

## F3390 Výroba mikro a nanostruktur / 2019

Písemná zkouška:

22 otázek z uskutečněných přednášek. Z každé lekce jsou náhodně vybrány dvě otázky z níže uvedeného seznamu. Doba trvání písemné zkoušky je 60 minut. Za každou otázku je možno získat 1 bod, hodnoceno po půl bodu. Hodnocení zkoušky podle počtu bodů písemné zkoušky:

22-20 = A;

19,5-18 = B;

17,5-17 = C;

16,5-16 = D;

15,5-15 = E;

14,5 a méně = F;

Student má právo požádat o následovné ústní přezkoušení, s možným ziskem 2 bodů a tím i zlepšení známky podle výše uvedeného bodování.

Otázky ke zkoušce:

### Lekce 1

1. Uveďte tři základní, na sebe navazující kroky při mikro-obrábění.
2. Čím se liší třída MGS a EGS křemíku a která z nich je vhodnější pro výrobu křemíkových monokrystalů?
3. Jakým způsobem zabezpečíme při Czochralského metodě růstu monokrystalů zvětšování průměru tažného prutu (ingotu) z původně malého krystalizačního jádra?
4. Vyjmenujte tři různé techniky pro růst monokrystalů.
5. Co znamená tvrzení, že vnitřní struktura skla nemá translační symetrii?
6. Jaký je princip výroby deskového skla metodou plavení (float)?
7. Odkud pochází materiál, který při výpalu keramiky vyplňuje mezipráškové póry a jak se tento děj jmenuje?
8. Popište charakteristickou mikrostrukturu sklokeramických materiálů?
9. Podle jakého kritéria jsme rozdělili tvorbu vrstev na hrubé a tenké?
10. Při spin-coatingu, jaký vliv na tloušťku vrstev bude mít zvýšení otáček odstředivky a jaký zvýšení viskozity nanášené látky?
11. Je možné nanášet sol-gel vrstvy metodou dip-coating?
12. Jak se podle polarity nazývá elektroda, na které dochází k redukci iontů z elektrolytu? Způsobuje tato redukce zvětšování tloušťky elektrody (depozici) nebo její ubírání (leptání).
13. Jak se nazývá proces elektrochemického pokovení elektricky nevodivých materiálů? Atomy kterého prvku se při něm typicky používají jako katalyzátor?
14. Která z metod je vhodná pro přímé vytvoření strukturované vrstvy: spin-coating, dip-coating nebo sítotisk?

## Lekce 2

1. V jakém skupenství se nachází reaktanty přiváděné do CVD reaktoru. Zůstanou v tomto skupenství v průběhu celého procesu CVD?
2. Co musí platit pro změnu volné Gibbsovy energie  $G$ , aby byla chemická přeměna (reakce) spontánní?
3. Napište Gibsovu-Helmholtzovu rovnici pro závislost změnu volné Gibbsovy energie od změny entalpie a změny entropie. Pro jaké kombinace  $\Delta H$  a  $\Delta S$  bude chemická přeměna (reakce) spontánní?
4. Je možné uskutečnit CVD pouze s jediným prekurzorem? Jak?
5. K čemu slouží Ellinghamův diagram?
6. Jakým způsobem je možno snížit teplotu CVD procesu danou bilancí volné Gibbsovy energie?
7. Jaký je rozdíl mezi CVD a ALD? Která metoda lépe kopíruje morfologii povrchu?
8. Jaký vzájemný vztah musí platit mezi prekurzory A a B při depozici metodou ALD?
9. Pro ALD proces načrtněte průběh závislosti rychlosti depozice od teploty a vyznačte v něm tzv. ALD okno.
10. Čím se reguluje efuzní tok z Knudseny cely při MBE?
11. Při epitaxi molekulárních svazků (MBE) se používá vysoké, nebo nízké vakuum?
12. Když chceme připravit materiál s ideální krystalickou strukturou s minimem defektů, které metody (stačí 2) by bylo vhodné použít.
13. Čím se liší mechanismus uvolňování zdrojového (deponovaného) materiálu při napařování a při naprašování?

## Lekce 3

1. Napište názvy všech tří druhů van der Waalsových interakcí. Jsou tyto interakce přitažlivé nebo odpuzivé?
2. Načrtněte průběh Lennard-Jonesova potenciálu. Vyznačte, která část jeho průběhu odpovídá přitažlivým, která odpuzivým silám a kde se nachází rovnovážní poloha, kde je celková působící síla nulová.
3. Která z interakcí neutrálně se vyznačuje větší přitažlivou silou: molekula-molekula nebo molekula-povrch?
4. Která poloha na atomárním povrchu pevné látky bude pro adsorbovaný atom termodynamiky výhodnější: na terase, kde na terasovém schodku?
5. Který z procesů umožňuje pohyb adsorbované částice po povrchu: fyzisorpce nebo chemisorpce?
6. Co popisuje Langmuirova adsorpční izoterma a kterou termodynamickou veličinu nám znalost jejího tvaru umožňuje určit?
7. Uveďte názvy dvou možných dějů, vedoucích ke změně geometrického uspořádání povrchových atomů krystalu, jestliže tento rozřežeme podél některé jeho krystalografické roviny?
8. Je uspořádání kvantových energiových stavů povrchových atomů krystalu shodné s energiovými stavy v objemu krystalu?
9. Jakou veličinu získáváme měřicí technikou tzv. ležící kapky, kdy se určuje kontaktní úhel malé kapky známé kapaliny položené na neznámý rovný povrch? Jaká je fyzikální jednotka této veličiny?

10. Která z termodynamických veličin se sníží při adsorpci molekuly na povrch, a naopak se zvýší, jestliže adsorbovaná molekula disociuje?
11. Jaké jsou nejčastější kontaminanty čistých povrchů, které jsme vystavili prostředí atmosféry v běžné laboratoři (stačí 2).
12. Platí pro iontové bombardování adsorpční izotermy. Pokud ne tak proč?

#### Lekce 4

1. Jaké jsou základní 4 kroky optické litografie?
2. Co se stane z rozlišením optické litografie když (a) zmenšíme vlnovou délku použitého světla, (b) zmenšíme numerickou aperturu optické projekční sestavy?
3. Jmenujte tři různé typy zdrojů extrémního UV záření (tzn. měkkého RTG záření) využívaných při optické litografii.
4. Jaký typ optiky se využívá při EUV? Proč?
5. Která z následujících technik umožňuje projekci zmenšené masky: EUV nebo RTG?
6. Jaký nežádoucí vliv mají Augerovské elektrony při RTG litografii?
7. Popište princip imerzní optické litografie?
8. Na který parametr projekční litografické sestavy je nezbytné brát zřetel při zohlednění nedokonalé rovinnosti velkých waferů a nenulové tloušťky fotorezistu?
9. Popište princip techniky OPC – optical proximity correction.
10. Který materiál se jako první začal využívat (a stále běžně využívá) jako rezist pro elektronovou litografii?
11. Která z možností fokusování nabitých svazků (elektrickým polem nebo magnetickým polem) je nezávislá na velikosti náboje a hmotnosti částice a je proto vhodnější pro fokusování iontů?
12. Popište princip činnosti LMIS – Liquid metal ion source.
13. Co popisuje tzv. point spread function - PSF?
14. Jaký je princip tzv. bezmaskové litografie? Co je hlavní překážkou pro její širší průmyslové uplatnění?

#### Lekce 5

1. Dosahuje rozlišení litografických technik metodami sond (STM, AFM, NSOM) stejnou úroveň jakou disponuje rozlišení při jejich využití v mikroskopii?
2. Co znamená pojem selektivnost leptání?
3. Který typ leptání se vyznačuje kolmými stěnami: izotropní nebo anizotropní? Je možné dosáhnout kolmých stěn i mokřím leptáním, a pokud ano, jak?
4. Na co slouží tvrdá maska (hard mask)?
5. Co mají, z pohledu připojení k elektrodám, společné elektrochemické leptání a elektroleštění?
6. Jak se nazývá elektroda plazmového reaktoru, na kterou klademe leptaný substrát?
7. Jaká jsou pozitiva a negativa zvyšování RF příkonu v RIE plazmovém reaktoru?
8. Jaká jsou pozitiva (stačí 2) a negativa (stačí 1) snižování pracovního tlaku v RIE plazmovém reaktoru?
9. Čím může být způsobena menší hloubka leptaných profilů s oblastech s vysokou hustotou leptaného motivu v porovnání s oblastmi s nízkou hustotou leptaného motivu?
10. Popište techniku DRIE tzv. procesem Bosch.

11. Co je to iontové frézování? Jakými dvěma praktickými problémy se vyznačuje?
12. Jaký je rozdíl mezi broušením a leštěním povrchu?
13. Jak se nazývá proces plnění dutin obětního materiálu kovem s následnou planarizací (leštěním) povrchu?
14. Co mají z chemického pohledu společné spoj při fúzním a anodickém spojování křemíku?

### Lekce 6

1. Definujte proces samouspořádávání.
2. Vysvětlete princip vytváření mycel.
3. Jaké síly musí být v rovnováze při vytváření monovrstvy Langmuir – Blodgettovou metodou?
4. Vysvětlete proces vytváření samouspořádaných monovrstev.
5. Jak jsou vázány samouspořádané vrstvy na substrát, jde o fyzisorpci nebo chemisorpci?
6. Co rozumíme pod pojmem "Ostwald ripening"?
7. Jaký elektrolyt je nutno použít při vytváření samouspořádaných pórů při elektrochemické oxidaci hliníku?
8. Co je úkolem první části dvoustupňového procesu přípravy samouspořádaných pórů při elektrochemické oxidaci hliníku?
9. Jakými parametry lze řídit velikost pórů při elektrochemické oxidaci hliníku?
10. Jak se projeví na tvaru vrstvy a substrátu pnutí v tahu nebo v tlaku ve vrstvě?

### Lekce 7

1. Jakou metodou lze připravit mnohostěnné uhlíkové nanotrubky bez katalyzátoru? Jaký plyn a o jakém tlaku použijete při syntéze?
2. Jakou podobu musí mít katalyzátor při depozici uhlíkových nanotrubek metodou depozice z plynné fáze?
3. Proč používáme přechodové kovy jako katalyzátor?
4. Jakou úlohu hraje velikost nanočástic katalyzátoru při růstu uhlíkových nanotrubek?
5. Co je úlohou bariérové vrstvy při růstu uhlíkových nanotrubek metodou depozice z plynné fáze?
6. Jaké rozdíly vykazuje depozice uhlíkových nanotrubek z plynné fáze v přítomnosti plazmatu oproti situaci bez něj?
7. Uveďte alespoň tři metody jak, lze určit velikost uhlíkových nanotrubek a přítomnost katalyzátoru. Jak určíte složení katalyzátoru?
8. Jak se liší Ramanovo spektrum jednostěnných a mnohostěnných nanotrubek?
9. Jakého postupu a proč použijete pro odstranění amorfního uhlíku po depozici uhlíkových nanotrubek?
10. Jak odstraníte katalytické částice z uhlíkových nanotrubek?

### Lekce 8-9

1. Stručně charakterizujte alespoň tři postupy přípravy grafénu.
2. Jaký je rozdíl mezi růstem grafénu na niklu a mědi?
3. Jmenujte alespoň tři metody pro charakterizaci grafénové vrstvy. Jaké základní znaky (poloha a intenzita píků) očekáváte u Ramanova spektra grafénu?
4. Popište postup jak, lze přenést grafén z měděné folie na libovolný substrát?
5. Jakým postupy lze připravit grafénové pásy?

6. Jmenujte alespoň tři další zástupce tzv. dvoudimenzionálních materiálů s podobnou strukturou jako grafén. Jsou tyto struktury vždy přesně rovinné?
7. Jmenujte dvě metody přípravy fullerenu? Popište podmínky depozice těmito metodami.
8. Kolik čar a proč bude mít NMR spektrum fullerenu  $C_{60}$ ?
9. Jak ovlivní proces nukleace diamantové vrstvy výslednou velikost krystalů ve vrstvě? Jmenujte metodu, kterou lze řídit nukleaci během růstu diamantové vrstvy.
10. Jaké prekurzory jsou vhodné pro syntézu grafénových nanošupin v plazmatu v podobě prášku?

### Lekce 10

1. Jmenujte alespoň dvě metody, jak lze nanočástice připravovat z větších kusů materiálu? Jaké jsou výhody a nevýhody těchto metod?
2. Jaké možné základní struktury nanočástic známe? Jaké nanočástice nazýváme pojmem Janusovy nanočástice?
3. Definujte pojem homogenní nukleace nanočástic.
4. Definujte pojem heterogenní nukleace nanočástic.
5. Popište proces a podmínky pro nukleaci sférických nanočástic.
6. Jakými parametry prostředí, jmenujte alespoň tři, můžeme ovlivnit růst nanočástic?
7. Uveďte tři metody syntézy nanočástic v kapalině.
8. Pomocí jakých látek lze stabilizovat růst nanočástic v kapalině?
9. Uveďte základní rozdíly mezi syntézou nanočástic v plynném a kapalném prostředí.
10. Jmenujte alespoň tři metody pro určení složení nanočástic. Jakými metodami rozlišíte složení povrchu a vnitřní části nanočástice?

### Lekce 11

1. Jaký je základní rozdíl mezi procesem syntézy nanočástic v plynném prostředí a v plazmatu?
2. Za jakých podmínek se budou částice v plazmatu nabíjet kladně? Jak lze těchto podmínek dosáhnout?
3. Popište základní schéma pro syntézu nanočástic v plazmatu.
4. Uveďte alespoň tři druhy plazmových zdrojů vhodných pro syntézu nanočástic.
5. Čím se liší depozice nanočástic v plazmatu buzeném laserem od ostatních metod? Jaké plyny použijeme pro efektivní absorpci  $CO_2$  laseru?
6. Uveďte alespoň dva druhy experimentálních uspořádání, ve kterých lze vytvářet dvoufázové nebo povrchově modifikované nanočástice.
7. Pokud chcete připravit nanočástice oxidů, nitridů a karbidů kovů, jaké plyny společně se zdrojem kovů použijete?
8. Vysvětlete princip Mössbauerovy spektroskopie.
9. Jaké informace o nanočásticích získáme pomocí rentgenové strukturní analýzy? Udává velikost krystalitu určená Scherrerovou rovnicí skutečnou velikost částice?
10. Jmenujte alespoň tři způsoby zachytu a separace nanočástic.

### Lekce 12

1. Jaký typ krystalického růstu je potřebný pro vznik 1D struktur? Izotropní nebo anizotropní?
2. Uveďte aspoň jeden způsob, kterým je možné přivést roztok do přesyceného (super-saturovaného) stavu.

3. Uveďte dva různé způsoby, kterými lze vyrobit porézní membrány pro šablonovou syntézu 1D struktur.
4. Jaký je princip mechanismus účinku tzv. pasivačního (capping) reagentu při syntéze 1D struktur?
5. Jmenujte dva polymery, pro které je typické zvlákňování z taveniny.
6. Jak se nazývá technika výroby jemných vláken z polymerní taveniny intenzivním vyfukováním z trysky bez následného dloužení?
7. Jak vzniká Taylorův kužel? Které dvě síly jsou příčinou jeho vzniku?
8. Jmenujte tři základní části, ze kterých je sestaven systém na elektrostatické zvlákňování.
9. Jaká speciální vlastnost musí platit pro rozpouštědlo vláknotvorného elektrolytu při elektrostatické zvlákňování?
10. Jakou výhodu přináší elektrostatické zvlákňování z volné hladiny, používané např. v zařízení Nanospider?
11. Jsou vlákna vytvořená elektrostatickým zvlákňováním orientovaná nebo neorientovaná.
12. Za jakých podmínek lze při elektrostatickém zvlákňování pozorovat vznik perliček?
13. K čemu dochází při elektrostatickém zvlákňování silně zředěných roztoků, resp. bez přítomnosti polymerní složky?
14. Uveďte aspoň 2 podmínky, za kterých lze pozorovat vznik nanopórů na povrchu nanovláken při elektrostatickém zvlákňování?