

ESF II projekt Západočeské univerzity v Plzni

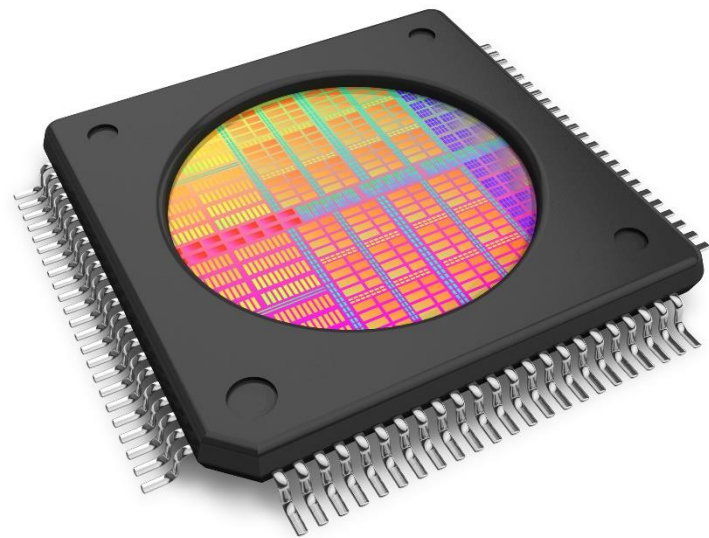
reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_056/0013239



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

**MS
MT**
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Polovodičové materiály a technologie KET/PMAT



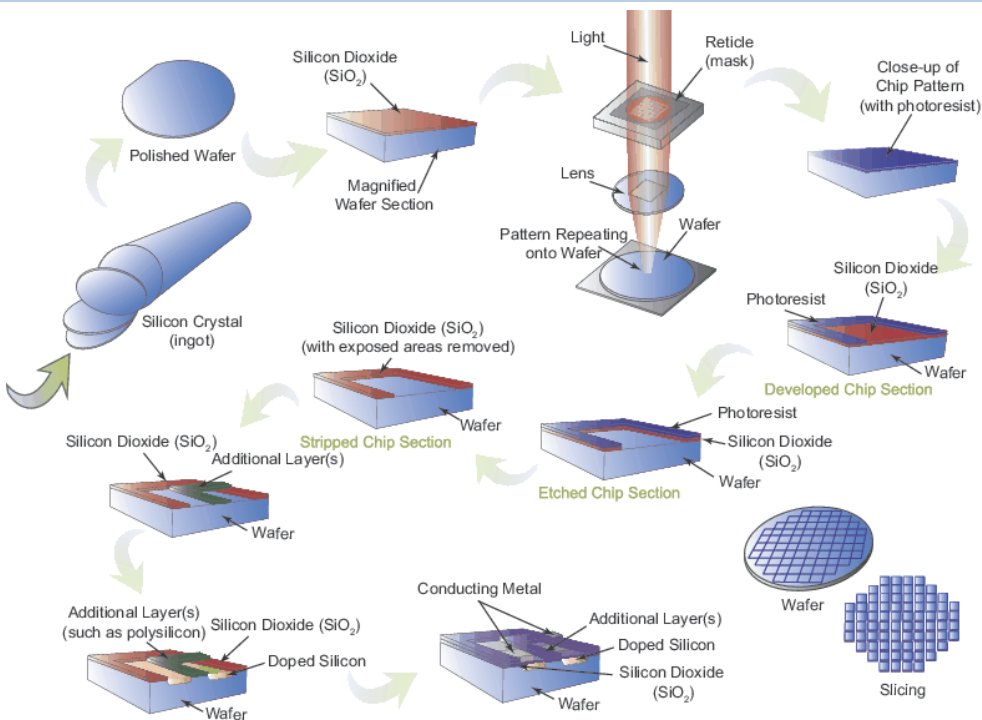
Cvičení 3



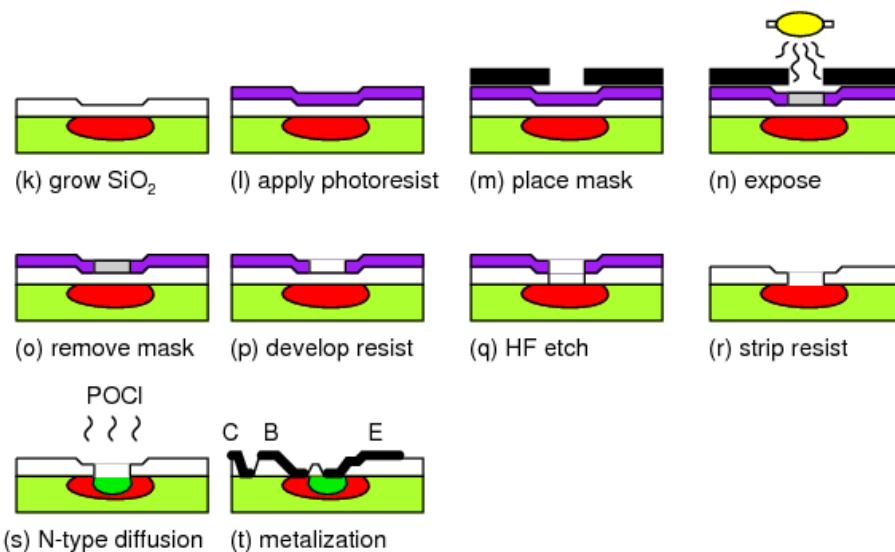
EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

**MS
MT**
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Vytváření polovodičových struktur

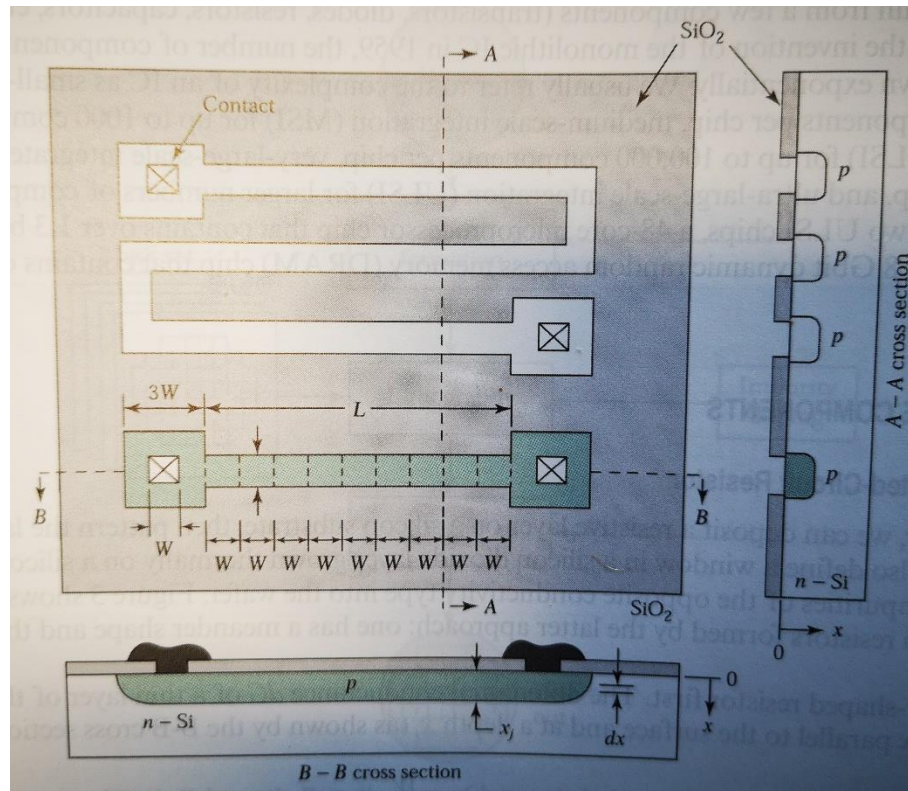


<https://www.youtube.com/watch?v=c9arR8T0Qts>
<https://www.youtube.com/watch?v=Hb1WDxSoSec>



Příklad 1

Určete hodnotu rezistoru, který je tvořen polovodičovou strukturou o délce $90\text{ }\mu\text{m}$ a šířce $10\text{ }\mu\text{m}$, viz obrázek. Plošný odpor tohoto materiálu je $1\text{k}\Omega/\square$.



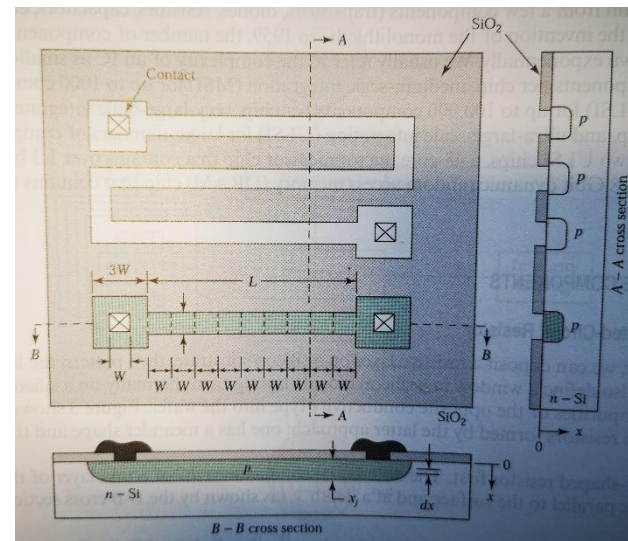
Příklad 1 - řešení

Určete hodnotu rezistoru, který je tvořen polovodičovou strukturou o délce 90 μm , šířce 10 μm a , viz obrázek. Plošný odpor tohoto materiálu je $1\text{k}\Omega/\square$.

Tělo rezistoru je tvořeno 9 čtverci (90/10).

Jeden kontakt je tvořen 2/3 čtverce (20/30). Kontakty celkem tvoří 4/3 čtverce = 1,3 $\square$.

Celková hodnota odporu polovodičové struktury je $(9+1,3) \times 1\text{k}\Omega/\square = 10,3\text{ k}\Omega$.



Příklad 2

Určete hodnotu uloženého náboje a počet elektronů v MOS struktuře o ploše $4\ \mu\text{m}^2$ pro (a) SiO_2 o tloušťce 10 nm, (b) Ta_2O_5 o tloušťce 5 nm. Uvažujte připojené napětí na struktuře o velikosti 5 V.

Příklad 2 - řešení

Určete hodnotu uloženého náboje a počet elektronů v MOS struktuře o ploše $4 \mu\text{m}^2$ pro (a) SiO_2 o tloušťce 10 nm, (b) Ta_2O_5 o tloušťce 5 nm. Uvažujte připojené napětí na struktuře o velikosti 5 V.

Pro SiO_2 :

$$\epsilon_{\text{rSiO}_2} = 3,9$$

$$Q = CU = \epsilon \cdot \frac{S}{d} \cdot U = 3,9 \cdot 8,85 \cdot 10^{-14} \text{ F/cm} \cdot \frac{4 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^2}{1 \cdot 10^{-6} \text{ cm}} \cdot 5 \text{ V} = 6,9 \cdot 10^{-14} \text{ C}$$

$$\text{počet elektronů} = \frac{Q}{q} = \frac{6,9 \cdot 10^{-14}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 4,3 \cdot 10^5 \text{ elektronů}$$

Pro Ta_2O_5 :

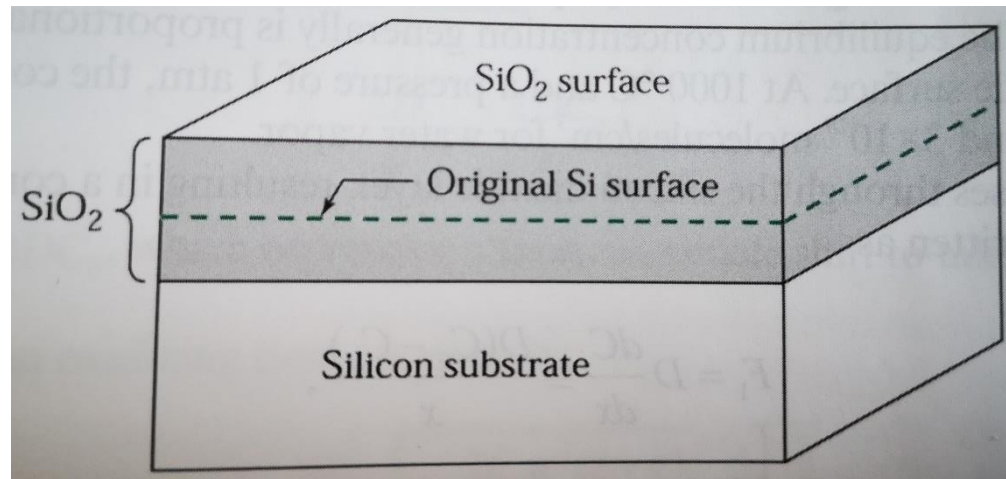
$$\epsilon_{\text{rTa}_2\text{O}_5} = 25$$

$$Q = 8,85 \cdot 10^{-13} \text{ C}$$

$$5,53 \cdot 10^6 \text{ elektronů}$$

Příklad 3

Jaká tloušťka SiO_2 se vytvoří na Si destičce o tloušťce 100 nm při termální oxidaci? Molární hmotnost křemíku je 28,9 g/mol a hustota 2,33 g/cm³. Molární hmotnost SiO_2 je 60,8 g/mol a hustota 2,21 g/cm³.



Příklad 3 - řešení

Jakou tloušťku spotřebuje SiO_2 na Si destičce při termální oxidaci, jestliže se vytvoří SiO_2 o tloušťce 100 nm? Molární hmotnost křemíku je 28,9 g/mol a hustota 2,33 g/cm³. Molární hmotnost SiO_2 je 60,8 g/mol a hustota 2,21 g/cm³.

Objem Si v 1 molu:
$$V_{\text{Si}} = \frac{\text{molární hmotnost Si}}{\text{hustota Si}} = \frac{28,9}{2,33} = 12,06 \text{ cm}^3/\text{mol}$$

Objem SiO_2 v 1 molu:
$$V_{\text{SiO}_2} = \frac{\text{molární hmotnost SiO}_2}{\text{hustota SiO}_2} = \frac{60,08}{2,21} = 27,18 \text{ cm}^3/\text{mol}$$

1 mol Si je konvertován na 1 mol SiO_2 :
$$\frac{\text{tloušťka Si} \times \text{plocha}}{\text{tloušťka SiO}_2 \times \text{plocha}} = \frac{\text{objem Si v 1 molu}}{\text{objem SiO}_2 \text{ v 1 molu}}$$

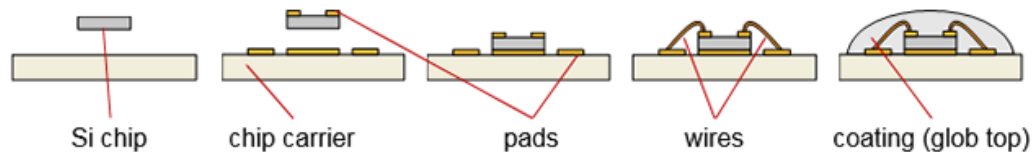
$$\frac{\text{tloušťka SiO}_2}{\text{tloušťka Si}} = \frac{\text{objem Si v 1 molu}}{\text{objem SiO}_2 \text{ v 1 molu}} = \frac{12,06}{27,18} = 0,44$$

Tloušťka SiO_2 = 0,44 tloušťky Si → ze 100 nm tloušťky Si je po termální oxidaci 44 nm SiO_2 vnořeno do Si

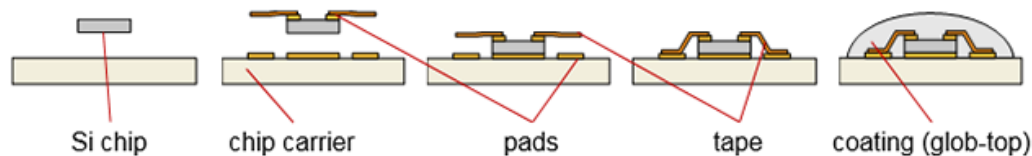
Kontaktování čipů

- Nakontaktování na nosnou podložku – různé způsoby
- Zapouzdrazení

Chip-and-wire



TAB (Tape Automated Bonding)



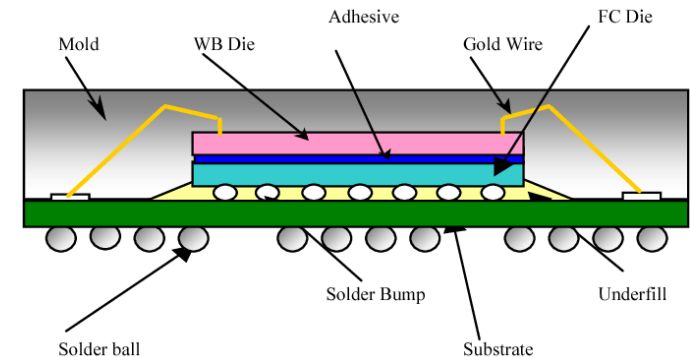
1. chip and
chip carrier

2. forming
contact pads

3. chip mounting
and chip attach

4. creating
electric
contacts

5. applying
protective
coating



<https://www.youtube.com/watch?v=dmqnSbiWUGc>

<https://www.youtube.com/watch?v=th1YxQHEpEU>

Příklad 4

Určete hodnotu časové konstanty RC (v ps) dvou paralelních hliníkových (Al) drátků o průřezu $0,5 \times 0,5 \mu\text{m}$ a délce 1 mm . Drátky jsou od sebe izolovány polyimidem ($\epsilon_r=2,7$) o tloušťce $0,5 \mu\text{m}$. Rezistivita Al drátků je $2,7 \mu\Omega\text{cm}$.

Příklad 4 - řešení

Určete hodnotu časové konstanty RC (v ps) dvou paralelních hliníkových (Al) drátků o průřezu $0,5 \times 0,5 \text{ } \mu\text{m}$ a délce 1 mm. Drátky jsou od sebe izolovány polyimidem ($\epsilon_r=2,7$) o tloušťce $0,5 \text{ } \mu\text{m}$. Rezistivita Al drátků je $2,7 \text{ } \mu\Omega\text{cm}$.

$$\begin{aligned}\tau = RC &= \left(\rho \frac{l}{S_v} \right) \cdot \left(\epsilon \frac{S_d}{t} \right) \\ &= \left(2,7 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1 \cdot 10^{-1}}{0,25 \cdot 10^{-8}} \right) \cdot \left(8,85 \cdot 10^{-14} \cdot 2,7 \cdot \frac{0,5 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-1}}{0,5 \cdot 10^{-4}} \right) = 2,57 \text{ ps}\end{aligned}$$

Příklad 5

K jaké redukci časové konstanty RC dojde, jestliže nahradíme při kontaktování čipu hliníkové (Al) drátky měděnými (Cu) drátky a izolační vrstvu SiO_2 nahradíme vrstvou o relativní permitivitě $\epsilon_r = 2,6$? Rezistivita Al drátků je $2,7 \mu\Omega\text{cm}$ a Cu drátků $1,7 \mu\Omega\text{cm}$.

Příklad 5 - řešení

K jaké redukci časové konstanty RC dojde, jestliže nahradíme při kontaktování čipu hliníkové (Al) drátky měděnými (Cu) drátky a izolační vrstvu SiO₂ nahradíme vrstvou o relativní permitivitě $\epsilon_r = 2,6$? Rezistivita Al drátků je 2,7 $\mu\Omega\text{cm}$ a Cu drátků 1,7 $\mu\Omega\text{cm}$.

$$\tau = RC = \left(\rho \frac{l}{S_v} \right) \cdot \left(\epsilon \frac{S_d}{t} \right)$$



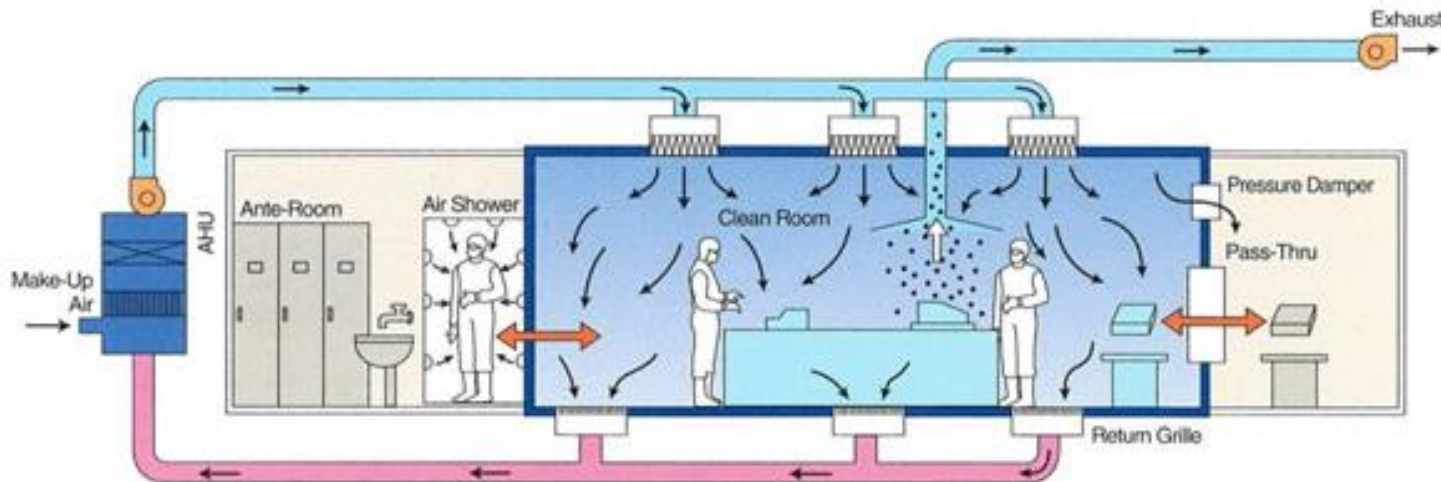
$$\frac{\rho_{Cu}}{\rho_{Al}} \cdot \frac{\epsilon_r}{\epsilon_{rSiO_2}} \cdot 100 = \frac{1,7}{2,7} \cdot \frac{2,6}{3,9} \cdot 100 = 42 \%$$

Čisté prostory

- Počet částic prachu v m^3 + velikost částic = stupeň čistoty
- Prach může způsobit nefunkčnost čipu
- Princip vnořování místností

ISO 14644-1 Cleanroom Standards

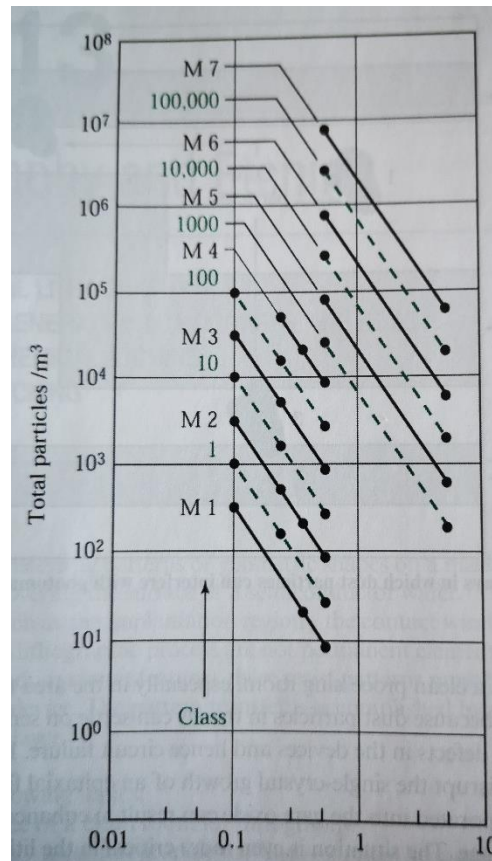
Class	maximum particles/ m^3						FED STD 209E equivalent
	$\geq 0.1 \mu\text{m}$	$\geq 0.2 \mu\text{m}$	$\geq 0.3 \mu\text{m}$	$\geq 0.5 \mu\text{m}$	$\geq 1 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$	
ISO 1	10	2.37	1.02	0.35	0.083	0.0029	
ISO 2	100	23.7	10.2	3.5	0.83	0.029	
ISO 3	1,000	237	102	35	8.3	0.29	Class 1
ISO 4	10,000	2,370	1,020	352	83	2.9	Class 10
ISO 5	100,000	23,700	10,200	3,520	832	29	Class 100
ISO 6	1.0×10^5	237,000	102,000	35,200	8,320	293	Class 1,000
ISO 7	1.0×10^7	2.37×10^6	1,020,000	352,000	83,200	2,930	Class 10,000
ISO 8	1.0×10^8	2.37×10^7	1.02×10^7	3,520,000	832,000	29,300	Class 100,000
ISO 9	1.0×10^9	2.37×10^8	1.02×10^8	35,200,000	8,320,000	293,000	Room air



<https://www.youtube.com/watch?v=BIFKDXXPuU4>

Příklad 6

Při výrobě Si waferů o průměru 300 mm je využíváno laminární proudění vzduchu o rychlosti 30 m/min. Kolik prachových částic ulpí na Si waferu, jestliže je použita pro výrobu místnost se stupněm čistoty 10?



Příklad 6 - řešení

Při výrobě Si waferů o průměru 300 mm je využíváno laminární proudění vzduchu o rychlosti 30 m/min. Kolik prachových částic ulpí na Si waferu, jestliže je použita pro výrobu místnost se stupněm čistoty 10?

Místnost se stupněm čistoty 10 může obsahovat 350 částic o velikosti $0,5 \mu\text{m}$ a větší na 1 m^3 .

Objem vzduchu, který proudí na wafer za 1 minutu:

$$v \cdot \pi \cdot r^2 = 30 \frac{\text{m}}{\text{min}} \cdot \pi \cdot \left(\frac{0,3 \text{ m}}{2} \right)^2 \cdot 1 \text{ min} = 2,12 \text{ m}^3$$

Počet prachových částic o velikosti $0,5 \mu\text{m}$ a větší: $350 \cdot 2,12 = 742$ částic.

V případě 800 čipů na waferu může na 92 % z nich ulpět prachová částice. Pouze zlomek částic, které se dostanou na povrch waferu skutečně ulpí v kritickém místě, kde můžou způsobit poruchu.