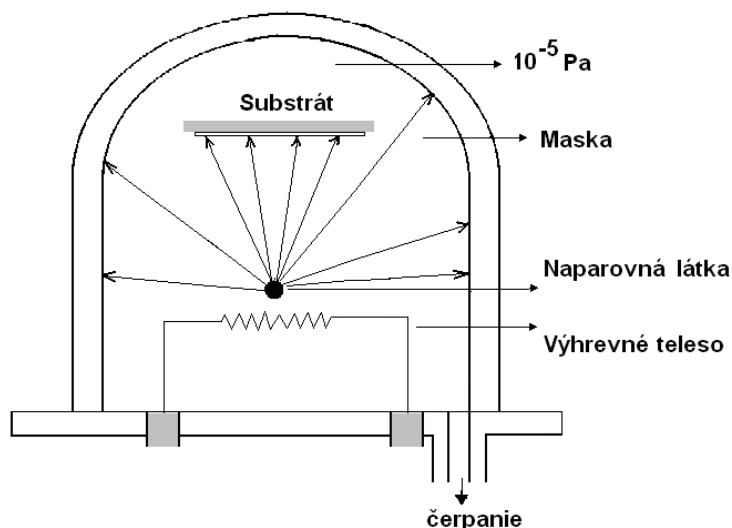
d) Grafoepitaxia je spôsob vytvárania epitaxných vrstiev na amorfných materiáloch vytvorením povrchového reliéfu s usporiadaním na veľkú vzdialenosť a rozmermi porovnateľnými s veľkosťou prirodzených monokryštalických zŕn polykryštalickej vrstvy. Takéto orientované vrstvy možno vytvoriť napr. laserovým žiňaním amorfnej kremíkovej vrstvy na povrchu amorfného SiO_2 s vytvorenou mriežkou s pravouhlými výstupkami vo vzájomnej vzdialenosti $3,8 \mu m$ vytvorenou reaktívnym iónovým leptaním s použitím röntgenovej litografie.

11.2 Príprava polykryštalických a amorfných vrstiev

11.2.1 Fyzikálne metódy depozície tenkých vrstiev

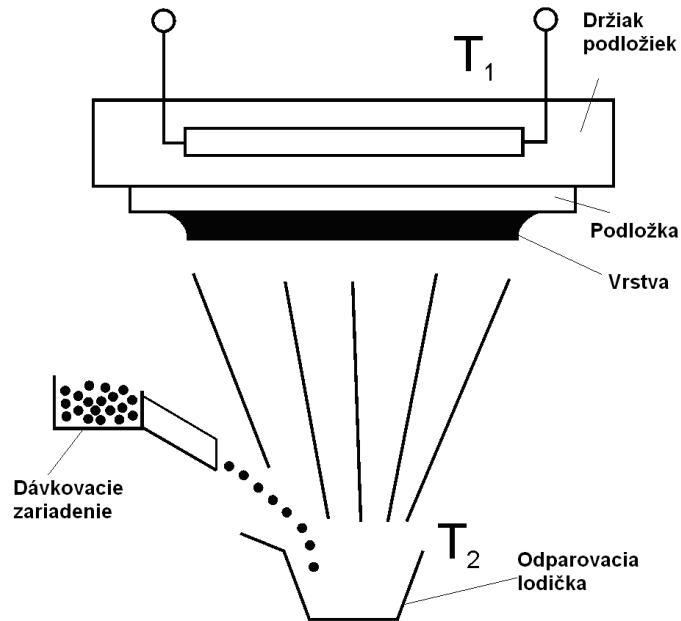
a) Vákuové napařovanie

Vytvárame ním tenké (amorfné) vrstvy odparovaním vyhrievaného materiálu (Si, Ge, InSb) vo vysokom vákuu ($< 10^{-4} Pa$) kondenzáciou jeho pár na **chladnejšej** podložke, pričom na dosiahnutie primeraných napařovacích rýchlostí ho treba vyhriať na takú teplotu, aby tlak nasýtených pár dosiahol minimálne 1 Pa, obvykle $1\ 000 - 2\ 000^\circ C$. Pre odparovacie špirály a lodičky zvyčajne používame Mo, W alebo Ta, ktoré majú požadovaný nízky tlak pár a netvorí s odparovanými materiálmi eutektickú zliatinu (obr. 11.9). Vysokotavitelné alebo reaktívne materiály (Ta) odparujeme ohrevom elektrónovým zväzkom o energii $4 - 10 keV$ o prúde niekoľko sto mA.



Obr. 11.9 Princíp vákuového napařovania

Zlúčeniny možno pripravovať *reaktívnym napařovaním* s privádzaním plynu obsahujúceho atómy budúcej zlúčeniny, dvojzložkové materiály *bleskovým odparovaním* $\sim 100 \mu m$ zrníčok dopadajúcich na vyhriatu podložku, kovy *explóziou tenkých drôťkov* prechodom prúdového impulzu $\sim 10^6 Acm^{-2}$ (Metóda „flash napařovania“ – obr. 11.10)

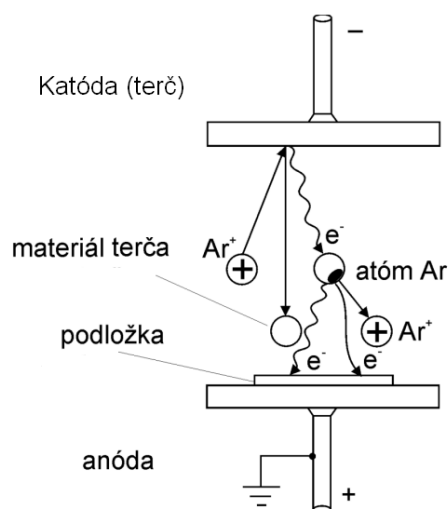


Obr. 11.10 Metóda naparovania „flash“

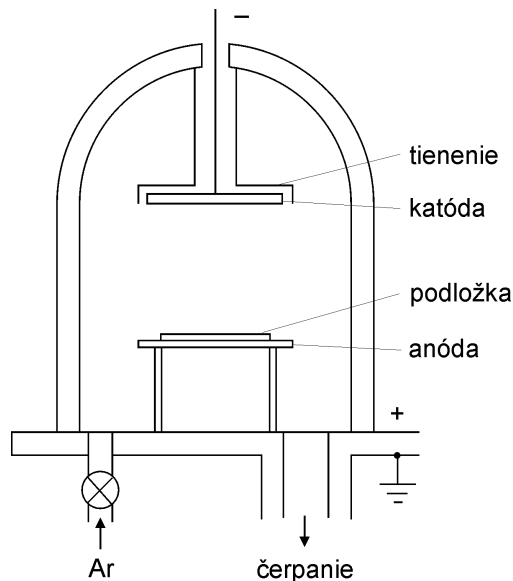
b) Katódové naprašovanie

Je spôsobom nanášania tenkých vrstiev impulzným odprašovaním na substrát. Pri diódovom type je materiál katódy tlejivým výbojom v inertnom plyne (Ar) pri tlaku 0,1 - 1 Pa, napätí niekoľko kV a energii 40 - 130 keV odprašovaný na substrát na anóde. Kladné ióny plynu vznikajúce vo výboji nárazovou ionizáciou sú elektrickým poľom unášané ku katóde a uvoľňujú z nej čiastočky materiálu vo forme neutrálnych atómov a čiastočne aj iónov.

Pomerne vysoký tlak v systéme spôsobuje zvýšené znečistenie zvyškovou atmosférou, preto nemožno získať extrémne čisté vrstvy. Efektívnosť procesu vyjadruje koeficient katódového rozprašovania S ako pomer počtu rozprášených atómov N_a a dopadnutých iónov N_i .

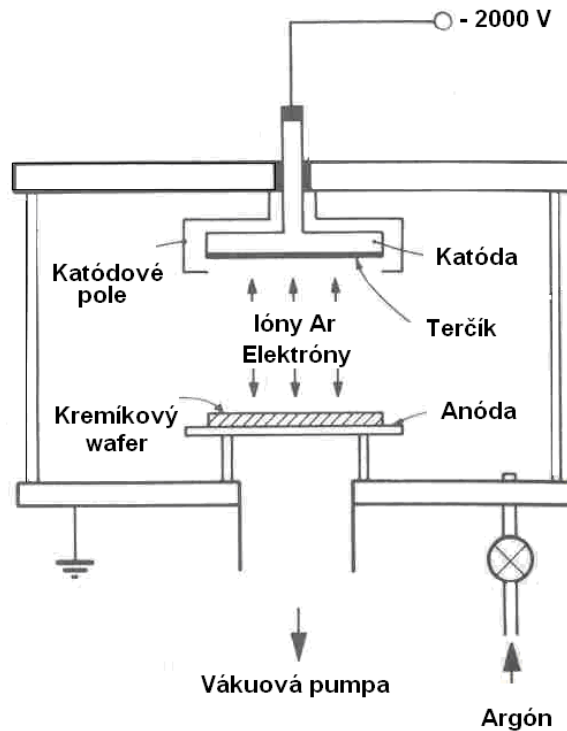


Obr.11.11 Princíp katódového naprašovania (ióny Ar^+ bombardujú terč vyrážajú materiál terča a sekundárne elektróny, ktoré priťahuje uzemnená podložka (anóda). Elektróny prichádzajúce do kolízie s atómami Ar môžu spôsobiť ionizáciu, ktorej výsledkom je ión Ar^+ a dva elektróny)



Obr. 11.12 Základné usporiadanie pre diódové jednosmerné naprašovanie

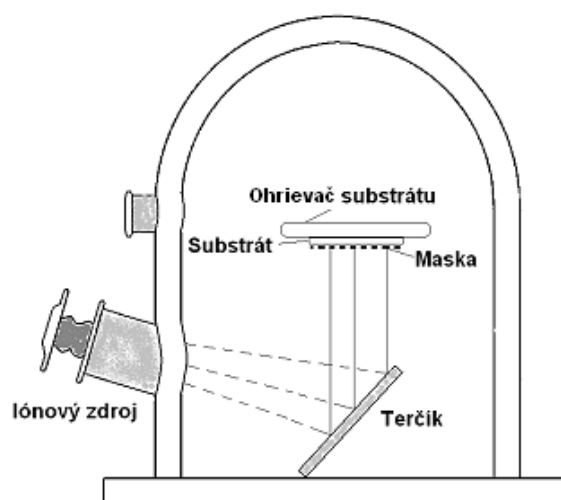
- **Reaktívnym katódovým naprašovaním** vytvárame tenké vrstvy zlúčenín (Al_2O_3) chemickou reakciou odprašovaného materiálu s pridaným reaktívnym plynom.
- **Magnetronové naprašovanie** zväčšuje pravdepodobnosť ionizujúcich zrážok zakrivovaním dráh elektrónov vonkajším magnetickým poľom.
- **Getrovacie rozprašovanie** potláča vplyv nečistôt nosného plynu ich chemickou väzbou s rozprašovaným kovom a následným usadzovaním na stenách nádoby.
- **Triódovým naprašovaním** možno pri zníženom tlaku zachovať koncentráciu ionizujúcich elektrónov pomocnou termokatódou emitujúcej elektróny nezávisle od tlaku, čo znižuje kontamináciu zvyškovou atmosférou.
- **Vysokofrekvenčným rozprašovaním** vytvárame izolačné a dielektrické vrstvy. Vf pole ($\sim\text{MHz}$, 20 mAcm^{-2}) zabraňuje hromadeniu kladného náboja na nevodivom terčíku s materiálom a záporné predpätie hromadeniu záporného náboja počas kladnej poloviny vf zdroja. Pracovný tlak býva $\sim 0,1 \text{ Pa}$, naprašovacia rýchlosť $\sim 80 \text{ nm}\cdot\text{min}^{-1}$, u kovov býva podstatne vyššia.
- **Plazmové naprašovanie:** Pri tlaku $2 - 7 \text{ Pa}$ sa zapáli tlejivý výboj. Kladné ióny bombardujú terčík a vyrážajú z neho atómy. Tieto sa dostávajú na substrát. Metódou možno napařovať aj ťažko napařovateľné izolátory, ak ich upevníme na kovovú podložku (obr. 11.3).



Obr. 11.13 Plazmové naprašovanie

- **Naprašovanie iónovým lúčom**

Na prípravu tenkých vrstiev bola vyvinutá metóda naprašovania v jednosmernom alebo vysokofrekvenčnom tlejivom výboji. Princíp spočíva v tom, že kladné ióny s energiou jednotiek až desiatok eV sú urýchľované elektrickým poľom a ich tok je usmernený na katódu, tzv. terč. Terč je vyhotovený z materiálu, ako je požadovaná tenká vrstva. Ióny terč „bombardujú“, vytrhávajú z neho atómy alebo ióny, ktoré potom kondenzujú na podložke. Výhodou je možnosť naprašovania vo vákuu. Ak sa do pracovného priestoru pridá ešte O_2 (obr. 11.14), môže nastať želaná chemická reakcia.



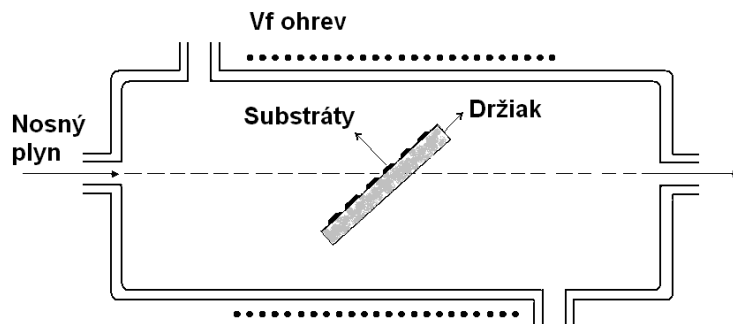
Obr. 11.14 Zariadenie na naprašovanie iónovým lúčom

11.2.2 Chemické metódy depozície tenkých vrstiev

a) Chemická depozícia z kvapalnej fázy

- *Homogénna reakcia:* vytváranie kovových vrstiev redukciou iónov roztoku kovu zmiešaním s redukčným roztokom na substráte. Používa sa na plátovanie medi pre DPS, nanášanie striebra na sklo (plast) pre zrkadlá.
- *Autokatalytická redukcia:* vytváranie kovových vrstiev redukciou iónov na katalytickom povrchu. Bezprúdové pokovenie Ni, Co, Pd, Pt, Cu, Au, Ag používame len výnimočne, pretože reductanty (NaH_2PO_2 , formaldehyd, hydrazín) sú drahšie ako elektrická energia na galvanické pokovenie.
- *Konverzné pokrývanie:* (elektro)chemické pôsobenie na kov so vznikom vrstvy jeho zlúčeniny pre zvyšovanie koróznej odolnosti chromátovaním, úpravu povrchov pod nátery, vytváranie čiernych antireflexných vrstiev konverznou oxidáciou Fe, Cu a ich zliatin.
- *Anodizácia:* vytváranie oxidových vrstiev na kovovej (Al) alebo polovodičovej (pri zisťovaní koncentračného profilu prímiesí v Si, GaAs) anóde elektrolyzou. Kyslíkové ióny pre oxidáciu možno získať aj z plazmy jednosmerného alebo vysokofrekvenčného elektrického výboja v kyslíku.

- b) **Chemická depozícia z plynnej fázy** (CVD – Chemical Vapour Deposition) - umožňuje vytvárať polovodičové, dielektrické aj kovové vrstvy rôzneho stechiometrického zloženia amorfnej alebo polykryštalickej štruktúry, akú nemožno získať inými metódami. Možno ju uskutočňovať pri atmosférickom tlaku pri teplote $700 - 1\ 050\ ^\circ\text{C}$ za použitia H_2 ako nosného plynu v prostredí reaktora (obr. 11.15).



Obr. 11.15 Horizontálny reaktor pre metódu CVD

Homogénnejšie vrstvy možno získať nízkotlakovou CVD pri teplotách $650 - 800\ ^\circ\text{C}$, pretože pri tlakoch $50 - 100\ \text{Pa}$ sa výrazne zväčšuje difuzivita plynov. Metódou CVD sa pre mikroelektroniku pripravujú najmä dielektrické, pasívne a aj epitaxné polovodičové vrstvy.