

# Technologie depozice tenkých vrstev a povrchových úprav

Lenka Zajíčková

lenkaz@physics.muni.cz

# Outline

1 Literatura

2 Úvod

3 Aplikace

# Technologické přehledy

- Handbook of Thin-Film Deposition Processes and Techniques, ed. K. K. Schuegraf, Noyes Publications 1988
- Handbook of Plasma Processing Technology (Fundamentals, Etching, Deposition, and Surface Interaction), ed. S. M. Rossnagel, J. J. Cuomo a W. D. Westwood, Noyes Publications 1989
- Handbook of Ion Beam Processing Technology (Principles, Deposition, Film Modification and Synthesis), ed. J. J. Cuomo, S. M. Rossnagel, H. R. Kaufman, Noyes Publications 1989
- Handbook of Plasma Immersion Ion Implantation and Deposition, Wiley 2000

## Knihy s obecnou problematikou

- Thin Films Phenomena, K. L. Chopra, McGraw-Hill 1969
- Chemical reactor, analysis and design, G. F. Froment a K. B. Bischoff, John Wiley 1990
- Ion-Solid Interactions, Fundamentals and Applications, M. Nastasi, J. W. Mayer a J. K. Hirvonen, Cambridge University Press 1996

# Knihy orientované na určitý materiál



# Vědecké články

Existuje celá řada elektronických informačních zdrojů:

- databáze vědeckých publikací, které shromažďují informace nezávisle na vydavateli a obsahují často odkazy na plné texty článků
  - Web of Science (přístup z domény sci.muni.cz)
  - Scopus
  - INSPEC
- databáze vědeckých publikací od určitého vydavatelství - vždy spojeno s plným textem článku, který ovšem nemusí být zadarmo přístupný
  - Science Direct (přístup z domény sci.muni.cz)
  - 
  -

# Úvod

## Tenké vrstvy a povrchy

- Definice tenké vrstvy (thin film)? - řádově 10 nm až 10  $\mu\text{m}$
- Definice povrchu? - záleží na názoru, problematika reálného (drsného) povrchu

## Material Processing

Obecně existují tři základní postupy aplikované v rámci “material processing”

- odstraňování materiálu,
- depozice tenkých vrstev,
- modifikace nebo formování materiálu.

# Aplikace podle základních postupů

## Odstraňování materiálu

- čištění
- vytváření 3D struktur

## Depozice tenkých vrstev

- polovodiče (c-Si, a-Si, GaAs)
- kovy (hliník, měď, slitiny)
- dielektrika (oxid křemíku, nitrid křemíku, oxidy kovů, low-k dielektrika)
- tvrdé a supertvrdé vrstvy (diamant, c-BN, nitridy kovů, DLC, CN)
- polymerní vrstvy (antikorozní a ochranné vrstvy, senzory ...)



# Aplikace podle základních postupů

## Modifikace nebo formování materiálu

- drsnost,
- změna povrchové energie (smáčivost, adheze),
- navázání funkčních skupin.

# Aplikace podle produktů - Mikroelektronika I

Mikroelektronika = elektronika v mikro-měřítku (tranzistory, diody, kondenzátory, indukčnosti, odpory a samozřejmě vodiče a izolanty) = integrované obvody (tvořeny hlavně tranzistory):

- Small-Scale Integration (SSI) - pouze několik tranzistorů,
- Medium-Scale Integration (MSI) - koncem 60tých let, stovky tranzistorů na čipu,
- Large-Scale Integration (LSI) - polovina 70tých let, desítky tisíc tranzistorů,
- Very Large-Scale Integration (VLSI) - stovky tisíc začátkem 80tých let,  $10^9$  v roce 2007

Převážná většina technologie je založena na křemíku, tj. substrát je monokrystal Si. Některé speciální aplikace (LED, lasery, solární články, velmi rychle IO) využívají polovodiče III-V (např. GaAs).

## Aplikace podle produktů - Mikroelektronika II

V integraci VLSI se používají integrované obvody CMOS (Complementary Metal–Oxide–Semiconductor), protože se příliš nezahřívají. V této i jiných technologiích (bipolární křemíková technologie nebo GaAs MESFET) se používá celá řada procesních kroků:

- Epitaxní růst dopované vrstvy Si nebo GaAs na Si nebo GaAs substrátu.
- Iontová implantace dopantů (B a P do Si, Si do GaAs) do určitého místa a hloubky. Implantační poškození se musí odstranit zahřátím.
- Iontová implantace nedopantů (např. protonů) za účelem způsobení mírného poškození, a tím snížení vodivosti tak, aby došlo k elektrické izolaci součástek.

## Aplikace podle produktů - Mikroelektronika III

- Depozice dielektrických vrstev kvůli oddělení vodivých částí. V MOS technologii roste oxid hradla termální oxidací Si. Dielektrické vrstvy ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{SiO}_2$ , někdy dopované B, P), které se připravují jinou metodou, jsou zapotřebí v mnoha dalších krocích, kde je třeba oddělit vodivé spoje, zajistit pasivaci, ochranu proti poškrábání apod.
- Vytvoření masky (patterning) definující specifické rysy struktury. To obvykle znamená pokrytí substrátové desky fotocitlivým materiálem (rezistem), který se vystaví energetickému záření (UV, rtg fotony, elektrony nebo ionty), takže lokálně dojde ke změně jeho struktury a následným vyvoláním se vytvoří šablona.
- Leptání struktury do polovodiče, do dielektrické vrstvy nebo vrstvy kovové (např. Al).

## Aplikace podle produktů - Mikroelektronika IV

- Zarovnání povrchu (planarization) umožňuje další krok procesu. Fokuzální hloubka pro optickou litografii je jen  $1 \mu\text{m}$  → složité na nerovném povrchu (povrch desky může být po několika procesních krocích velmi nerovný). Planarizace může znamenat depozici organické vrstvy (polyimid), která vyplní prohlubně, v kombinaci s odstraněním materiálů z vyvýšených míst.
- Depozice polykrystalického polovodiče, především Si, jako hradla tranzistoru.
- Čištění mezi jednotlivými kroky procesu. Úspěch dalšího kroku často velmi závisí na čistotě povrchu (epitaxní růst Si na Si, ohmický kontakt mezi GaAs a Ni-Ge-Au). Realizace IO vyžaduje 10-12 úrovní maskování → různé procesy, čistý povrch (především fotolitografie a odstranění fotorezistu).

# Aplikace podle produktů - Tenké vrstvy pro optiku

- Antireflexní vrstvy
- Reflexní vrstvy
- Interferenční vrstvy
- Dvojlomé a polarizující vrstvy

# Aplikace podle produktů - Senzory

- Senzory tlaku
- Senzory zrychlení
- Senzory rotace
- Senzory plynů, toxických látek, těžkých kovů

# Aplikace podle produktů - Úprava povrchových vlastností

- Pasivace povrchů (antikoroziční vrstvy, chemicky odolné vrstvy)
- Tribologické aplikace (snížení tření, ochrana před mechanickým poškozením, tvrdé a supertvrdé vrstvy)
- Dekorativní aplikace (změna barvy, barevné efekty ...)
- Hydrofobní nebo hydrofilní povrchy (nemlžící se skla, nešpinící se materiály, aplikovatelnost nátěrů ...)



# Průmyslové aplikace

- Mikroelektronika
- Automobilový průmysl
- Textilní průmysl
- Další spotřební zboží, např. sportovní potřeby
- Obráběcí průmysl
- Obalová technika
- Lékařství