

Mikrotechnológia

Általános kérdések

A mikroelektronikai és a MEMS eszközök gyártástechnológiája

Alapanyag: félvezető egykristály (Si) szelet

Műveletek:

Additív módszerek:

vékonyréteg leválasztás – PVD, CVD, ábrakialakítás

Módosító eljárások:

megvilágítás, diffúziós vagy ionimplantációs adalékolás, termikus műveletek

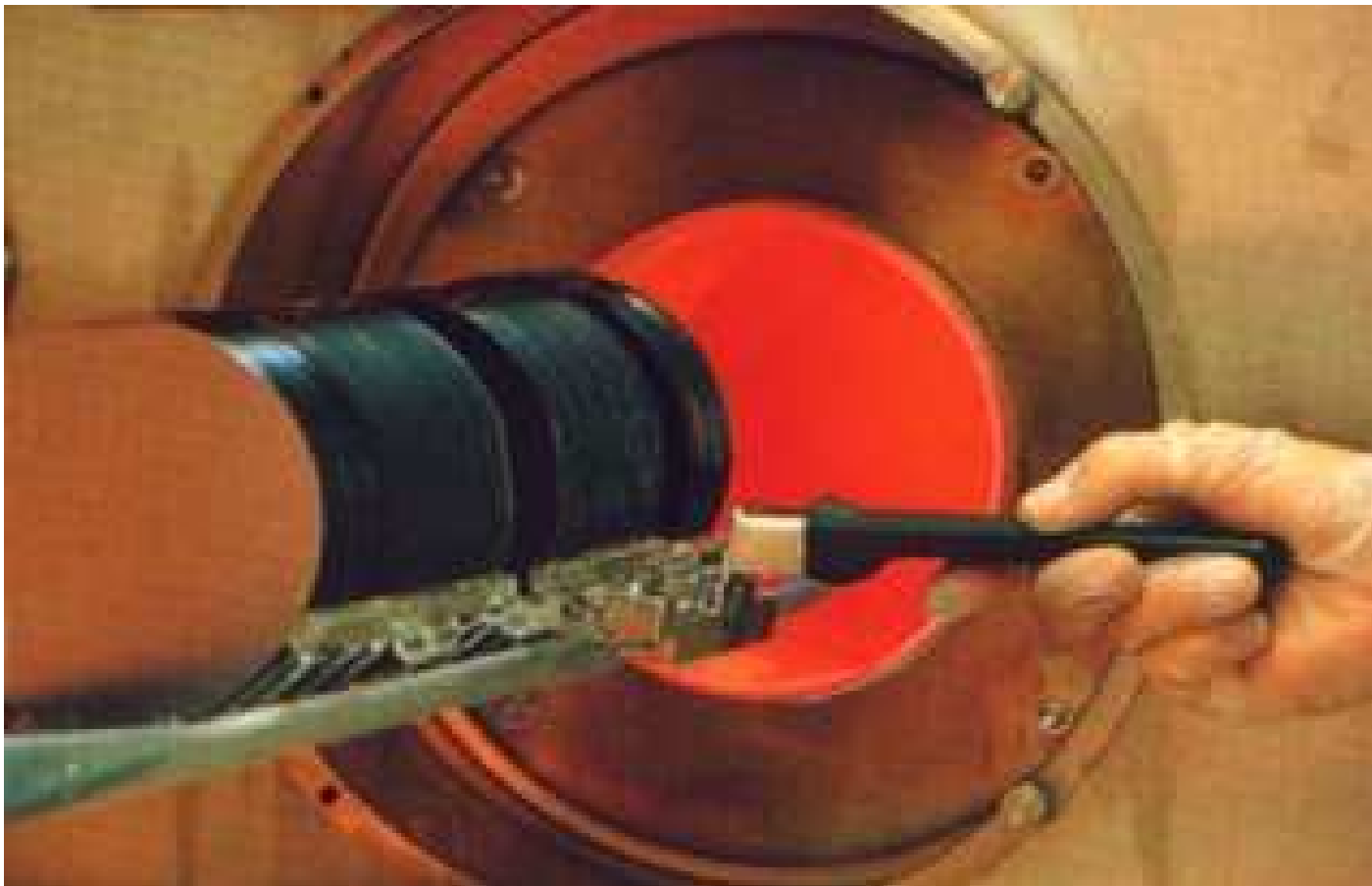
Szubtraktív módszerek:

kémiai és fizikai marási lépések, lézeres és mechanikai rétegeltávolítás.

Szelettechnológia

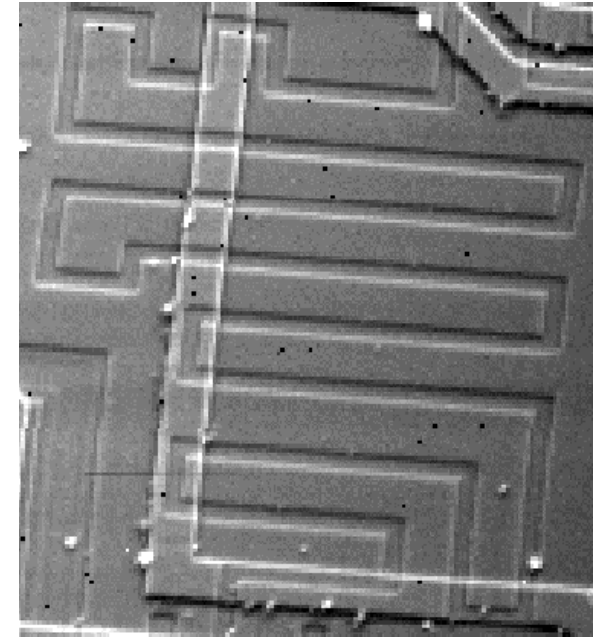
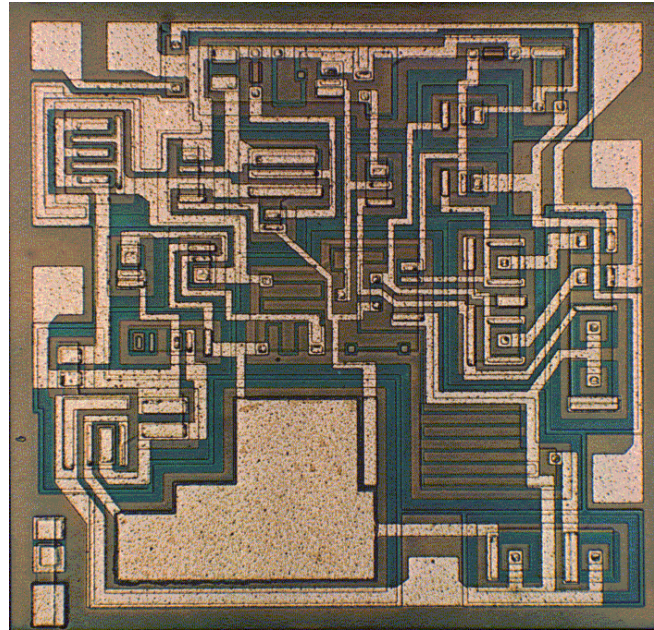
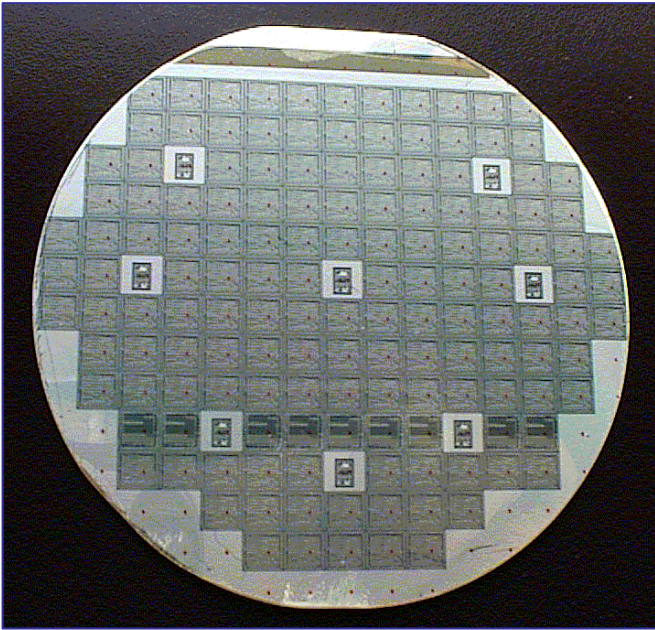
Szelettechnológia: a technológiai lépések egymásutáni alkalmazása a kiinduló félvezető szeleten.

A szeletek csoportosan (20-40) járnak végig a technológia lépéseit, egy ilyen csoport neve: parti. Egy partiban akár 10000-50000 chip készülhet egyszerre.



Szelet és chip

A különböző vastagságú oxidréteggel fedett területek különböző színűnek látszanak.



Csíkszélesség:
60-as években 12-15 μm , ma 0,03-0,1 μm

300 és 450 mm átmérőjű Si szeletek



450 mm-es gyártásban 2012-ben?

Tisztasági követelmények

Szigorú tisztasági követelmények a félvezető anyagok kis szennyezőtartalma miatt.

A technológiai lépések un. tiszta szobákban történnek.



Levegő függőleges lamináris cirkuláltatása szűrőkön keresztül, megfelelően kialakított munkaterek, védőruhák és szigorú rendszabályok.

US Federal Standards 209/C szabvány szerint.

Pl. 100-as fokozat: 1 liter levegőben kevesebb mint 3,5 db $0,5\ \mu\text{m}$ -nél nagyobb méretű részecske (100 db/köbláb).

Szubmikronos litográfia: 10-es és 1-es terek a megfelelő kihozatal végett.

Rendkívül költséges.

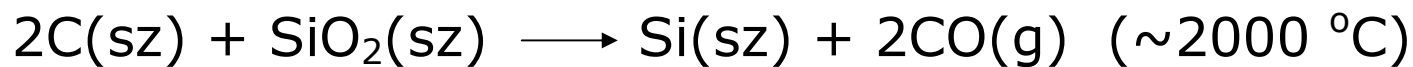
Kristálynövesztés

Lépései: alapanyag előállítása
kristályhúzás
minőségellenőrzés, szeletelés, csiszolás, polírozás

Alapanyag előállítása

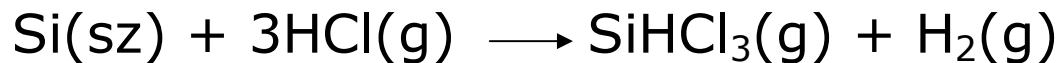
Szilícium

Kiinduló anyag: SiO_2 (homok). Szénnel redukálják magas hőmérsékleten:

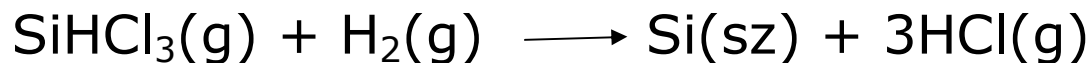


Metallurgiai tisztaságú Si ($\sim 98\%$).

Tisztítás: őrlés, reakció sósavval $300\text{ }^\circ\text{C}$ -on - triklórszilán:



Tisztítás szakaszos desztillációval (forráspont $32\text{ }^\circ\text{C}$). Redukció hidrogénnel $1000\text{ }^\circ\text{C}$ -on (fordított reakció):

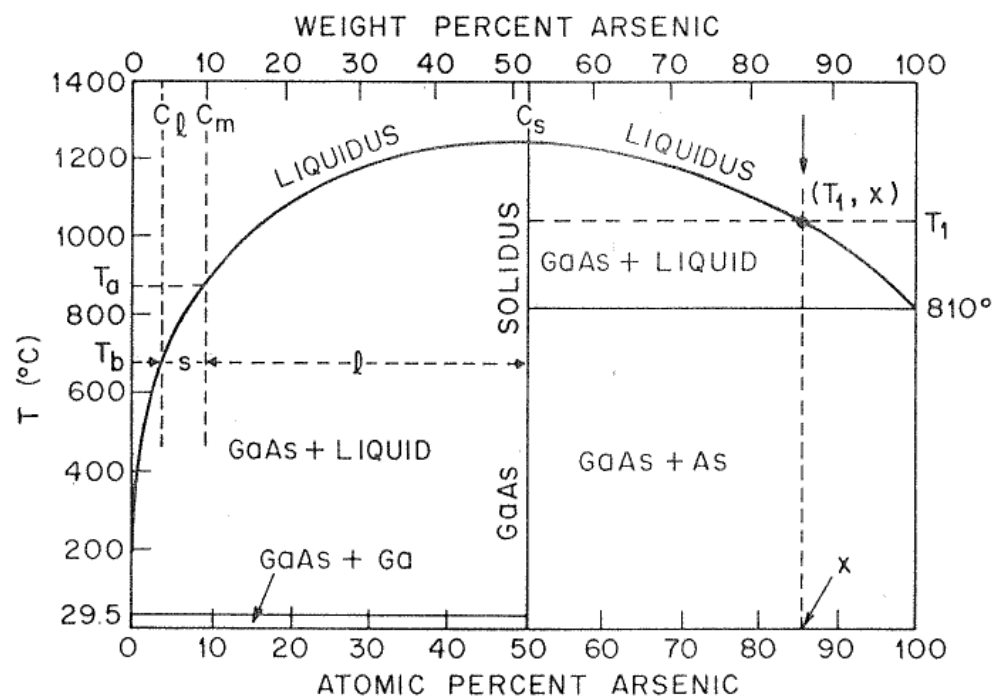


Fűtött Si rúdra válik ki a Si a gáztérből. Szennyezés $\sim 10^{14}\text{ cm}^{-3}$.

GaAs

Kiinduló anyag: Ga és As

GaAs létrehozásához As túlnyomás szükséges. Zárt kvarc reaktorban az As-t 610-620 °C-ra, a Ga-t (külön tartályban) 1240-1260 °C-ra hevítik. Az As gőz reagál a megolvadt Ga-mal és sztöchiometrikus GaAs keletkezik.

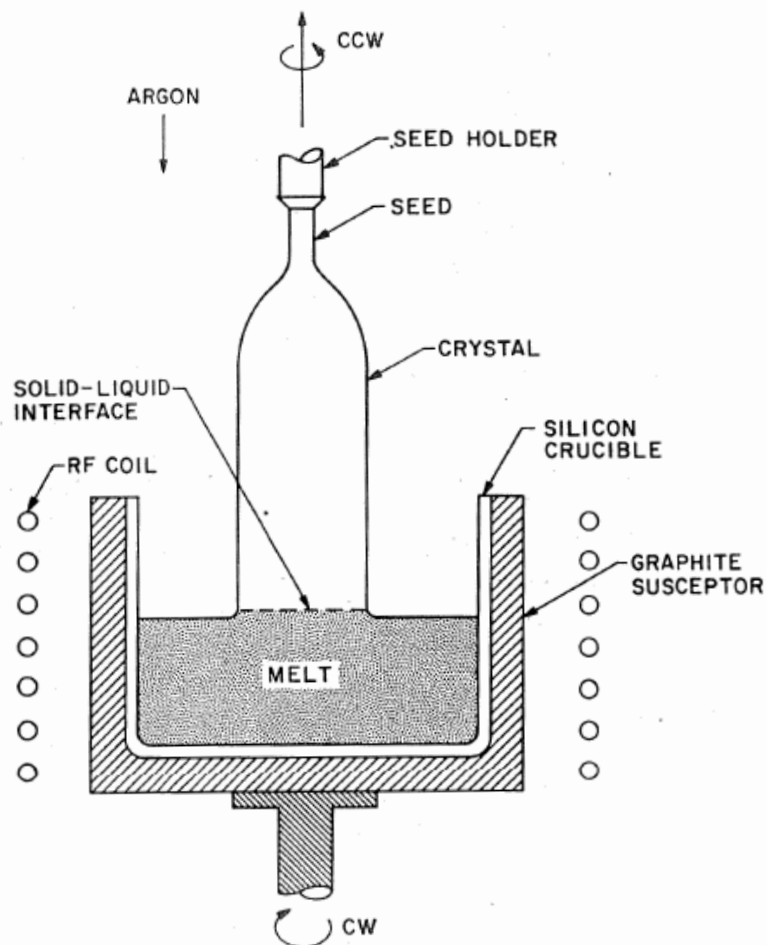


Kristályhúzás

Czochralski módszer

Video: 1CrystalPulling.avi

Főként Si egykristály előállítására



Kívánt orientáció →

- magkristály

Hibátlan egykristály →

- nagyon lassú,
- pontos hőmérsékletű húzás (1414°C),
- rúd és tégely forgatása



Év	1950	1956	1967	1980	1992	1997
Átmérő	½ inch	1 inch	2 inch	100mm	200mm	300mm
Tömeg (kg)	0,05	0,4	2,5	24	110	200

GaAs húzása esetén az oldatot kb. 1 cm vastag olvadt bortrioxiddal (B_2O_3) borítják az As kipárolgás ellen.

Kristályhúzó berendezések



Kristályhúzás



Húzási sebesség: néhány mm percenként.

Egykristály öntecsek



Egykristály öntecsek



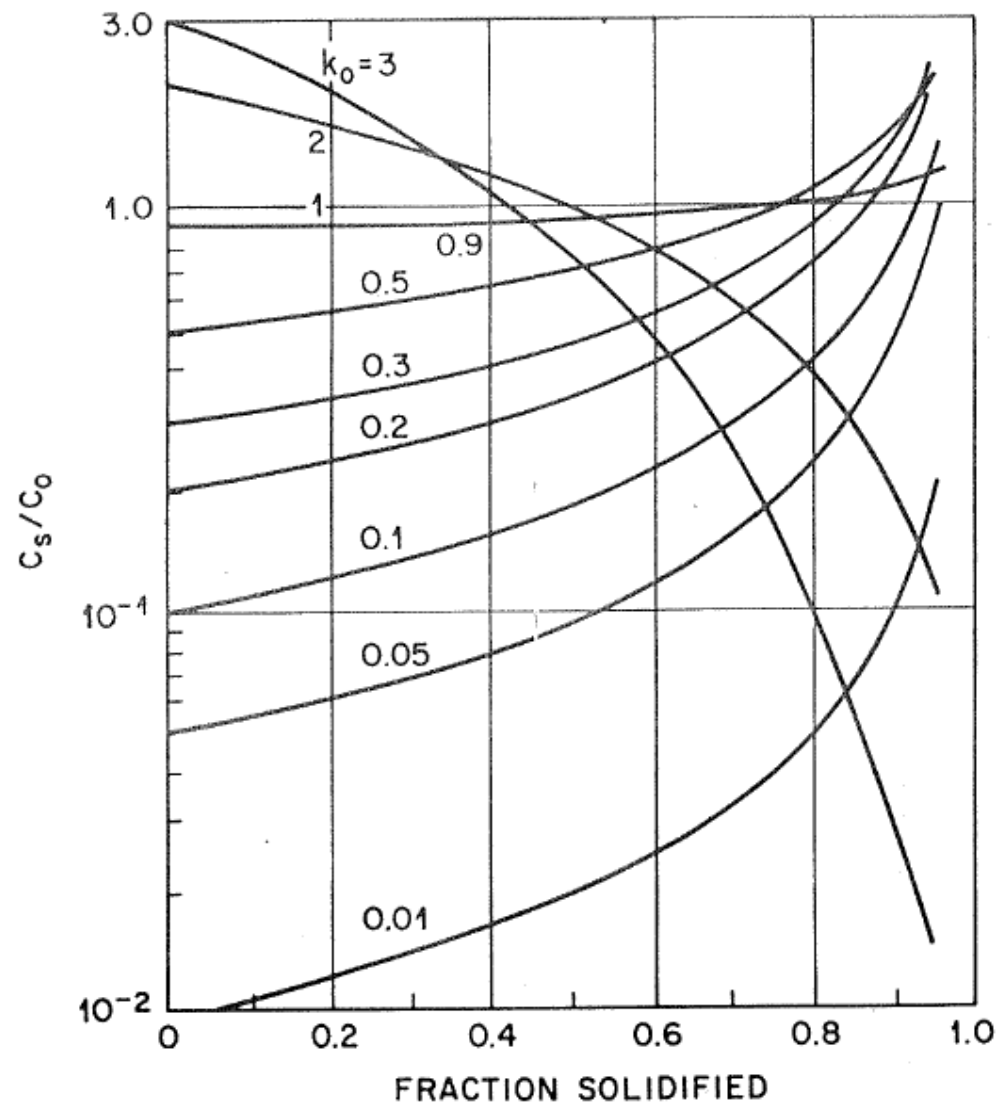
Adalékeloszlás

Az adalékokat az oldathoz adják: Si - B (akceptor) P (donor), GaAs - Cd, Zn (akceptor) Se, Si, Te (donor), Cr (kompenzáló).

A szilárd fázisban az adalékkoncentráció (C_s) eltér az olvadékban lévő koncentrációtól (C_l) (szegregáció). A két koncentráció arányát szegregációs tényezőnek hívják:

$$k_0 = C_s / C_l$$

A szegregációs tényező általában kisebb egynél, az adalék feldúsul az olvadékban, ahogy nő a kristály. Ennek következtében a kristályban is folyamatosan nő az adalékszint. Megoldás: számítógépes vezérlés - változtatják a húzási sebességet és a hőmérsékletet.



Az adalékkoncentráció a kristályban az olvadékban lévő kezdeti koncentrációhoz viszonyítva különböző szegregációs tényezők esetén.

Adalékmennyiség

Feladat:

$p=10^{16} \text{ cm}^{-3}$ lyukkonzentrációjú Si egykristály előállításához mekkora B koncentrációjú Si olvadékot kell előállítani, ha a bor szegregációs tényezője szilíciumban $k_0=0,8$. Hány gramm bort kell 60 kg szilíciumhoz adalékolni? Az olvadt szilícium sűrűsége $2,53 \text{ g/cm}^3$, a bor atomsúlya $M_B=10,8 \text{ g/mol}$.

Megoldás:

A szükséges koncentráció az oldatban:

$$k_0 = C_s / C_l \longrightarrow C_l = C_s / k_0 = 10^{16} \text{ cm}^{-3} / 0,8 = 1,25 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$$

A szilícium olvadék térfogata:

$$\rho = m / V \longrightarrow V_{\text{Si}} = m_{\text{Si}} / \rho_{\text{Si}} = 60 \cdot 10^3 \text{ g} / 2,53 \text{ gcm}^{-3} = 2,37 \cdot 10^4 \text{ cm}^3$$

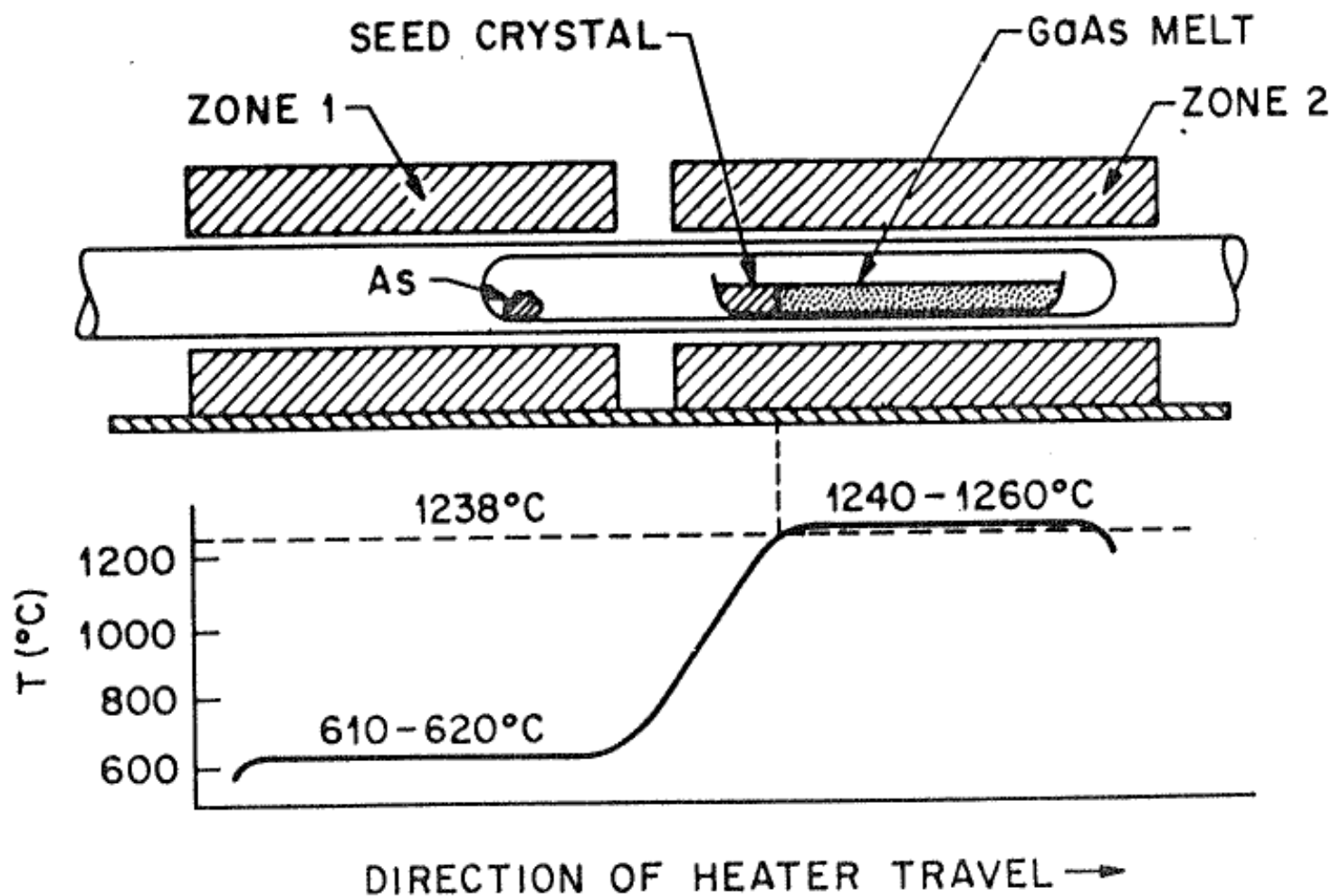
A bor atomok száma az olvadékban:

$$N_B = C_l V_{\text{Si}} = 1,25 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3} \cdot 2,37 \cdot 10^4 \text{ cm}^3 = 2,96 \cdot 10^{20}$$

A bor szükséges mennyisége:

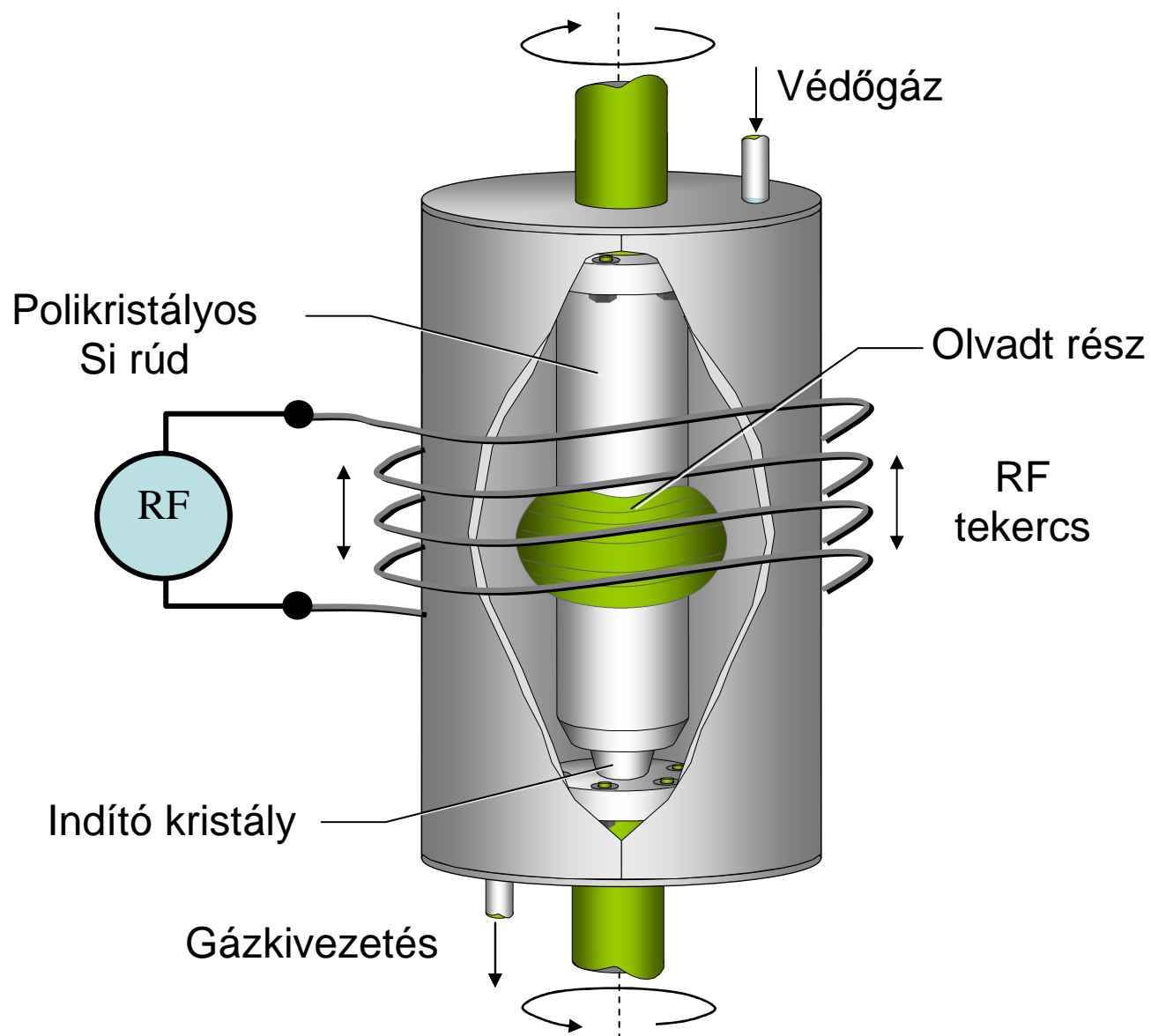
$$m_B = N_B M_B / A = 2,96 \cdot 10^{20} \cdot 10,8 \text{ g/mol} / 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} = 5,31 \text{ mg}$$

Bridgman módszer



Főleg vegyületfélvezetők esetén. Két hőzónás kályha, a kristályt lassan kihúzzák a magasabb hőmérsékletű zónából. GaAs esetén többlet As a csónak végén az As túlnyomás biztosítására.

Zónás kristályhúzás/tisztítás

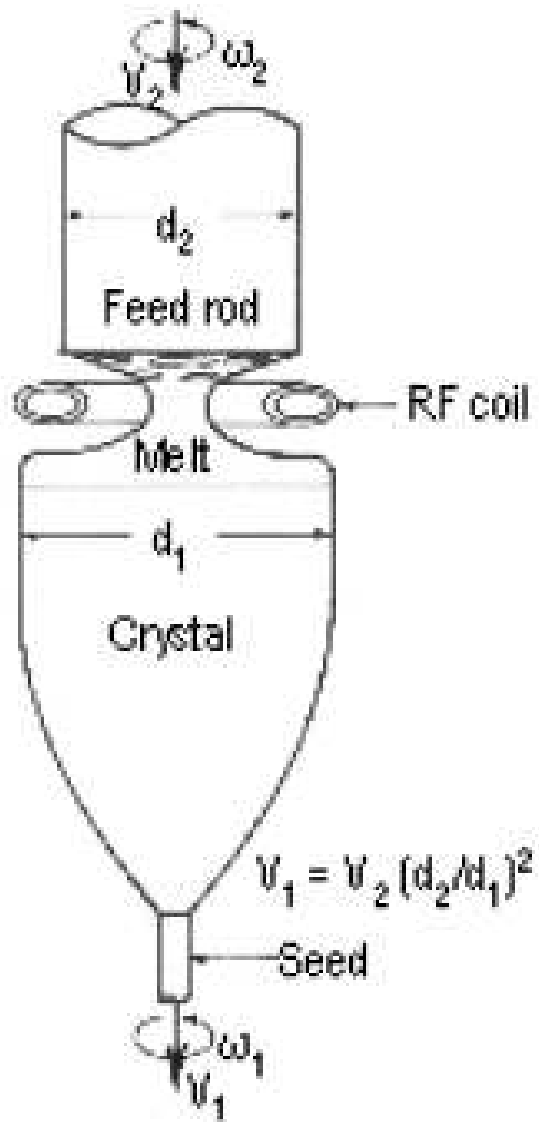


Olvadáspont: 1415 °C

Zónás kristályhúzás:
Csak az öntecs kis részét olvasztják meg indukciós fűtéssel (örvényáramok). A megolvadt anyag nem folyik ki a felületi feszültség miatt. Az olvadt részt lassan végiggörgetik az öntecs mentén - átkristályosodás.

Használják tisztításra is - zónás tisztítás: a szennyezők szegregációja miatt azok felgyűlnek az olvadékban. Néhányszor végigpásztázva kihajtják őket az öntecs végére.

Zónás kristályhúzás/tisztítás



Szeletelőállítás

Öntecs csiszolása

Szeletelés

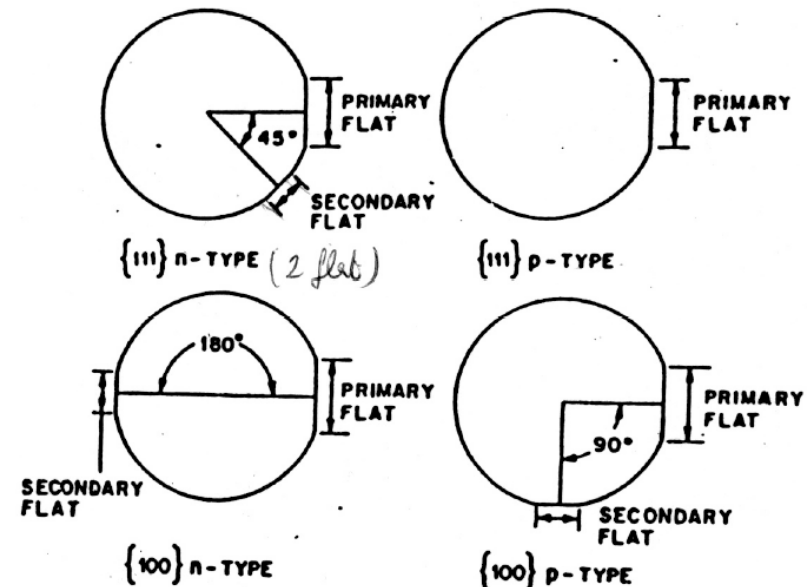
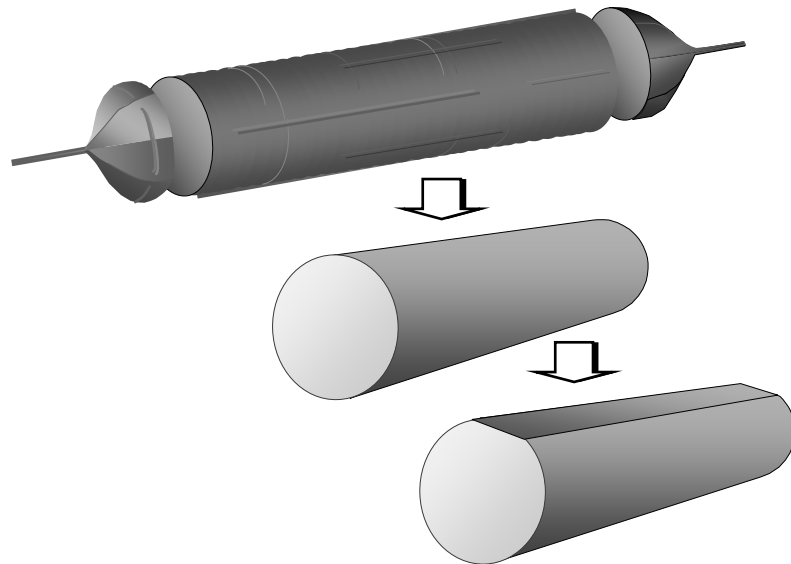
Csiszolás, polírozás

Ellenőrzés

Öntecs csiszolása

Video: 2RodGrind.avi

A húzás után a tömb felülete egyenetlen. Végeit levágják, felületét teljesen simára csiszolják, ezzel biztosítva az állandó átmérőt. A típus és az orientáció jelzésére egy vagy két oldalon síkra köszörülnek.



Minőségellenőrzés

Ellenállás - adalékolás, tömbi hibák

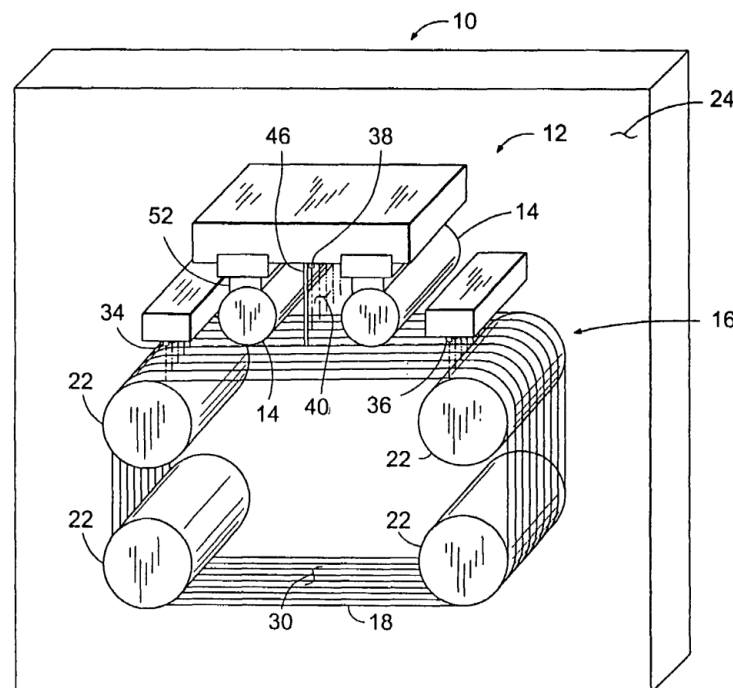
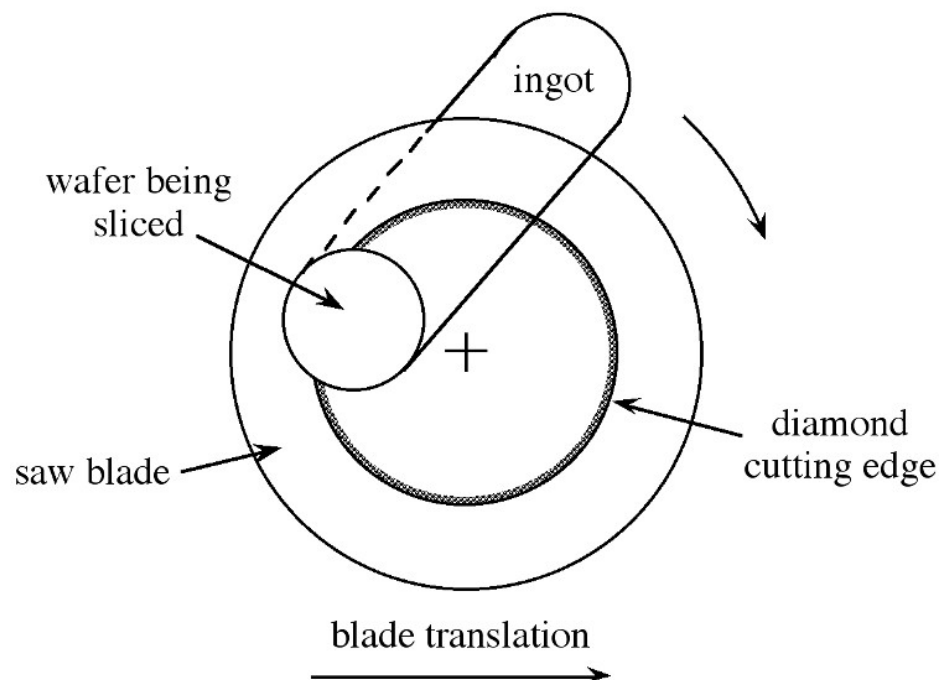
Röntgendiffrakció - kristálytani orientáció ellenőrzése

Szeletelés

Gyémántporos vágólappal (a lap belső élével)

Huzalos szeletelővel - csiszolóporos folyadékkal locsolják

Video: 3WireCutting.avi



Élek lekerekítése

Video: 4EdgeProfiling.avi

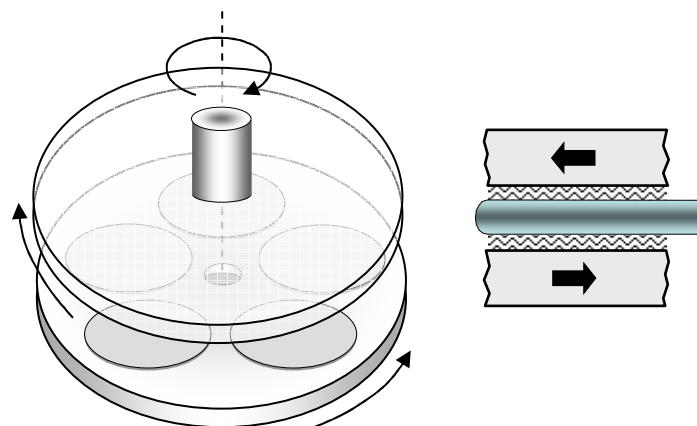
Szeletelés után a szelet széle éles és törékeny - letörhet, megrepedhet a szelet: lekerekítik a szeletek szélét.

Csiszolás

Csiszolás - durva egyenetlenségek eltávolítása az alsó és a felső oldalról is. Utána kémiai marás - további simítás, tisztítás, felületi hibák számának csökkentése.



Video: 5Lapping.avi



Polírozás

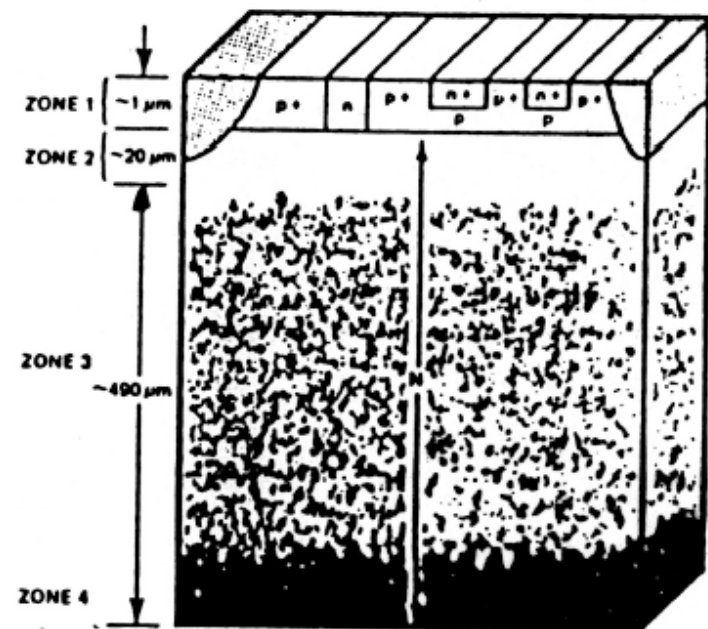
Több lépéses automatizált folyamat - ultra finom polírpasztát használnak.
Az egymással szemben lévő csiszoló felületek ellentétes irányban forognak.
Vegyí-mechanikai polírozási eljárás.
Eredmény: tükrös felület az áramkörök számára.

Szeletvizsgálat

Érintésmentes vizsgálatok: optikai, mikrohullámú, kapacitív, röntgen- és elektrondiffrakciós, optikai és elektronmikroszkópos mérések, stb.

A cél minél több tulajdonság vizsgálata. Például:

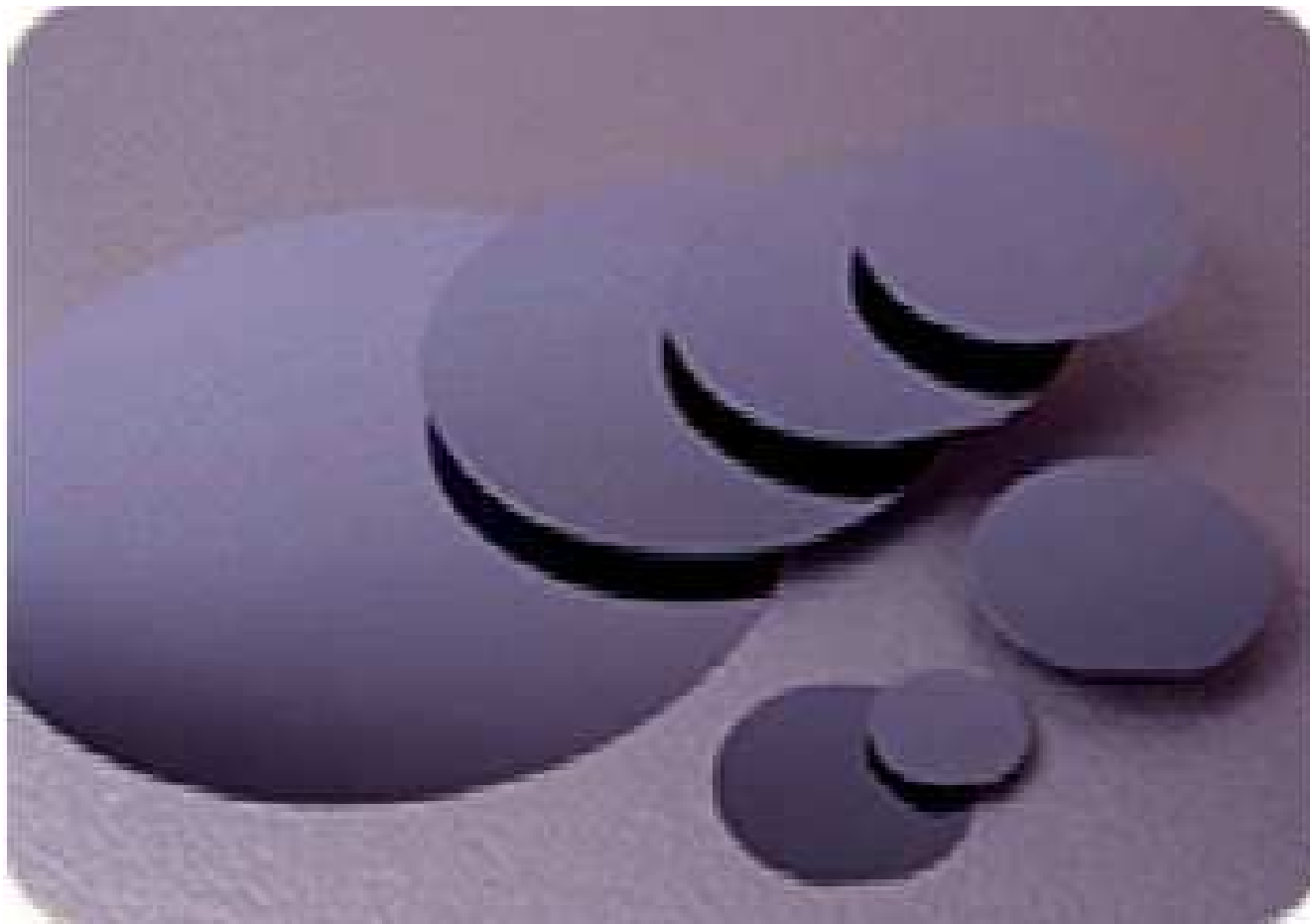
- töltéshordozók élettartama, diffúziós hossza
- adalékolás típusa és mértéke, fajlagos ellenállás
- kristálytani orientáció, kristályhibák



Video: 7LaserInspection.avi

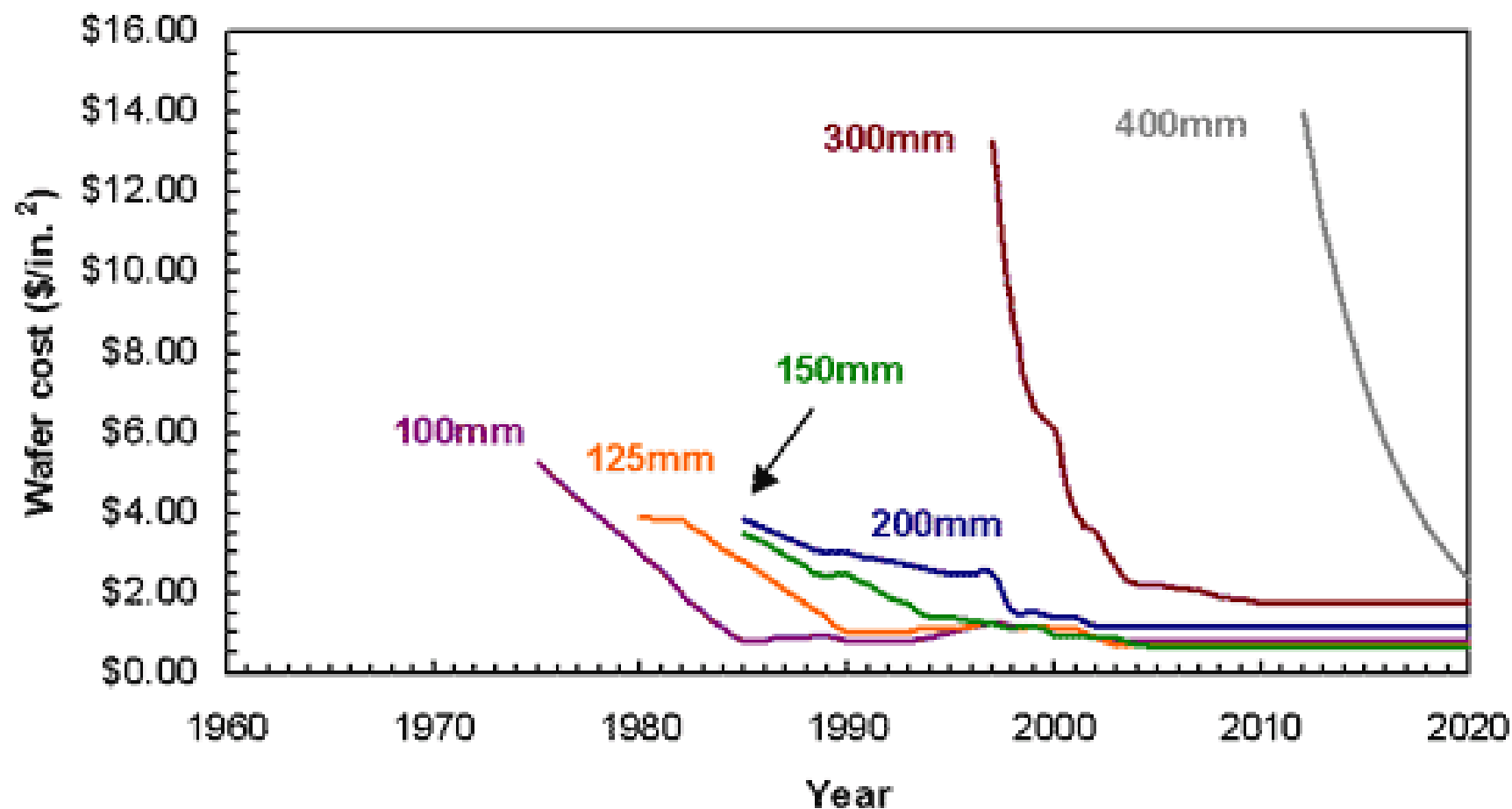
Szilícium szelet méretek

Átmérő	2"	4"	6"	8"	12"
Vastagság [μm]	275	525	675	725	775



Egykristályos szilícium szelet árak

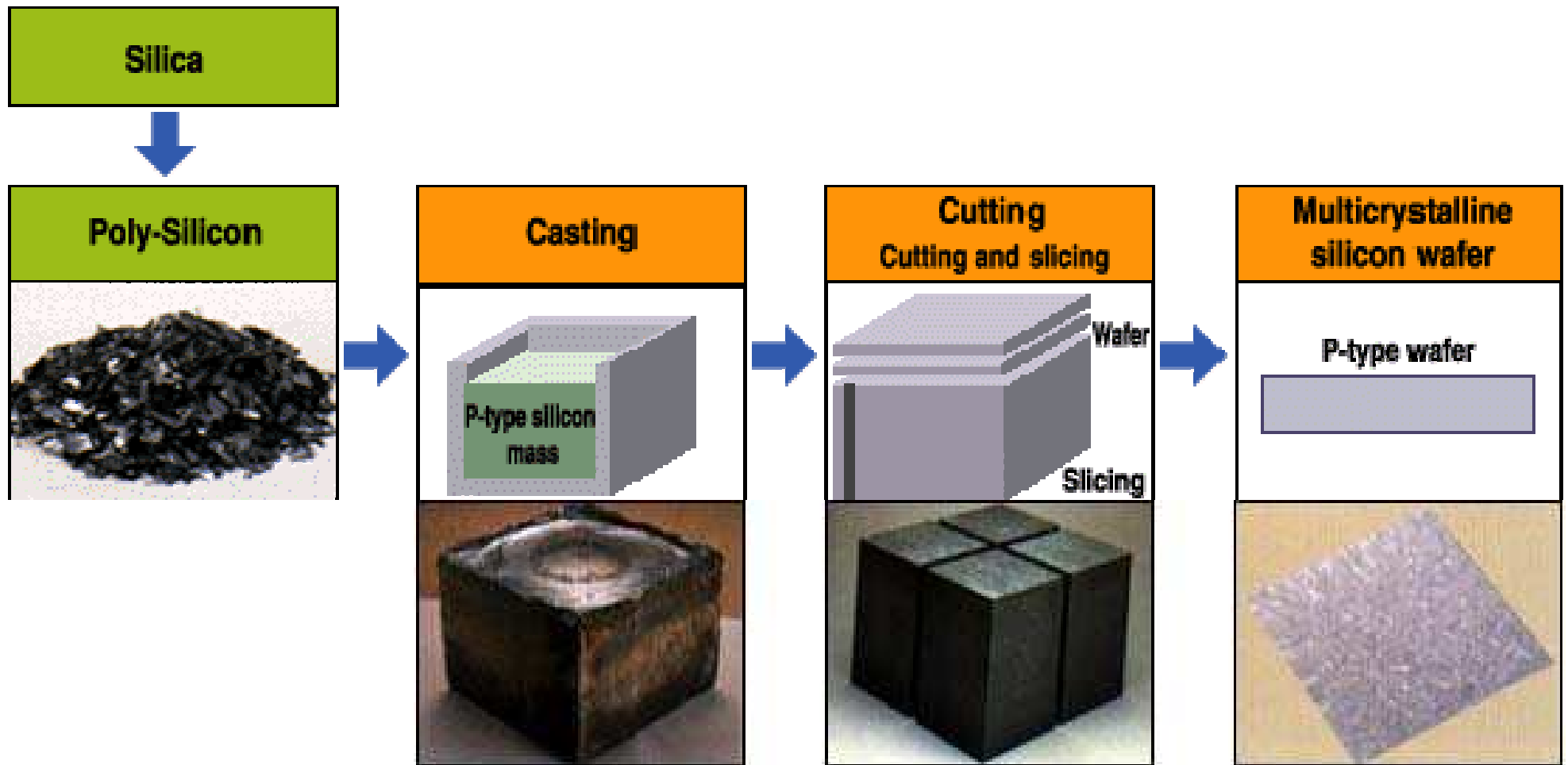
COST PER SQUARE INCH vs. WAFER SIZE



Multikristályos Si szelet

Főleg napelemek gyártására használják.

Előállítás lépései: tömbbé olvasztás, vágás, szeletelés, csiszolás.



Előállítás



Egy 450 kg-os tömb, kisebb tömbök és egy multikristályos Si szelet.

Ellenőrző kérdések

Hogyan mozgatják a megolvasztandó anyagot zónás kristályhúzásnál?

Mi a kristályhúzás?

Miért meghatározó fontosságú a tisztaság a félvezető technológiában?

Mit értünk "tisztá szoba" alatt a félvezető gyártásban?

Miből állítják elő a szilíciumot?

Hogyan tisztítják a szilíciumot?

A GaAs-ból melyik összetevő párolog el könnyebben melegítéskor?

Miből állítják elő a GaAs-et?

Mire használják a "Czochralski módszert"?

Mi a szegregációs tényező?

Hol helyezkedik el az olvadék zónás kristályhúzásnál?

Hogy szeletelik az öntecseket?

Hogyan vizsgálják az elkészült Si szeleteket?

Mire használják a multikristályos szilíciumot?