



Elektronika a Mikroelektronika A4B34EM

6. přednáška

- Výrobní proces
- Příprava substrátů
- Litografie

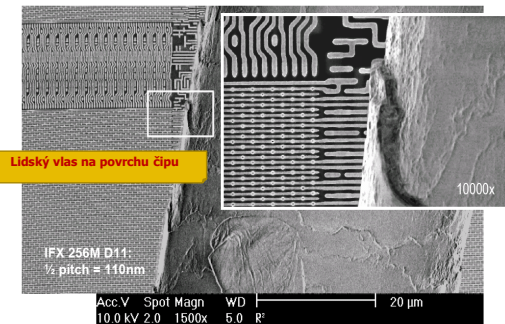
Jak integrovat
1 000 000 000
Součástek na 1 cm²



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



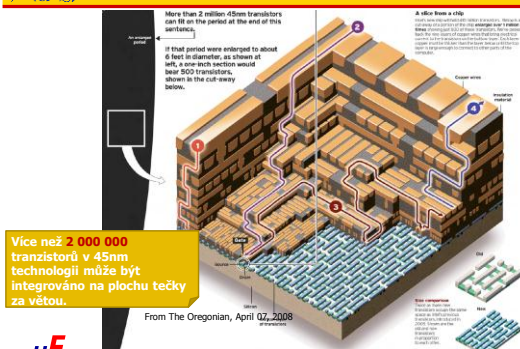
Je to velmi malý svět ...



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Je to velmi malý svět ...



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL

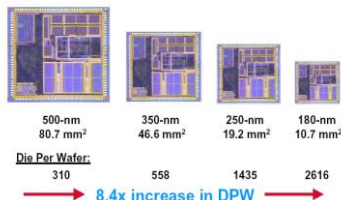


Výrobní proces



Proč je integrace tak výhodná?

- Vyšší funkční schopnost
- Vyšší rychlost
- Vyšší spolehlivost
- Nižší spotřeba energie
- Nižší cena
- Vytváření miliard identických elektronických součástek se 100% stavem



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Základní operace vytváření IO

- Příprava monokrystalů a substrátů
- Litografie
- Leptání
- Termická oxidace Si
- Difúze
- Implantace
- Fyzikální, chemické vytváření vrstev
- Epitaxe
- Pouzdření

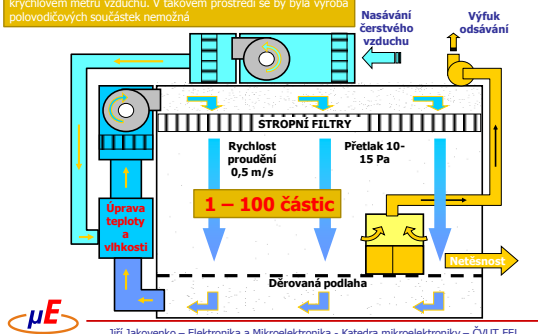


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Čisté prostory

V běžném prostředí je asi 10 000 000 prachových částic v krychlovém metru vzduchu. V takovém prostředí se by byla výroba polovodičových součástek nemožná

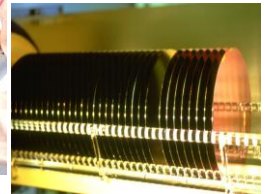


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Čistota = půl zdraví...
Ve výrobním procesu 10 = celé

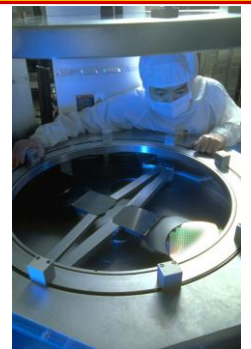
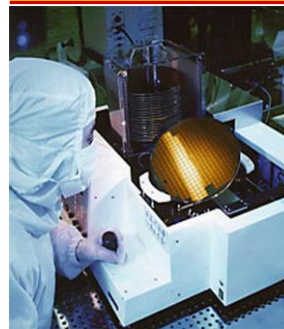
Speciální oděv, boty, rukavice, roušky



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Technologické pracoviště



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL





Výroba integrovaných obvodů - video

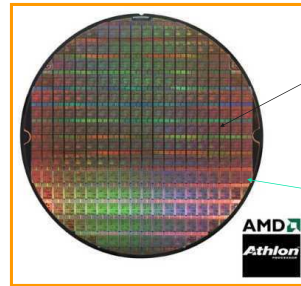
http://www.youtube.com/watch?v=aWVvwhzuHnQ&feature=PlayList&p=23BCE720D421E520&playnext=1&playnext_from=PL&index=30



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Příprava křemíkových plátek - Wafer



Jeden čip

Deska
(Wafer)

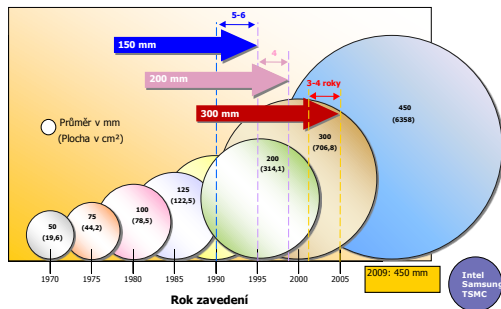


Dnes se používají až 12" (30cm) průměry

Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



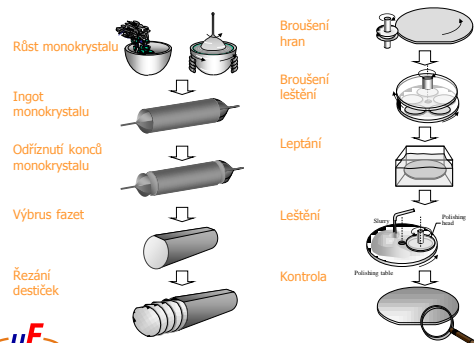
Velikost křemíkových plátek



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Základní kroky přípravy substrátů



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Příprava monokrystalů

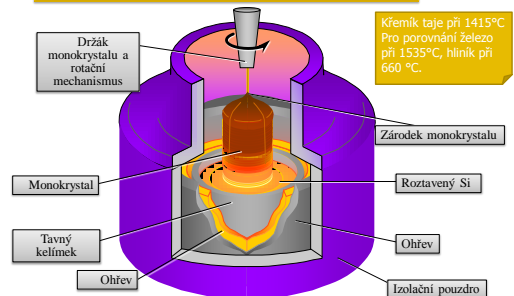


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL

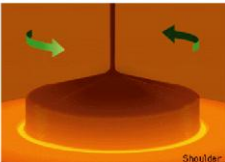
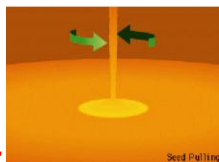
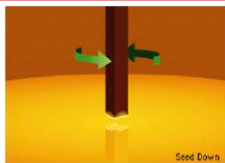


Výroba monokrystalů

Czochralského metoda – tažení monokrystalu



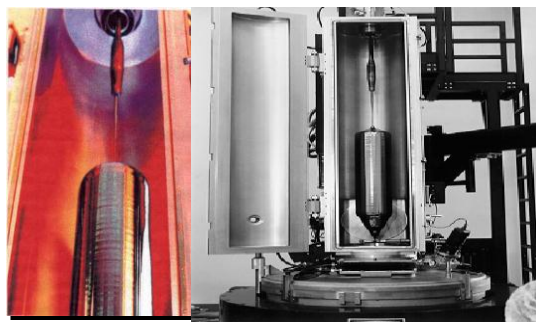
Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Fotografie tažného zařízení



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Opracování monokrystalu

Typ vodivosti (P anebo N) a krystalografická orientace křemíkové jsou zakódovány ve vzájemné poloze **hlavní a pomocné fasety**.

Odfixování znečištěných konců

Úprava průměru

Rezačka

Rezání faset

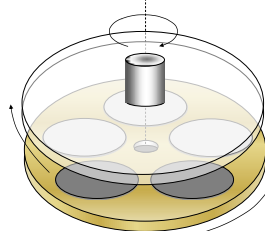


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Oboustranné leštění

Povrch desky musí být naprosto rovný bez jakýchkoli škrábanců a nerovností. Přesnost je v řádu nanometrů.



Vnější lešticí deska

Substrát

Spodní lešticí deska

Brusný materiál



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Broušení a leštění substrátů

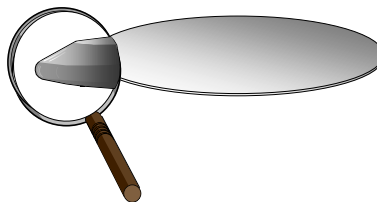


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Vyleštěný okraj desky

Ostré okraje desky jsou sraženy a vyleštěny kuli mechanické pevnosti.



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Výroba křemíkových desek - video

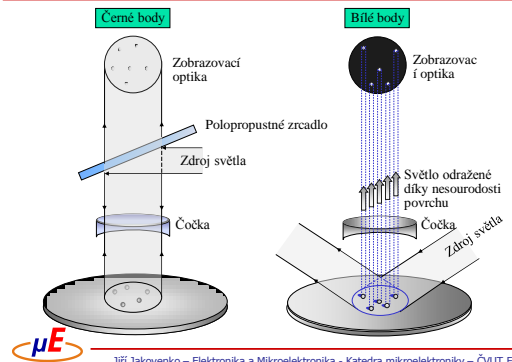
<http://www.youtube.com/watch?v=LWfCqpJzJYM&feature=PlayList&p=E513A3C80416FA47&index=0&playnext=1>



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Měření charakteristik substrátů



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Velikosti a vlastnosti plátek (waferů)

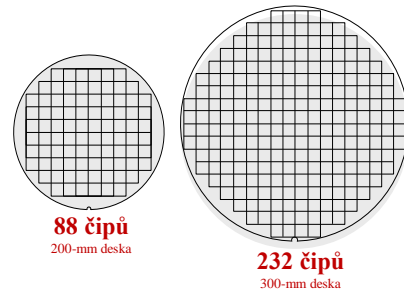
Průměr (mm)	Tloušťka (μm)	Plocha (cm ²)	Hmotnost (gramů)
150	675 ± 20	176	28
200	725 ± 20	314	53
300	775 ± 20	706	127
400	825 ± 20	1256	241



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Proč větší průměr?



Předpokládáme mikroprocesory velikosti 1,5 x 1,5 cm

Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL

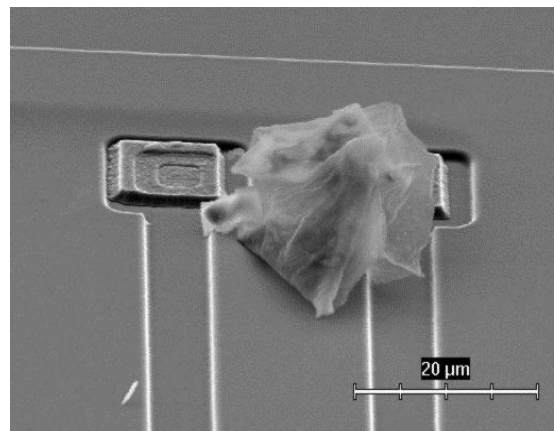


Defekty v procesu IO

- Litografie a leptání 40%
 - *Poruchy motivu, přerušení spojů*
- Difúze, termická oxidace, nanášení vrstev 25%
- Manipulace se substráty 10%
- Vliv okolí 25%
 - *Vzduch*
 - *Chemické roztoky*
 - *Plyny*
- Člověk

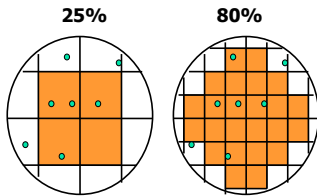


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL





Defekty v procesu



- **Výtěžnost x velikost čipu**
- **Cena čipu x výtěžnost**



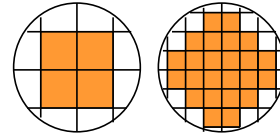
Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Výtěžnost

$$Y = \frac{\text{Množství_dobrých_čipů_na_desce}}{\text{Celkové_množství_čipů_na_desce}} \cdot 100\%$$

$$\text{Cena_čipu} = \frac{\text{Cena_desky}}{\text{Množství_čipů_na_desce} \times Y}$$

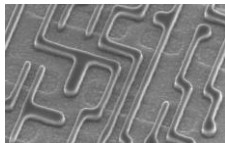


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL

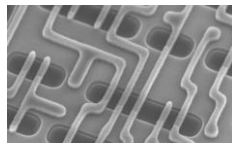


Litografie

Aneb - Jak dostat topologii čipu na křemík...



*Motiv fotorezistu po jeho vyvolání
(na této fotografii je nanášena
vrstva polySi na SiO₂)*



*Motiv PolySi po odleptání
a odstranění fotorezistu.*



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Litografie a leptání

Je jedním z rozhodujících faktorů, které ovlivňují hustotu integrace

Druhy litografie:

- **Fotolitografie**
- **Elektronová litografie**
- **Rentgenová litografie**

Suché leptání

Optická fotolitografie

Elektronová s přímou expozicí

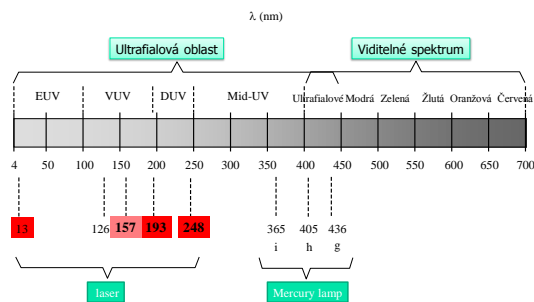
Rentgenová fotolitografie



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Definice ultrafialové oblasti



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Fotolitografie



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL

