



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Jaroslava Svobodová

Analytické metody. Nanotechnologie

Metodická příručka

Ing. Jaroslava Svobodová, Ph.D.
Analytické metody. Nanotechnologie
Metodická příručka

Vydalo
Centrum pro studium vysokého školství, v.v.i. , Praha, 2015

Návrh obálky
Radka Šebková

Číslo projektu
CZ.1.07/2.3.00/45.00 29

Publikace vznikla jako výsledek projektu Věda pro život, život pro vědu (VĚŽ).
Projekt byl řešen v rámci programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost, prioritní osa Terciární vzdělávání, výzkum a vývoj, v období březen 2014 až červen 2015.



ISBN 978-80-86302-72-0



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Obsah

Metodická příručka

ANALYTICKÉ METODY

Stanovení chemického složení kovů

NANOTECHNOLOGIE

Výroba, využití a aplikace

Autor: Ing. Jaroslava Svobodová, Ph.D.

ANALYTICKÉ METODY
Stanovení chemického složení kovů

Autor: Ing. Jaroslava Svobodová, Ph.D.

Ústí nad Labem, 2015

OBSAH

ÚVOD.....	4
Metody stanovení chemického složení kovů.....	5
Mechanismus vzniku spekter.....	8
Atomová emisní spektrometrie (AES).....	9
Atomový emisní spektrometr.....	9
Aplikace metody (AES):.....	11
Atomová absorpční spektrometrie (AAS)	12
Atomový absorpční spektrometr.....	13
Aplikace metody (AAS)	15

ÚVOD

Analytická chemie je vědní obor zabývající se poskytováním informací o chemickém složení hmotných objektů. K dosažení tohoto cíle využívá poznatky z obecné, anorganické i organické chemie, fyziky, biologie i matematiky.

Metody analytické chemie mohou být rozděleny na **klasické (chemické) a instrumentální**. Nejdůležitějším krokem při řešení analytického experimentu je správná formulace analytického zadání. Pokud je zadání správné, získáme optimální informace v rozumném čase při únosných ekonomických nákladech. Analytický experiment má následující úrovně: **princip experimentu, metoda, analytický postup, pracovní návod**.

Analytické metody mohou být rozděleny podle různých kritérií následovně: podle způsobu vyhodnocení analytického signálu: - **kvalitativní analýza, kvantitativní analýza**; podle povahy stanovované látky - **anorganická analýza, organická analýza**; podle způsobu tvorby analytického signálu – **chemické, fyzikálně chemické a fyzikální (instrumentální, biochemické**; podle množství analyzované látky – **makroanalýza, semimikroanalýza, mikroanalýza, ultramikroanalýza**; podle skupenství - **analýza plynů, kapalin, roztoků a tuhých látek, popř. povrchů tuhých látek**.

Metody analytické chemie lze dále rozdělit na dvě skupiny: **přímé metody, nepřímé metody**. Přímé metody jsou ty, které jsou typické hlavně pro metody klasické, u nichž přímo z hmotnosti sraženiny nebo objemu titračního činidla vypočteme obsah stanovované složky. Mezi nepřímé metody řadíme metody, kdy obsah složky zjišťujeme porovnáváním se standardy. Nejčastěji je používána metoda **kalibrační křivky** a **metoda standardního přídávku**. Pokud má mít analýza praktický význam, tak musí být provedena na průměrném nebo tak zvaném **reprezentativním vzorku**. Tento vzorek musí obsahovat všechny součásti v takovém objemovém či hmotnostním poměru, v jakém jsou v dané látce přítomny, a z tohoto vzorku je pak připraven **analytický vzorek**.

Klíčová slova: analytická chemie, metody analytické chemie, elektromagnetické záření, spektrometrie, atomová emisní spektrometrie, atomová absorpční spektrometrie, AES, AAS.

Metody stanovení chemického složení kovů

Spektrální metody jsou založeny na výměně energie mezi zářením a látkou. **Spektrum** je závislost veličiny, která je vyjádřena mírou intenzity záření vysílaného nebo prošlého vzorkem na vlnové délce záření λ . Místo vlnové délky se také používá vlnočet σ , frekvence nebo energie ε (E).

- **Absorpční metody** slouží pro sledování pohlcování světla (absorpci) záření vzorkem. Při těchto metodách využíváme vlnové délky z různých oblastí spektra elektromagnetického záření. Dle charakteru vzorku a použitého záření jsou využívány různé absorpční metody měření.
- **Emisní metody** jsou založeny na měření vysílaného záření (emitovaného) vzorkem. Emise je vyvolána dodáním energie vzorku v podobě tepla, elektrické energie, proudu elementárních částic nebo jiného elektromagnetického záření. Přijme-li vzorek tuto dodanou energii, dochází k tomu, že se atomy nebo molekuly dostávají do méně stabilních energeticky bohatých stavů. Přebytečné energie se pak zbavují ve formě elektromagnetického záření.

Spektroskopie je vědní obor zabývající se studie **interakce látek s elektromagnetickým zářením**. Z množství absorbovaného nebo emitovaného záření, je možné získat údaje o jednotlivých energetických hladinách. Ze získaných dat pak následně vyvozujeme podrobné informace o struktuře molekul a krystalů, kterým přísluší sledovaná spektra. V následující tabulce 1 jsou uvedeny typy elektromagnetického záření a jejich vlastnosti.

Tab. 1 Elektromagnetické záření – typy a vlastnosti

Typ záření	Energie (kJ/mol)	Vlnočet (cm ⁻¹)	Frekvence (Hz)	Interakce s hmotou
Záření gama (γ)	$10^6 - 10^8$	$10^8 - 10^{10}$	$3 \cdot 10^{18} - 3 \cdot 10^{20}$	Přeskoky jaderných částic mezi energetickými hladinami jádra
Rentgenové záření (RTG)	$10^4 - 10^6$	$10^6 - 10^8$	$3 \cdot 10^{16} - 3 \cdot 10^{18}$	Ionizace
Ultrafialové záření (UV)	$100 - 10^4$	$10^4 - 10^6$	$3 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{16}$	Přechody elektronů
Viditelné záření (VIS)	1 - 100	$100 - 10^4$	$3 \cdot 10^{12} - 3 \cdot 10^{14}$	Přechody elektronů

Infračervené záření (IR)	0,01 - 1	1 - 100	$3 \cdot 10^{10} - 3 \cdot 10^{12}$	Vibrace a rotace molekul
Mikrovlnné záření (MW)	$10^{-4} - 0,01$	0,01 - 1	$3 \cdot 10^8 - 3 \cdot 10^{10}$	Rotace molekul
Rádiové záření (LW)	$10^{-6} - 10^{-4}$	$10^{-4} - 0,01$	$3 \cdot 10^6 - 3 \cdot 10^8$	Přechody jaderného spinu

Podle vlnových délek elektromagnetického záření může být rozdělení spektrálních oblastí následující (tab. 2):

Tab. 2 Spektrální oblasti dle vlnových délek elektromagnetického záření

Oblast	Vlnová délka	Druh přechodu
Rentgenová	0,01 – 10 nm	Vnitřní elektrony
Vakuová ultrafialová	10 – 180 nm	Valenční elektrony
Ultrafialová	180 – 380 nm	Valenční elektrony
Viditelná	380 – 780 nm	Valenční elektrony
Blízká infračervená	0,78 – 2,5 μm	Vibrace a rotace molekul
Střední infračervená	2,5 – 50 μm	Vibrace a rotace molekul
Radiofrekvenční	0,6 – 10 m	Orientace jaderného magnetického momentu

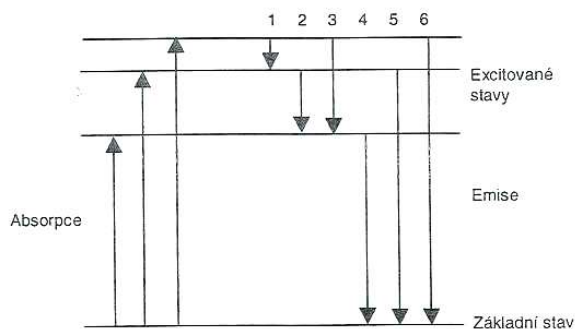
Atom určitého prvku má charakteristickou elektronovou konfiguraci. Absorpcí vhodné energie může dojít k elektronovým přechodům mezi valenčními i vnitřními elektrony do vyšších energetických stavů nebo k uvolnění elektronu z atomu. Při přechodu elektronů na nižší hladiny může být přebytečná energie vyzářena.

Začněme nejprve s ultrafialovou a viditelnou oblastí spektra, kde volný atom může absorbovat energii z této oblasti záření při přechodu valenčního elektronu ze **základního stavu** do stavu **excitovaného**. Při návratu elektronu na nižší energetickou hladinu může atom uvolnit přebytečnou energii formou **elektromagnetického záření**.

Během absorpce elektromagnetického záření dochází k interakci elektrické složky a světla s elektrickým polem molekuly. Toto pole je vytvářeno pohybem elektronů kolem jednotlivých jader atomů. Elektron volného atomu se nachází jen na určitých energetických hladinách. Pakliže elektron přechází do orbitalu s jinou energií, potom přijímá nebo uvolňuje pouze takovou energii, která se rovná rozdílu energií těchto orbitalů (energie elektronu je kvantována). Elektrony se pohybují v orbitalech, jejichž energie jsou kvantovány. Nejmenší kvantum energie přijaté nebo vydané elektronem je určeno rozdílem energií dvou energeticky nejbližších orbitalů. Při přechodu elektronu z orbitalu o energii E_n na orbital o energii E_m ,

vyzáří foton o energii $\varepsilon = E_n - E_m$. Tento foton bude mít odpovídající frekvenci ν a vlnovou délku λ . Opačně, při absorpci fotonu atomem dojde k excitaci elektronu.

Když elektrony zaujmají nejnižší energetické stavy, nazýváme jejich stav stavem základním. Podmínka absorpce světelného záření je existence dalších energetických kvantových stavů molekuly. Těmto stavům říkáme stavy excitované. Při absorpci světelného záření molekulou, zaujmají elektrony vyšší energetické hladiny a přecházejí do excitovaného stavu. Průběh absorpce a emise je schematicky uveden na obr. 1.



Obr. 1 Průběh absorpce a emise v atomu se třemi excitovanými stavy

Volné atomy mohou tedy absorbovat fotony vlnových délek, které odpovídají energii pro excitaci elektronů, z procházejícího polychromatického záření. Tyto vlnové délky budou zeslabeny, a proto se **atomové absorpční spektrum** bude jevit jako tmavé čáry na světlém pozadí. Jedná se o spektrum čárové.

Excitované volné atomy poskytují emisní spektra, která obsahují jednotlivé vyzařované vlnové délky o různé intenzitě. **Atomové emisní spektrum** se jeví jako jednotlivé zářící čáry na černé pozadí a opět se jedná o spektrum čárové.

Spektrální čáry jsou tvořeny skupinami zvanými série. Do série patří vždy čáry vznikající při návratu elektronu do téže hladiny z libovolné vyšší hladiny. Na obr. 1 jsou emisní čáry, které přísluší třem sériím – přechod 1 jedné, přechody 2 a 3 druhé a přechody 4, 5, 6 třetí série čar. Každá série se zhušťuje směrem k nižším vlnovým délkám. Její zakončení se nazývá hrana série a ta odpovídá vlnovou délkou energii, která je potřebná pro přechod elektronu z dané energetické hladiny do volného stavu a rovněž energii, která je uvolněna při návratu zpět. Čáry série, které odpovídají návratu elektronu na základní hladinu (přechody 4, 5, 6) se označují jako rezonanční. U spekter absorpčních jsou uplatňovány jen čáry rezonanční.

Elektrony jako součásti molekuly mají nesrovnatelně více možností energetických přechodů. V molekulách jsou navíc orbitály vazebné, antivazebné a nevazebné a k tomu mají molekuly mnoho hladin rotačních a vibračních energií. Z toho důvodu je molekulové

absorpční a emisní spektrum tvořeno obrovským množstvím u sebe blízko umístěných čar splývajících v pásy. Tento pás obsahuje zdánlivě spojitý interval vlnových délek, jež jsou vyzařovány, a na základě toho hovoříme o **pásových spektrech**. V závislosti na těchto poznacích dělíme emisní spektra podle své podoby následovně:

- **Atomová neboli čárová spektra.**
- **Molekulová neboli pásová spektra.**
- **Kontinuální spektra.**

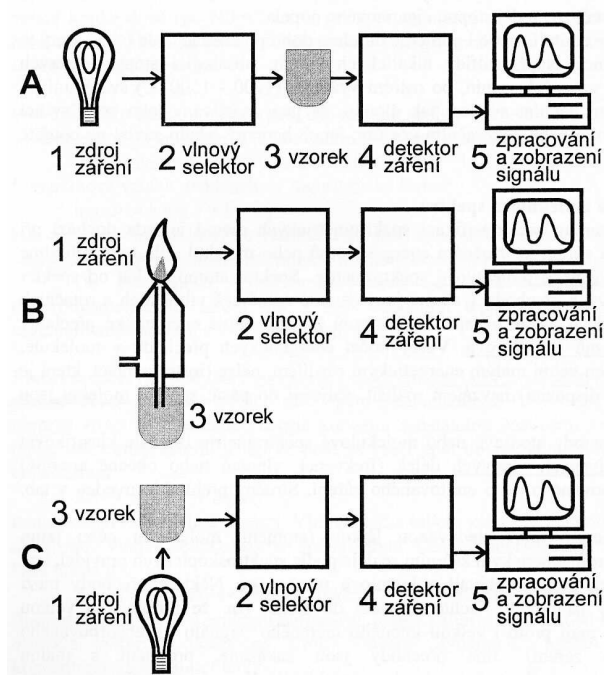
Atomová (čárová) spektra jsou měřena u volných atomů v plynném stavu. Mnoho kovů má nízký ionizační potenciál (tzn. kovy snadno odevzdávají elektrony a přechází na kationty) a emituje záření vlnových délek ve viditelné oblasti spektra. Naproti tomu většina nekovů má ionizační potenciál vysoký. Při návratu elektronů se uvolní vyšší energie a tomu také odpovídají nižší vlnové délky, které se nacházejí v ultrafialové oblasti pod 20 nm. Tyto čáry je z praktického hlediska obtížnější zachycovat, jelikož při měření ve vzdušné atmosféře je záření v této oblasti pohlcováno kyslíkem a vodní parou. Vyzařované čáry mají určitou šířku – teoreticky 10^{-5} až 10^{-4} nm, praktická šířka je podstatně větší.

Molekulová (pásová) spektra jsou tvořena velmi blízko u sebe umístěných čar, které tak splývají v pásy. Tyto čáry můžeme rozlišit jen spektrometrem s vysokou rozlišovací schopností.

Kontinuální spektra jsou vyzařována pevnými, kapalnými i plynnými substancemi. Vyzařování je nepřetržitě rozděleno na celý rozsah vlnových délek. Toto rozdělení je závislé na teplotě. Vyzařování tohoto kontinua vytváří pozadí limitující citlivost metod spektrální analýzy. V případě kdy by čáry čárového spektra měly mnohem nižší intenzitu než pozadí, došlo by k překrytí pozadím.

Mechanismus vzniku spekter

Podle hlavního principu kvantové mechaniky nemůže hmota vyměňovat zářivou energii se svým okolím spojitě, ale jen po celistvých násobcích určitého základního množství, které se nazývá kvantum. Takovým kvantem je např. energie fotonu ($E=h\nu$), který byl atomem nebo molekulou látky buď pohlcen (absorbován), anebo naopak vyzářen (emitován). Výměna zářivé energie je tedy uskutečňována po kvantech a přechody jsou nespojitě. Na obr. 2 je uvedeno principiální uspořádání spektrálních přístrojů pro optické spektrální metody.



Obr. 2 Principiální uspořádání spektrálních přístrojů (A – absorpční, B – emisní, C – fluorescenční spektrometrie)

Atomová emisní spektrometrie (AES)

Atomová emisní spektrometrie se zabývá zkoumáním a využitím záření vysílaného volnými excitovanými atomy, popřípadě ionty prvků, v plynném stavu. Metoda je vhodná pro zjišťování prvkového složení pevných vzorků i vzorků v roztoku.

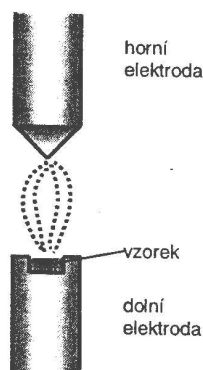
Atomový emisní spektrometr

Atomový emisní spektrometr je konstrukčně složen z budícího zdroje, optického spektrometru a z elektroniky s vyhodnocovacím systémem.

Budící zdroj – jsou určeny pro dodávání energie potřebné pro vyvolání emise záření atomy vzorku. Vzorek převádí z tuhé fáze nebo roztoku do plynné fáze, ve které nastane atomizace a excitace elektronů.

- **Jiskrový výboj** – je opakující se krátkodobý vysokonapěťový elektrický výboj. V jiskře je dosahováno teplot více než 12 000 K, z toho důvodu obsahuje spektrum mnoho čar. Díky výborné reprodukovatelnosti se používá hlavně v kvantitativní analýze kovů.
- **Obloukový výboj** – je trvalý elektrický výboj mezi dvěma elektrodami. Katoda je z kovového vzorku. U obloukového výboje je spotřeba vzorku větší než u jiskrového výboje. Dosahované teploty jsou v rozmezí 4 000 až 8000 K. Ve spektru je méně čar,

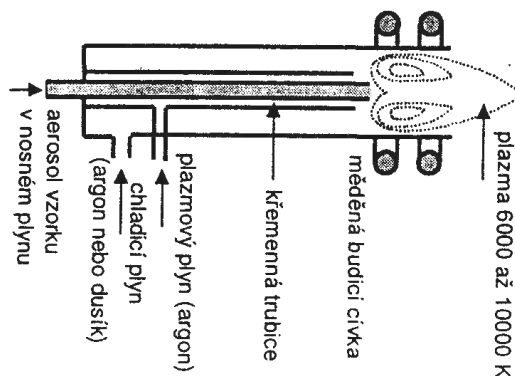
ale díky trvalosti výboje jsou intenzivní. Díky své citlivosti je tento výboj vhodný pro stanovení stopových prvků a pro kvalitativní analýzu. Při analýze je využíván řízený elektrický oblouk, který je přerušovaný 600 krát za sekundu. Tím je dosaženo spojení výhod jiskrového výboje (reprodukovatelnost) a obloukového výboje (citlivost). Na obr. 3 je uvedeno schéma obloukového a jiskrového zdroje.



Obr. 3 Schéma obloukového a jiskrového zdroje

Obloukový a jiskrový zdroj pracují se dvěma elektrodami, které jsou buď kovové, nebo grafitové. V případě, že je analyzován vzorek kov, pak je použit jako jedna z elektrod. Vzorky, které nejsou vodivé, jsou smíseny s grafitovým práškem a umístěny do prohlubně spodní elektrody.

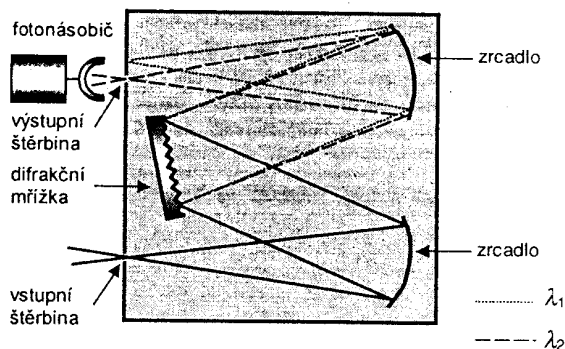
- **Plazmový zdroj** – dovoluje analyzovat vzorky v roztoku. Pro analýzu se využívá indukčně vázaný plazmový výboj (ICP – Inductively Coupled Plasma). Plazma vzniká pomocí indukční cívky v prostředí argonu za působení vysokofrekvenčního elektromagnetického pole. Teplota dosahuje až 10 000 K. Do plazmy je vnášen aerosol roztoku vzorku v argonu. Schéma plazmové hlavice je uvedeno na obr. 4.



Obr. 4 Plazmová hlavice ICP

Plazmový hořák je vyroben z taveného křemene. Chladícím médiem je argon nebo dusík. Díky plazmovému zdroji je umožněna analýza velmi malých vzorků i nekovových materiálů s vysokou citlivostí.

Optický spektrometr – rozkládá záření budícího zdroje na jednotlivé spektrální čáry a měří jejich intenzitu. Schéma optického spektrometru je uvedeno na obr. 5.



Obr. 5 Schéma sekvenčního optického spektrometru (konstrukce monochromátoru Czerny-Turner)

Vstupní štěrbinu optického spektrometru je široká přibližně $1 \mu\text{m}$ a omezuje tak šířku záření, které do spektrometru vstupuje. Úpravou polohy této štěrbinu se provádí přesné nastavení nebo korekce spektrometru (např. pokud dochází ke změnám teploty), tzv. profilace. Mřížka je vyrobena z keramického materiálu Zerodur, který má téměř nulový koeficient tepelné roztažnosti. Záření jednotlivých vlnových délek dopadá na výstupní štěrbinu a intenzita záření je pak měřena fotonásobičem za výstupní štěrbinou.

Simultánní optický emisní spektrometr (kvantometr) – je zařízení měřící současně několik spektrálních čar. Obsahuje tolik výstupních štěrbin nastavených na spektrální čáry prvků a tolik fotonásobičů, kolik prvků na spektrometru bude měřeno. Místo o monochromátoru pak hovoříme o polychromátoru. Je možné měřit až několik desítek prvků najednou. Schéma simultánního optického emisního spektrometru je uvedeno na obr. 4.10.

Aplikace metody (AES): *Základní využití optické emisní spektrometrie je metalurgie a strojírenství. Za pomoci mobilních spektrometrů je možné analyzovat materiály přímo na místě v provozu. Pro analýzu nekovových prvků jako je P, S, B, C atd. (mají emisní čáry v ultrafialové části spektra pod hranicí 210 nm) se používají vakuové spektrometry nebo spektrometry plněné inertním plynem. V prostředí vzduchu by byly tyto emisní čáry absorbovány. Plazmové buzení umožnilo rozšíření metody i na další materiály, které je možné převést do roztoku. Je možné provádět rozbor biologických materiálů, chemikálií, odpadních vod atd. ICP AES lze přirovnat k atomové absorpční spektrometrii. Citlivost je velmi vysoká.*

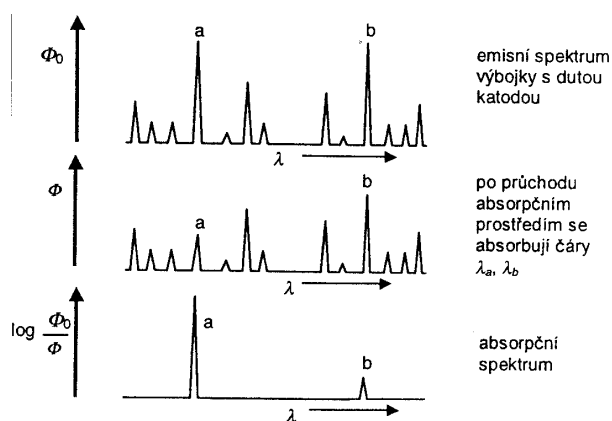
Atomová absorpční spektrometrie (AAS)

Podstatou metody **atomové absorpční spektrometrie (AAS)** je absorbance vhodného elektromagnetického záření volnými atomy v plynném stavu. Absorbovat se může záření splňující podmínku dle vztahu 1:

$$E_1 - E_0 = \frac{h \cdot c}{\lambda_1}, E_2 - E_0 = \frac{h \cdot c}{\lambda_2} \text{ atd.} \quad 1$$

kde: E_0 je energie základní hladiny, E_1 a E_2 atd. jsou energie excitovaných hladin.

Štěrbina monochromátoru propouští interval vlnových délek o šířce 0,5 nm, zatímco absorpční čára je široká asi jen 0,002 nm. Z toho plyne, že v případě použití polychromatického zdroje by na detektor procházelo ve velké míře neabsorbované záření blízke absorbované vlnové délce. Z těchto hodnot plyne, že při úplné absorpci sledované čáry by byl zářivý tok, který dopadá na detektor snížen o pouhých 0,4 %. Takový přístroj by byl málo citlivý a z toho důvodu je nutné použít jako zdroj záření stejný prvek, který chceme stanovit. Ten bude poskytovat právě emisní záření požadované vlnové délky. Absorbovat se bude jen ta část záření, která svými vlnovými délkami odpovídá rezonančním čarám. Rezonančních čar je méně než těch emisních a z toho důvodu je absorpční spektrum jednodušší než spektrum emisní. Pro analýzu se vybere ta čára, pro kterou je splněna největší absorpce záření (obr. 6). Sledujeme absorbanci $\log \frac{\Phi_0}{\Phi}$, která je dle Lambertova-Beerova zákona přímo úměrná koncentraci stanovovaného prvku. Je možné rovněž využití metody lineární kalibrační křivky.

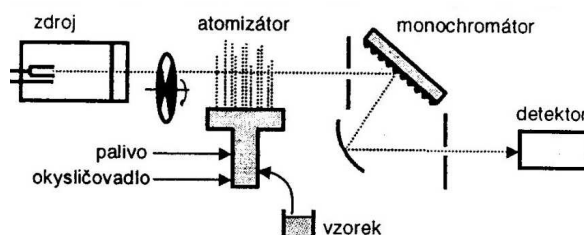


Obr. 6 Absorpce záření vlnových délek rezonančních čar a a b

Atomový absorpční spektrometr

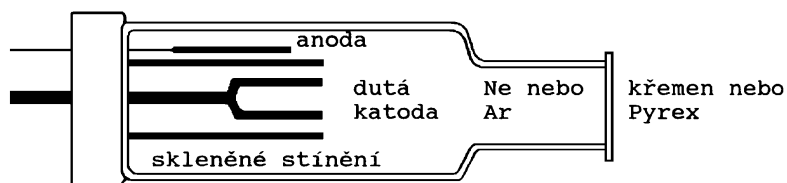
Základní konstrukční prvky každého atomového absorpčního spektrometru (obr. 7) tak, jak jsou za sebou zařazeny v optické ose, jsou:

- **zdroj monochromatického rezonančního záření** sledovaného prvku,
- **absorpční prostředí** s volnými atomy (**atomizátor**),
- **monochromátor** k izolaci rezonanční čáry primárního záření,
- **detektor** záření, kterým se mění proud fotonů (zářivý tok) na proud elektronů (elektrický proud) a počítačové zpracování signálu.



Obr. 7 Schéma jednopaprskového atomového absorpčního spektrometru

Zdroj záření – zdrojem primárního záření je nízkotlaká, neonem plněná výbojka s dutou katodou (VDK, obr. 8). Výbojka pracuje v doutnavém režimu při minimálním proudu několika miliampér a tlaku řádově 0,1 kPa. **Emituje čárové spektrum prvku**, ze kterého je vyrobena dutá katoda nebo který je v materiálu duté katody obsažen. Tím je dána vysoká selektivita této metody, kterou je možné stanovit koncentrace jednotlivých prvků ve vzorku obvykle bez nutnosti předběžného dělení. Podmínky buzení při nízkém tlaku i teplotě zaručují, že rezonanční záření je vysoce monochromatické, má **pološírku profilu** (tj. šířku měřenou v polovině výšky profilu čáry) jen asi 10^{-3} nm.



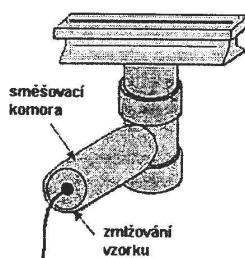
Obr. 8 Výbojka s dutou katodou

Záření vysílané výbojkou je modulováno. Modulace se provádí elektricky nebo mechanicky přerušovačem. Modulací se umožní měřit jen záření výbojky, nikoli záření emitované z atomizačního prostředí, např. z plamene. Na stejnou modulační frekvenci je naladěn i střídavý zesilovač signálu fotoelektrického detektoru. K napájení výbojky slouží stabilizovaný proudový zdroj o napětí asi 400 V. V současné době se vyrábějí výbojky s dutou katodou pro více než 60 prvků. Pro prvky, které mají podobné fyzikální vlastnosti a

přibližně stejně se i katodicky rozprašují, je možné vyrábět výbojky s víceprvkovou katodou, která je v tomto případě zhotovena sintrací směsí dvou až šesti druhů práškových kovů.

Atomizátor – je určen pro převedení vzorku do stavu volných atomů. Absorpční prostředí, kde vznikají volné atomy analytu, musí mít teplotu alespoň 2000 až 3000 K. Nejjednodušeji realizovatelným prostředím k atomizaci je **laminární předmíchaný plamen**,

který se získává laminárním hořením předmíchané směsi acetylenu se vzduchem, popř. oxidem dusným ve speciálním hořáku. Jeho ústí má tvar úzké štěrby, pro plamen acetylen – vzduch dlouhé 10 cm a pro plamen acetylen – oxid dusný s vyšší rychlostí hoření pouze 5 cm. Délkou štěrby je dána i maximálně dosažitelná tloušťka vrstvy absorpčního prostředí, kterým prochází záření z výbojky. Analyzovaný vzorek s určeným prvkem se přivádí do plamene ve formě aerosolu, tj. nepatrných kapiček analyzovaného roztoku. Zmlžování roztoku se provádí pneumatickým zamlžovačem pomocí tlaku oxidujícího plynu, kterým je vzduch, popř. oxid dusný. Na obr. 9 je uveden plamenový atomizátor.



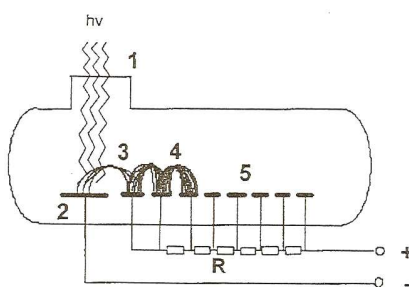
Obr. 9 Výbojka s dutou katodou

Potřebné plyny se odebírají z tlakových lahví, vzduch obvykle z kompresoru. Každý AA-spektrofotometr musí být vybaven regulací a měřením průtoku paliva i oxidovadla. Poměrem obou plynů ve směsi se získává buď oxidační, nebo redukční typ plamene. Redukční plamen je vhodný k atomizaci prvků, které tvoří termostabilní oxidy (např. Cr, Al). Složení a teplota plamene se mění s výškou. Pro každý prvek tedy existuje optimální zóna v plameni daná výškou nad ústím hořáku, kde je koncentrace volných atomů nejvyšší. Tuto výšku je třeba zjistit pokusně. Poloha hořáku je tedy nastavitelná ve vertikálním, ale i horizontálním směru.

Monochromátor - za plamenem následuje **mřížkový monochromátor**, který slouží k izolaci záření vhodné vlnové délky. Natačením mřížky se nastavuje vlnová délka rezonanční čáry na maximum propustnosti. Běžný monochromátor mívá pomocí vstupní a výstupní štěrby regulovatelnou **šířku spektrálního intervalu** od 0,1 nm do 2,0 nm. Jak již bylo uvedeno, šířka profilu rezonanční čáry je řádově 0,001 nm. Šířka spektrálního intervalu se volí tak, aby spolu s rezonančním zářením nedopadalo na detektor neabsorbující čili **balastní**

záření čar blízkých vlnových délek. To by způsobilo zakřivení koncentrační závislosti absorbance (neplatnost Lambertova-Beerova zákona) je-li rezonanční čára ve spektru výbojky osamocena, lze pracovat s širším intervalem (např. 0,5 – 1,0 nm).

Detektor - k detekci toků záření Φ_0 a Φ se zařazuje těsně za výstupní štěrbinu monochromátoru **fotonásobič s fotokatodou** (obr. 10, legenda k obrázku 1 – křemenné okénko, 2 – fotokatoda, 3 – primární elektrony, 4 – pomnožené sekundární elektrony, 5 – systém dynod), jejíž citlivost je dostačující pro sledovanou oblast spektra, tj. od 190 do 900 nm. Získaný fotoproud se zesiluje jednak vkládaným napětím na dynody násobiče elektronů, jednak dalším zesilovačem. V AAS se používají fázově citlivé zesilovače (lock-in) laděné na frekvenci modulačního záření výbojky. Pro přímé odečítání hodnot absorbancí na lineární stupnici je indikační systém vybaven logaritmickým převodníkem. Hodnoty propustnosti resp. Absorbance se odčítají buď v analogové (ručičkový přístroj, zapisovač) nebo v digitální formě. Moderní AA-spektrofotometry jsou vybaveny analogově – digitálním převodníkem a v digitální formě se provádí ovládání nastavitelných parametrů, automatické vyhodnocování výsledků, statistika, tisk výsledů apod.



Obr. 10 Fotonásobič s bočním vstupem

Aplikace metody (AAS): Využívá se ke kvantitativní analýze prakticky všech prvků periodického systému (např. Zn, Cr, Ni, Cu, Pb, Mg, Mn, Al, Cd, Fe, Ca) o velmi nízkých koncentracích (mg - $\mu\text{g/l}$). Dále je využívána při analýzách pitných, minerálních i odpadních vod, piva, vína a nealkoholických nápojů (nehodí se pro protlaký, kečupy, džusy - obsahují rušící pevné částice); ke kontrole přípustného obsahu kovů v potravinách, kam se mohou dostat z postřiků, hnojiv, pesticidů, kovových obalů, apod.; ke stanovení kovů v půdách, rostlinách, při kontrole znečištění životního prostředí, v petrochemii ke stanovení kovů v ropě, benzínech, olejích, ve zdravotnictví pro stanovení kovů v tělních tekutinách, v toxikologii, v soudním a pracovním lékařství Metoda atomové absorpční spektrometrie je velmi přesnou metodou dosahující citlivostí ng na 1 ml vzorku.

Literatura:

- [1] Moderní analytické metody: P. Klouda, Ostrava, 2. přeprac. vyd. 2003
- [2] Analytická chemie: Holzbecher Z., SNTL, Praha, 1974
- [3] Analytická chemie I.: F. Renger, J. Kalous, Pardubice, 2004
- [4] Laboratorní technika pro biochemiky: P. Galuszka, L. Luhová, Olomouc, 2005
- [5] Základy metod analytické chemie: M. Bartušek, J. Pazourek, Brno, 2002
- [6] Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry: J. Lindon, D. Koppenaal, 2nd Ed., Scademic Press, 2010
- [7] Struktura a vlastnosti koordinačních sloučenin: A. A. Vlček, ČSAV, 1966
- [8] Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds: K. Nakamoto, Part A: Theory and Applications in Inorganic Chemistry, 6th Ed., John Wiley and Sons, 2009
- [9] Spektrální metody studia chemických látek: R. Novotná, T. Šilha, Z. Trávníček, PřF Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2011

NANOTECHNOLOGIE
Výroba, využití a aplikace

Autor: Ing. Jaroslava Svobodová, Ph.D.

Ústí nad Labem, 2015

OBSAH

ÚVOD.....	19
Historický úvod do nanotechnologie	20
Nanotechnologie a jejich rozdělení.....	21
Rozdělení nanoobjektů	24
0 dimenzionální nanoobjekty	25
1 dimenzionální nanoobjekty.....	26
2 dimenzionální nanoobjekty.....	27
Metody přípravy nanoobjektů.....	27
Metoda přípravy nanoobjektů Top-down	28
Metoda přípravy nanoobjektů Top-down	28
Praktické využití nanotechnologií v každodenním životě	29

ÚVOD

Hranice poznání člověka se neustále rozvíjí s tím, jak se vyvíjí technika a technologie kolem nás. Žijeme v době, která nám umožňuje a nabízí nejrůznější technické vymoženosti a technický rozvoj od aplikací ve výpočetní technice, výrobních technologiích, moderních léčebných metodách až po cestování a průzkum vesmíru. Od poloviny 20. století je stále aktuálnějším oborem oblast *nanotechnologií*. V tomto oboru pracujeme s *nanostруктурami*, pomocí nichž se snažíme o sestavení zařízení na molekulární úrovni nebo aplikaci různých *nanočástic, nanovrstev, nanoobjektů* atd. tak, jak je od pradávna využívá sama příroda.

V současné době se s výrazy jako jsou *nanotechnologie* a nanomateriály setkáváme téměř ve všech oblastech lidské činnosti. Tento jev je zapříčiněn především pozitivními vlastnosti nanotechnologií a nanomateriálů, které napomáhají zlepšovat funkční vlastnosti různorodých látek a objektů.

Pojem „nano“ je v inženýrské praxi běžně znám a vyjadřuje násobek – *jednu miliardtinu* (10^{-9}) *základní jednotky*. Nanotechnologie je pak relativně nový pojem obsahující jevy, techniky, zařízení nebo struktury, jejichž rozměry odpovídají úrovni *nanometrů* – jedné miliardtiny metru, tedy *atomové a molekulární úrovni*.

Mnoho jevů označovaných jako nanotechnologie je lidstvu známo a využíváno již velmi dlouhou dobu. Jedná se především o tvary krystalů různých minerálů, které vznikaly za vhodných podmínek a jsou důsledkem jejich vnitřního uspořádání na atomové a molekulární úrovni. Také existenci živých organismů lze považovat za důsledek přírodou aplikovaného nanotechnologického přístupu samoorganizace a samosestavování. Nanostruktur pro svoji vlastní potřebu využívá i řada rostlin a živočichů.

Principy a funkce těchto struktur byly odhaleny teprve s technologickým pokrokem v oblasti nanotechnologií a mnohdy se stávají inspirací pro vznik a vývoj moderních nanoaplikací v různých odvětvích.

Cílem tohoto textu je předložit přehled dosavadních poznatků v oblasti nanotechnologií, jejich aplikace a využití. Vývoj nanotechnologií je velmi dynamický a z toho důvodu je třeba tento text chápat, jako úvod do problematiky nanotechnologií.

Klíčová slova: nanotechnologie, nanometry, nanomateriály, nanostruktury, nanověda, molekuly, atomy, nanočástice, nanoobjekty, nanovrstvy.

Historický úvod do nanotechnologie

V současné době představují nanotechnologie nejdynamičtěji se rozvíjející oblast vědy a výzkumu s nesmírným znalostním a aplikačním potenciálem, která překračuje vymezení jednotlivých vědních a technických oborů. Pojem nanotechnologie je v posledních letech jeden z nejskloňovanějších termínů řady oborů techniky i laické veřejnosti. Nanotechnologie je pojem obsahující jevy, techniky, zařízení nebo struktury, které odpovídají rozměru nanometrů – jedna miliardtina metru (10^{-9}). Ačkoliv se o oboru nanotechnologie hovoří teprve v posledních dvou desetiletích některé jevy, které dnes označíme jako nanotechnologie, jsou známé již dlouhou dobu. Nejstarší známý případ technologie, která by dnes mohla být označena za nanotechnologii je datován do 4. století našeho letopočtu, ze kterého se dochoval římský pohár vyrobený ze sodnovápenatého skla. Toto sklo obsahovalo nanočástice zlata a stříbra (obr. 1). Další záznamy o nanotechnologiích pocházejí z 18. a 19. století, kde např. Robert Brown pozoroval pohyb částic ve vakuolách pylu. V průběhu 19. a 20. století následuje velký rozvoj v oborech chemie, fyziky, v optice a obecné technice, které je možné ze současného pohledu označit za nanotechnologie.



Obr. 11 Římský pohár s nanočásticemi zlata a stříbra

Jedním z průkopníků vědy o nanotechnologiích byl americký vědec Richard Philips Feynman, který získal Nobelovu cenu za fyziku. Tento vědec ve své přednášce prohlásil: „There’s a plenty of room at the bottom” – Tam dole je spousta místa. V roce 1959 položil otázku: „Proč ještě neumíme zapsat všech dvacet čtyři svazků Encyklopedie Britanniky na špendlíkovou hlavičku?” V přednášce se zmínil mimo jiné také o možnosti manipulace s molekulami a atomy. Tehdy tento obor pojmenoval jako mikrotechnologii.

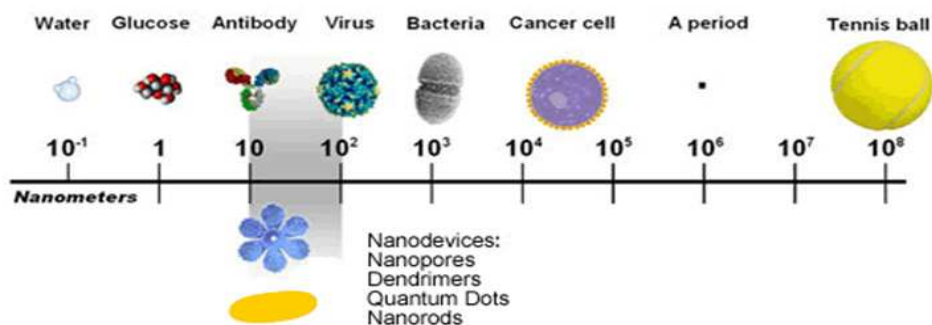
Termín nanotechnologie se objevuje až v roce 1974. Termínem nanotechnologie byla označena nová měřicí metoda japonským fyzikem Tanuguchim. Tato metoda umožnila výrobu součástek s přesností na nanometry. V 70. letech pak na myšlenky svých předchůdců navázal americký fyzik K. E. Drexler, který ve svém článku z oblasti molekulárního inženýrství navrhl využití proteinů jakožto stavebních kamenů. Ve své práci současně

upozornil na pozitivní i negativní vlivy molekulární nanotechnologie. Ve své knize *Stroje stvoření – nástup éry nanotechnologie* z roku 1986 popisuje svět miniaturních systémů – nanorobotů – kteří by se chovali podobně jako živé organizmy. Tyto nanoorganizmy by pak měli schopnost reprodukce, vzájemné komunikace a také možnost sebezdokonalování. Tyto neuvěřitelné představy byly dále rozvíjeny americkým fyzikem Timothy Learyem. Podle jeho názoru jednou nanotechnologie umožní vytvoření předmětu za využití prachu a slunečního svitu. Ve své době se tyto myšlenky řadily spíše k oblasti science fiction.

Ve druhé polovině 20. století se prováděly výzkumy, které byly orientovány na průzkum a poznání vlastností základních stavebních prvků hmoty a jevů, které se projevují na atomové a molekulární úrovni. Hlavní zájem byl orientován na poznatky z přírody, tedy jakým způsobem příroda vytváří rozmanité struktury. Jedním z nejvýznamnějších objevů byl v 80. letech Scanovací (rastrovací) tunelový mikroskop (STM) a mikroskop atomárních sil (AFM). Tyto přístroje umožnily pozorování a manipulaci s atomy a molekulami, tudíž dalšímu rozvoji nanotechnologií už nebyly kladeny překážky. Nanotechnologie se posouvají stále dále od výroby čipů velké integrace s rozměry 100 nm, před aplikace v obrábění povrchů s přesností na nanometry, až po používání nanostruktur v medicíně a biotechnologiích. V současné době jsou nanotechnologie využívány v oblasti chemie, ve zdravotnictví, v informačních a komunikačních technologiích, v energetice, v péči o životní prostředí a také ve strojírenství a v materiálovém inženýrství. Do oblasti materiálového inženýrství a strojírenství patří také ochrana materiálů, resp. předúpravy povrchů za využití nanotechnologie.

Nanotechnologie a jejich rozdělení

Nanosvět je oblast částic a struktur pohybujících se v rozměru nanometrů, tedy v intervalu mezi 1 nm až 100 nm. Tyto částice a struktury označujeme jako *nanostuktury* a považujeme je za základní stavební jednotky *nanomateriálů*. Pro lepší pochopení nanorozměru je na obr. 2 uvedeno porovnání velikostí jednotlivých vybraných objektů. Výzkumem vlastností těchto nanomateriálů se zabývá *nanověda*, jejíž hranice se však nedají zcela přesně vymezit. Oblast nanovědy v sobě zahrnuje obor fyziky pevných látek, chemie, materiálového inženýrství a také molekulární biologie.



Obr. 12 Porovnání velikostí jednotlivých objektů

Nanotechnologie by mohla být definována jako interdisciplinární a průřezová technologie zabývající se praktickým využitím nových a neobvyklých vlastností nanomateriálů pro konstrukci nových struktur, zařízení a vytváření nových materiálů. S tím souvisí praktické využití nanotechnologie, kdy dochází k vytváření látek a materiálů specifických vlastností. Nanotechnologie jsou oborem, který soustřeďuje klasické vědní obory.

Nanotechnologie jsou v současné době rozdělovány do **8 hlavních oblastí**:

1. Nanomateriály:

- nanoprášky, nanočástice,
- kompozitní materiály obsahující nanočástice,
- materiály s uhlíkovými trubicemi nebo fullereny,
- tenké vrstvy,
- nanostrukturní kovy a slitiny, nanokeramika,
- polymerní nanokompozity, polymerní nanomateriály.

2. Nanotechnologie pro ukládání a přenos informací, mikro a nanoelektronika:

- nanoelektronika, materiály a zařízení,
- optoelektronika (fotonika),
- optické materiály a zařízení,
- magnetické materiály a zařízení, spintronika, organická fotonika.

3. Nanobiotechnologie, nanomedicína:

- zapouzdřování léků,
- cílená doprava léků,
- tkáňové inženýrství,
- biokompatibilní materiály a vrstvy,
- molekulární analýza, analýza DNA,
- biologicko - anorganické rozhraní a hybridy,

- diagnostika, molekulární rozpoznávání.

4.Nanotechnologie pro aplikaci v senzorech:

- senzory využívající nanomateriály,
- biomolekulární senzory.

5.Nanotechnologie pro (elektro) chemické technologie zpracování:

- filtrace,
- katalýza nebo elektrody s nanostrukturními povrchy,
- chemická syntéza, supramolekulární chemie.

6.Dlouhodobý výzkum s širokou aplikací:

- samosestavování (self-assembly),
- kvantová fyzika, kvantové jevy v nanorozměrech,
- nano a mezoskopické systémy,
- chemické materiály, nanochemie,
- ultra-přesné inženýrství.

7.Přístroje a zařízení, výzkum a aplikace technologií:

- analytické přístroje, metody techniky a zkoumání,
- výroba prášků (nanočástic) a jejich zpracování,
- zařízení a metody pro vytváření objektů (patterning , vytváření vláken apod.),
- ultra-přesné obrábění, nanometrologie.

8.Zdravotní, ekologické a sociální aspekty nanotechnologie:

- toxicita nanočástic,
- ekologické aspekty,
- sociální a etické aspekty,
- standardizace,
- patentování,
- prognózy,
- popularizace nanotechnologie,
- obchod s nanovýrobky.

Využití nanotechnologií v konkrétním oboru a způsob aplikace:

- **elektronika** (paměťová média, spintronika, bioelektronika, kvantová elektronika),
- **zdravotnictví** (cílená doprava léčiv, umělé klouby, chlopně, náhrada tkání, desinfekční roztoky nové generace, analyzátory, ochranné roušky),

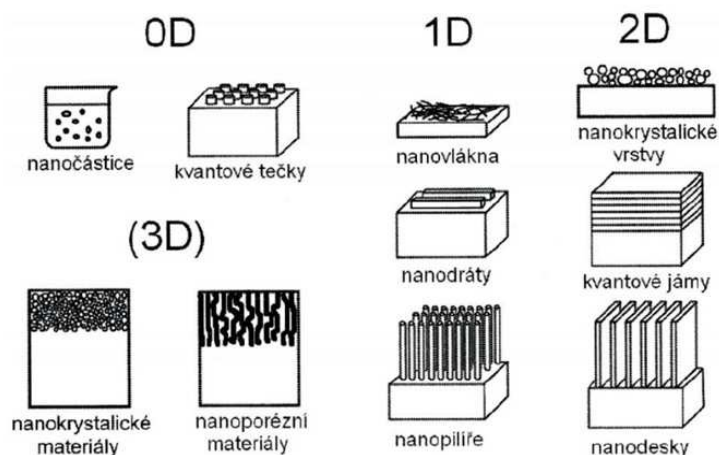
- **strojírenství** (supertvrdé povrchy s nízkým koeficientem třením, samočisticí laky, obráběcí nástroje),
- **stavebnictví** (nové izolační materiály, samočisticí fasádní nátěry, antiadhezní obklady),
- **chemický průmysl** (nanotrubice, nanokompozity, selektivní katalýza, aerogely)
- **textilní průmysl** (nemačkávé, hydrofobní a nešpinící se tkaniny, izolační netkané textilie z nanovláken),
- **elektrotechnický průmysl** (vysokokapacitní záznamová média, fotomateriály, palivové články),
- **optický průmysl** (optické filtry, fotonické krystaly a fotonická vlákna, integrovaná optika),
- **automobilový průmysl** (nesmáčivé povrchy, filtry čelních skel),
- **kosmický průmysl** (odolné povrchy satelitů, nanokeramika),
- **vojenský průmysl** (nanosenzory, konstrukční prvky raketoplánů),
- **životní prostředí** (odstraňování nečistot, biodegradace, značkování potravin).

Rozdělení nanoobjektů

Nanoobjekty je možné rozdělit podle celé řady kvalitativních parametrů, avšak podle normy ISO/TS 27687 jsou nanoobjekty děleny dle *charakteristického tvaru* do tří skupin:

- **0 dimenzionální nanoobjekty (0D)**
- **1 dimenzionální nanoobjekty (1D)**
- **2 dimenzionální nanoobjekty (2D)**

Toto rozdělení se odvíjí od počtu souřadnic, ve kterých nanoobjekty překračují interval nanorozměru (1 – 100 nm), čím se vzájemně liší jejich fyzikální vlastnosti, možnosti aplikace a také následné využití nanoobjektů. Na obr. 3 jsou uvedeny nanoobjekty dle svého charakteristického tvaru.

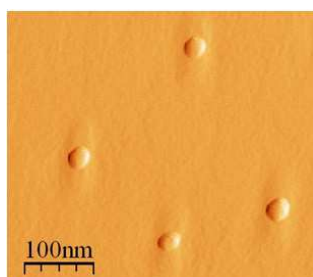


Obr. 13 Nanoobjekty dle svého charakteristického tvaru

0 dimenzionální nanoobjekty

0 dimenzionální objekty jsou obecně označovány jako *nanopčástice* a dosahují nanorozměru ve *všech třech souřadných osách*. Do této kategorie nanoobjektů je možné zařadit nanoobjekty typu:

- vrstev, povlaků a objemů tvořených z nanokrystalů,
- porézních nanomateriálů a nanopěn,
- kvantových teček (obr. 4).



Obr. 14 Kvantové tečky

Kvantová tečka (quantum dot) je ohraničená oblast polovodiče a průměru kolem 30nm a výšce 8 nm, která je schopná v důsledku nižší energie ve srovnání s energií vodivostního pásu okolního polovodiče vázat elektrony. Ty mohou nabývat pouze diskretních hodnot energie, podobně, jako je tomu u atomu. Kvantové tečky jsou využívány ve speciálních součástkách, které jsou schopny pracovat s jednotlivými elektrony či fotony.

Praktická aplikace: 4K monitory a televize

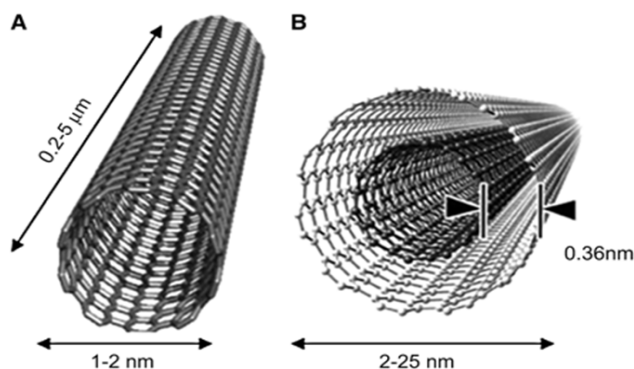
Nanotechnologie kvantových teček vstupuje díky korejské společnosti LG do segmentu televizí. Tato společnost představila novou generaci svých 4K televizí založených na této technologii. 4K televize a monitory mají čtyřikrát větší rozlišení, než v současné době masivně

rozšířené televize s vysokým rozlišením. Technologie nabízí širší paletu barev, jejich vylepšenou sytost a lepší pozorovací úhly v porovnání s dnešními LCD televizemi.

1 dimenzionální nanoobjekty

1 dimenzionální nanoobjekty jsou **nanovlákná** a dosahují nanorozměru **ve dvou souřadných osách**. Mezi tyto objekty patří:

- nanovlákná (mající poměr délky k průměru v poměru min. 3:1),
- nonopásky (nanovlákná přibližně pravouhlého tvaru mající poměr délky k rozměru průřezu 2:1),
- nanotyče (plná nanovlákná),
- nanotrubičky (dutá nanovlákná),
- nanodráty (elektricky vodivá nebo polovodivá nanovlákná),
- kvantové dráty (mající vlastnosti závislé na rozměrech drátu, které jsou dané kvantovým omezením),
- pilíře (nanotyče nebo nanotrubičky rostoucí kolmo k základně).



Obr. 15 Nanotrubičky (A – jednovláknová, B – dvouvláknová)

Praktická aplikace: nanotrubičky jako plnidla nátěrových hmot

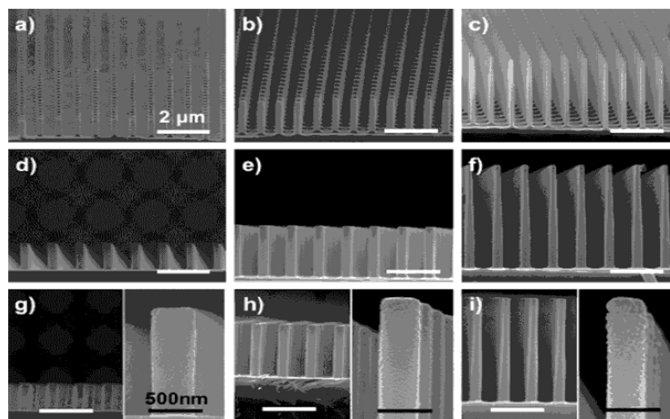
Nátěrový systém plní především funkci ochrany povrchu předmětu před nepříznivými vlivy okolí, která je založena na bariérovém způsobu ochrany. Mezi základní složky nátěrového systému patří: filmotvorné látky, pigmenty, plnidla, těkavé složky a ostatní přísady (aditiva). Organické nátěrové hmoty jsou vhodné pro vytváření nanokompozitních nátěrových systémů. Při využití nanoobjektů jako plnidel mohou tyto nátěry vykazovat velmi výrazné změny funkčních a mechanických vlastností. Plnidla tvoří „kostru“ nátěrových filmů, neboť struktura povlaku se zesiluje právě těmito pevnými částicemi. Plnidla zvětšují účinky bariérové ochrany zvětšením tloušťky nátěrového filmu. Jako vhodné nátěrové hmoty (matrice) schopné tvořit nanokompozitní nátěrové systémy se jeví především nátěrové hmoty

na bázi epoxidových pryskyřic, polyuretanové, akrylátové a alkydové nátěrové hmoty. Volba plnidla (nanoobjektů), je závislá na požadovaných vlastnostech vytvářeného nátěrového systému. Nanokompozitní nátěrový systém na bázi epoxidové pryskyřice obsahuje **uhlíkové víceštěnné nanotuby MWCNT**. Jedná se o nátěrový systém se zvýšenou odolností vůči abrazi a erozi. Nanoobjekty jsou rovnoměrně vyloučeny v epoxidové matrici (nátěrové hmotě) a pokud dochází k úbytku tloušťky povlaku (mechanickým opotřebením), zachovává si své ošetrudorné vlastnosti v celé tloušťce. Další vlastnost povlaku pozitivně ovlivněná přítomností uhlíkových víceštěnných nanotub je přilnavost k základnímu materiálu.

2 dimenzionální nanoobjekty

Jedná se o objekty, které mají rozměr pouze **v jedné souřadné ose**. Obecně jsou nazývané jako **nanodesky** (obr. 6). Do této kategorie patří následující typy nanoobjektů:

- tenké vrstvy (povlaky),
- deskovité nanokrystaly,
- kvantové jámy,
- nanostěny,
- rovinné makromolekuly.



Obr. 16 Nanodesky

Metody přípravy nanoobjektů

Pro přípravu nanoobjektů se využívají dvě metody: **Top-Down** a **Bottom-up**. Přehled těchto technik přípravy nanoobjektů je uveden v tab. 1.

Tab. 3 Metody přípravy nanoobjektů

fáze	metoda	kategorie	dimenze	technika	Top-down	Bottom-up
plynná	fyzikální	PVD	2	napařování, naprašování	☑	☒
				MBE, PLD	☑	☒
	chemická	chem. reakce	0	CVD	☑	☒
				TCVD, PACVD, ALD	☑	☒
				spalování v plameni	☒	☑
kapalná	fyzikální	tažení	1	syntéza v plazmě, el. oblouku	☒	☑
				laser, UV, Rtg	☒	☑
				zvláknování (HV)	☑	☒
	chemická	chem. reakce	0	VLS (vapour-liquid-solid)	☑	☒
Langmuir-Blodgettová (LB)				☒	☑	
pevná	litografie	maskové	2,(1,0)	UV-L, EUV-L, RTG-L	☑	☒
				interferenční litografie (UV)	☑	☒
		bezmaskové	2,1,(0)	focused laser beam (FLBL)	☑	☒
				E-beam lithography (EBL), FIB, AFM	☑	☒
	fyzikální	deformace	0	ECAP, HPT, CEC, ARB	☑	☒

Top-down - nanoobjekty se utvářejí zmenšováním struktury již existujícího materiálu (tuto metodu si jednoduše můžeme představit jako tesání sochy z velkého bloku mramoru).

Bottom-up - nanoobjekty se postupně skládají z jednotlivých atomů (tato metoda se podobá stavění z kostiček Lego®).

Metoda přípravy nanoobjektů Top-down

Metoda Top-down vychází z technologie vyvinuté pro potřeby tvorby polovodičových struktur na křemíkových a germaniových substrátech. Od 60. let 20. století dochází k neustálému zmenšování detailů a zvyšování hustoty těchto struktur. Metody Top-down jsou souhrnně nazývány litografie (lithography). Litografie zahrnuje sérii výrobních procesů, které sdílejí princip přenosu obrazu z masky na připravený substrát. Typický litografický proces se skládá ze tří kroků: 1) pokrytí substrátu citlivou polymerní vrstvou, která se nazývá rezist; 2) vystavení rezistu světelnému, elektronovému nebo iontovému svazku; 3) vyvolání rezistu – selektivní odstranění buď exponovaných, nebo neexponovaných oblastí rezistu. Důležitými parametry při této technologii jsou kvalita struktury a rychlost vytváření struktury.

Metoda přípravy nanoobjektů Bottom-up

Bottom-up metody lze rozdělit na metody syntézy nanočástic: **z plynné fáze** (chemická depozice CVD, syntéza v plazmě, atd.); **z kapalně fáze** (sol-gel procesy, samoorganizace

atd.). Nanomateriál je vytvářen prostřednictvím řízeného výrobního postupu, který začíná od jednotlivých atomů nebo molekul. Všechny přírodní materiály, organické i anorganické, jsou vytvářeny procesem samoorganizace (self-assembly). V přirozených biologických procesech se molekuly samoorganizují, aby vytvořily složité struktury s nanopřesností. Příkladem je třeba tvoření dvoušroubovice DNA nebo buněčné membrány z fosfolipidů. Dílčí jednotky se spontánně organizují a shlukují do stabilních, dobře vymezených struktur prostřednictvím nekovalentních interakcí. Tento proces se řídí informacemi, které jsou zakódovány v dílčích jednotkách. K samoorganizaci dochází většinou v kapalných roztocích a na rovných površích substrátu.

U obou metod přípravy nanoobjektů jsou podstatné dva požadavky:

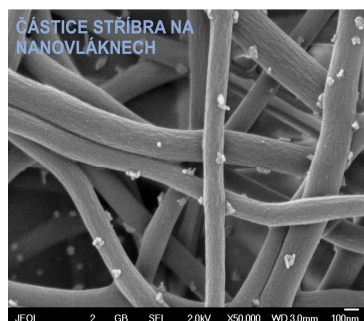
- kontrola podmínek při vytváření nanoobjektů – např. energie elektronového svazku,
- kontrola podmínek prostředí, ve kterém jsou nanoobjekty vytvářeny – např. kontrola přítomnosti prachu, nečistot atd.

Vzhledem k výše uvedeným požadavkům využívají nanotechnologie vysoce sofistikované nástroje pro výrobu nanomateriálů. Výroba probíhá většinou ve vakuu v laboratořích superčistých prostor (clean-room laboratories).

Praktické využití nanotechnologií v každodenním životě

Dále jsou uvedeny příklady některých nejběžnějších aplikací nanotechnologií, se kterými je možné se běžně setkat v běžném životě.

Nanočástice stříbra – vykazují velmi dobré vlastnosti; vynikají antibakteriálními a antivirovými účinky. Aplikují se hlavně v oděvním průmyslu a ve zdravotnictví.



Nanočástice zlata – mají výborné optické a elektrické vlastnosti; použití nanočástic zlata je široké a je využíváno např. pro bio aplikace (léčebné prostředky, doprava léků), chemii,

v optice a kosmetickém průmyslu.



Nanočástice TiO_2 – oxid titaničitý se používá ve formě bílého prášku zvaném titanová běloba; nanoobjekty TiO_2 ve formě nanočástic, nanotrubic, nanodrátu a nanopovlaků jsou v oblasti nátěrových hmot používány především pro své fotoelektrochemické a hydrofilní vlastnosti; Vzhledem ke své zdravotní nezávadnosti nachází uplatnění v potravinářském průmyslu, zdravotnictví, stavebnictví ale i v elektrotechnice.



Aktivní nanostěna - obsahuje jako funkční složku nanočástice oxidu titaničitého TiO_2 , které pomocí fotokatalyckého procesu likvidují organické částice v ovzduší tím, že je rozloží na vodu a oxid uhličitý (CO_2). Celý proces je aktivován ultrafialovým zářením, které je přirozenou součástí denního světla.

Nanočástice TiN – vrstvy TiN povlakované chemickými nebo fyzikálními metodami se používají především na řezných nástrojích, kde několikanásobně zvyšují odolnost proti opotřebení a tím i jejich životnost.



Nanočástice SiO_2 - na povrch skla – zabraňuje srážlivosti vody na skle (nerosí se) –

skla aut, brýle, obkládačky



Literatura:

- [1] HOŠEK, J.: Úvod do nanotechnologie, ČVUT v Praze, 2010, ISBN 978-80-01-04555-8
- [2] CHOU, T. P., CHANDRASEKARAN, C., LIMMER, S., NGUYEN, C., CAO, G. Z.: Organic-inorganic sol-gel rating for corrosion protection fo stainless steel, Journal of Materials Science, Letters 21, 2002, p. 251-255, ISSN 0261-8028
- [3] CAVALEIRO, A., HOSSON, J. T.: Nanostructured Coatings, Nanostructure Science and Technology, Springer, 2006, p. 648, ISBN 0-387-25642-3
- [4] PAUSSA, L.: ZrO₂-Based sol-gel films for the protection of aluminium alloys: barrier, adhesion and inhibition abilities, p. 256, 2011. Direttore della Scuola: Ch.mo Prof. PAOLO BARIANI
- [5] ZOUBEK, M., KUDLÁČEK, J., DRAŠNAR, P.: Nové otěruvzdorné nátěrové systémy s CNT nanočásticemi, Povrcháři, 2013, No. 6 [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné na www.povrchari.cz
- [6] ZBOŘIL, R.: Nanotechnologie – svět malých rozměrů a velkých možností. [prezentace online][cit. 2013-05-05]. Dostupné z:<http://fch.upol.cz/skripta/seh/RZ_2011.pdf>.
- [7] Nanotechnologie [online]. [cit. 2013-05-05]. Dostupné z <http://nanotechnologie.vsb.cz/>
- [8] HERRMAN, F., CHILLER, M.: Zkoušení nátěrových hmot a ochranných povlaků.[online].[cit. 2013-05-15]. Dostupné z:<http://sczl.cz/dokumenty/k06_04.pdf>.
- [9] Optimalizace přípravy InAs kvantových teček. Fyzikální Ústav AV ČR. [online]. [cit. 2013-05-25]. Dostupné z: <<http://www.fzu.cz/oddeleni/oddeleni-polovodicu/selected-results/optimalizacepripravy-inas-kvantovych-tecek>>.
- [10] REILLY, R. M.: Carbon Nanotubes: Potential Benefits and Risks of Nanotechnology in Nuclear Medicine. Journal of Nuclear Medicine [online]. 2007-07-01, vol. 48, issue 7, s.

- 1039-1042 [cit. 2013-05-28]. DOI: 10.2967/jnumed.107.041723. Dostupné z: <<http://jnm.snmjournals.org/cgi/doi/10.2967/jnumed.107.041723>>.
- [11] NOH, S. Y.: Branched TiO₂/Si nanostructures for enhanced photoelectrochemical water splitting. Nano Energy [online]. s. 351-360 [cit. 2013-05-25]. Dostupné z: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211285512002248>>.
- [12] KVÍTEK, L.: Nanotechnologie dneška - koloidní stříbro. [online]. [cit. 2013-06-13]. Dostupné z: <http://fch.upol.cz/vyzkum/srozum/nanotechnologie.pdf>
- [13] NOVOTNÝ, F.: Koloidní zlato: sofistikovaný (nano)nástroj budoucnosti?. In: [online]. Praha: Technicall, 2012 [cit. 2013-06-13]. Dostupné z: <<http://www.technikall.cz/clanek/2012-01-zlato/>>
- [14] HOCHMANNOVÁ, L.: Vliv nanočástic TiO₂ a ZnO na fotokatalytické a antimikrobiální účinky silikátových nátěrů. [online]. [cit. 2013-06-15]. Dostupné z: <www.chemickelisty.cz/docs/full/2010_10_940-944.pdf>
- [15] WEISS, Z., SIMHA-MARTYNKOVÁ, G., ŠUSTAL, I.: Nanostruktura uhlíkatých materiálů. Vyd. 1. Ostrava: Repronis, 2005, 132 s. Nanotechnologie a nanomateriály. ISBN 80-732-9083-9.
- [16] Carbone nanotechnologies and Materials: Examples of the fullerenes. CT&M. [online]. [cit. 2013-06-10]. Dostupné z: <http://www.afrikaconnect.ru/index5_eng.php>.

