NanoSchoolBox

Popis pokusů

- napínavé objevy
- překvapivé efekty
- názorné experimenty

NanoBioNet
Saarland - Rheinhessen-Pfalz e.V.

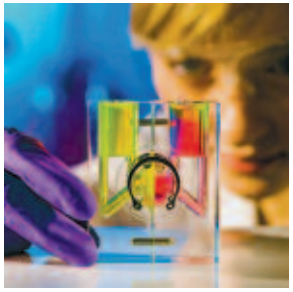
Bezpečnostní pokyny

1. Použití materiálů, které jsou k dispozici, je na vlastní nebezpečí. Za škody a následná poškození vzniklá použitím materiálů, zejména chemikálií, nepřebírá NanoBioNet žádnou záruku.

2. Při pokusech je třeba dodržovat platné předpisy pro ochranu a zdraví při práci i běžná bezpečnostní opatření při manipulaci s chemikáliemi. Informujte se o příslušných bezpečnostních opatřeních pro bezpečné zacházení s chemikáliemi. Informace o bezpečnostních údajích a pokyny k rizikům i bezpečnosti najdete na CD.

3. V každém případě si pozorně přečtěte popis pokusů, a to před jejich provedením.

4. Pokud necháte žáky při vyučování provádět pokusy sami, platí: Pokusný kufřík je vhodný pro žáky od 14 let. Žáci, kteří pokusy provádějí, musí být bezpodmínečně vybaveni potřebnými ochrannými prvky (pracovní plášť s dlouhými rukávy a ochranné brýle, popř. rukavice). Žáky nenechte nikdy bez dozoru.



5. I přes pečlivou kontrolu si vyhrazujeme právo na tiskové chyby a omyly.

6. Kufřík by neměl být skladován při teplotě vyšší než 20 °C. Je třeba chránit jej před mrazem.

Obsah

Předmluva 6

Úvod Co je nanotechnologie? 8

Kapitola 1 Od lotosového efektu k technickému použití nanovrstev 10

Pokus 1 Pokusy k lotosovému efektu 14

Pokus 2 Vytvoření hydrofobního povrchu na dřevu nebo na jiném minerálním materiálu 16

Pokus 3 Vytvoření hydrofobního povrchu na textiliích 20

Pokus 4 Kouzelný inkoust pro vytvoření hydrofilního povrchu na skle (anti-fog) 22

Kapitola 2 Funkčnost díky nanotechnologii 24

Pokus 5 Krycí vrstva odolná proti poškrabání ze dřeva 26

Pokus 6 Ochrana před požárem 29

Pokus 7 Zvýšení elektrické vodivosti oxidem ITO 32

Kapitola 3 Použití oxidu titaničitého v nanotechnologii 34

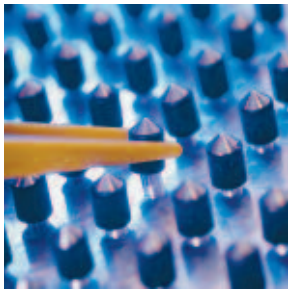
Demoobjekt 1 Polokoule s efektem flip-flop 35

Pokus 8 Fotokatalýza s oxidem titaničitým 36

Kapitola 4 Feromagnetické kapaliny 38

Pokus 9 Magnetické pole 39

Pokus 10 Změna hustoty ve feromagnetické kapalině 42



Kapitola 5 Koloidy zlata s nanorozměry 44

Pokus 11 Prokázání koloidů Tyndallovým efektem 46

Pokus 12 Výroba zlata v nanodimenzi 48

Demoobjekt 2 Těhotenský test 50

Kapitola 6 Efekt tvarové paměti 52

Pokus 13 Kov s pamětí – pohyb atomu v nanodimenzi 54

Kapitola 7 Od písku k čipu 56

Demoobjekt 3 Křemičitý písek 60

Demoobjekt 4 Křemen 60

Demoobjekt 5 Křemičitý wafer 61

Kapitola 8 Čím menší částice, tím větší účinek 62

Pokus 14 Plivání ohně s malými částicemi 63

Předmluva

Již od roku 2002 vyvíjí NanoBioTech pokusy pro školy v oblasti nanotechnologie. Produkt NanoToolBox, který vznikl v roce 2004, představuje první žákovský kufřík pro pokusy v oblasti nanotechnologie v Evropě.
Díky dosavadním zkušenostem, pozorování nových produktů na trhu, výzkumu a v neposlední řadě díky zpětné vazbě od učitelů, kteří se již v pokusech s nanotechnologiemi angažovali, se nám podařilo vyvinout tento nový kufřík – NanoSchoolBox.

Finanční podporu pro vytvoření tohoto pokusného kufříku poskytlo Ministerstvo hospodářství spolkové země Sársko a Fond Evropské komise pro regionální rozvoj (EFRE).

Popisy pokusů Vám pomohou strávit několik zajímavých hodin v nanokosmu. Některé z prezentovaných pokusů jsou vhodné jako demonstrační experimenty, jiné mohou být pod vedením pedagoga začleněny do výuky jako pokusy „learning by doing“ i bez nákladné přípravy.

Pokusy s NanoSchoolBox jsou určeny především pro výuku chemie. Na základě interdisciplinárního charakteru nanotechnologie jsou však některé pokusy vhodné i pro výuku fyziky nebo biologie. Protože se učební plány jednotlivých zemí liší, nemůžeme poskytnout univerzální doporučení, kdy má být příslušný pokus proveden. Zde se opíráme o důvěru v odborné znalosti učitelů. Pokud byste chtěli použít všechny pokusy kufříku NanoSchoolBox kompaktně, doporučujeme Vám zařazení projektového dne na Vaší škole, do něhož se mohou jako tým zapojit i sami žáci.

Pokusy byly vyvinuty se záměrem srozumitelně přiblížit nanotechnologii žákům. Proto musí být co nejbezpečnější a transparentní, takže vystačí s poměrně jednoduchými přírodovědnými základy. Proto sem bylo zahrnuto několik pokusů, které s „nano“ (tedy s použitím nanosystémů) přímo nesouvisí. Přesto reprezentují efektivní způsob popsat a vysvětlit účinky v oblasti nanotechnologií.

Budeme rádi, když se na nás obrátíte se svými dotazy, podněty i kritickými připomínkami, protože bychom chtěli pokusy neustále rozvíjet a zlepšovat i v budoucnu. NanoBioNet představuje jako obecně prospěšná instituce síť výzkumných ústavů, podniků a sponzorů z oblasti hospodářství a technologie. Vedle koordinace sítě s více než 100 zařízeními organizuje NanoBioNet e.V. v rámci své informační a veřejné práce aktivity v oblasti nano- a biotechnologie, jako například další vzdělávání učitelů a stáže pro žáky, ale i vzdělávací akce pro laboranty, techniky, akademiky a manažery.

Velkým přáním NanoBioNet e.V. je vzbudit zájem o fascinující svět nejnovějších technologií u mladých lidí. Pokud se podaří nadchnout mládež pro nanotechnologie a biotechnologie, můžeme cíleně čelit nedostatku mladých vědeckých a technických pracovníků v této oblasti a přiblížit mladým lidem perspektivní pracovní oblast.

NanoBioNet poskytuje svým členům možnost navázat kontakty na různých úrovních a vyměňovat si poznatky. Máme neustálou radost z nových členů, ať už to jsou instituce nebo jednotlivci. Pokud jde o nanotechnologie a biotechnologie, jste u nás na správném místě.

NanoBioNet přeje Vám i Vašim žákům hodně radosti při pokusech!

Martin Monzel, jednatel NanoBioNet e.V.

Co je nanotechnologie?

Z oborů fyzika, chemie, biologie, medicína a nauka o materiálech se v posledních desetiletích vyvinula mezidisciplinární věda – nanotechnologie. Usiluje o to, aby byly procesy nebo komponenty v nano-měřítku s technickými prostředky použitelné v oblasti vědy a průmyslu.

Technologické přístupy se dlouho zaměřovaly na to, aby se miniaturizovaly struktury (přístup top-down), například dostat nejmenší struktury z bloku materiálu. Metoda nanotechnologie je však úplně jiná. Zkoumají se základní mechanismy a principy, které se podle daných možností techniky využívají tak, že vznikají nové funkční systémy. Cílem je od základu „načrtnout" nejmenší struktury v oblasti nanotechnologií a z nich opět vytvořit větší (metoda bottom-up). Metoda, kterou ostatně příroda praktikuje už miliardy let. Tak se v průběhu evoluce vytvářely z aminokyselin proteiny, mikroorganismy a jednobuněčné útvary, ze kterých později vznikly mnohobuněčné a nakonec vyšší organismy. Tento vývoj ovšem trval velmi dlouho. Od pralátky po homo sapiens bylo potřeba několika miliard let.

Předpona „nano" je odvozena z řeckého slova „nanos", což znamená „trpaslík" nebo „trpasličí". Jde o miliardtinu, tedy o 10^{-9} = 0,000000001. Nanometr odpovídá miliardtině metru, milióntině milimetru nebo tisícině mikrometru.

Funkční vlastnosti materiálu jsou u velmi malých rozpínání závislé na rozměrech. Tak například vlastnosti jako tvrdost, elektrická vodivost, barva nebo chemická reaktivita nejmenších částic libovolných materiálů závisí přímo na průměru částice.
Nanočástice leží v rozmezí mezi izolovanými atomy a pevným tělesem. Nejsou už například schopny šířit viditelné světlo, jsou příliš malé. Již dnes hrají nanočástice důležitou roli ve farmaceutických systémech polohování účinných látek, ve výrobě disperzních barev a v kosmetice či v optimalizaci katalyzátorů. Nanotechnologie vlastně není noc nového. Částice s velmi malými rozměry jsou známé už dávno. V chemii koloidů se například pracuje již dlouho s nanomolekulami.

Velmi malé částice vznikají v přírodě odjakživa, například sopečnou činností, v moři (eroze), při větrných bouřích, létání pylu, při požárech lesů či křoví.

U přírodních zdrojů požárů přitom mohou být částice menší než 1.000 nm. Částice, které se vyskytují v mořích, dosahují rozměrů až 10.000 nm.
Dalšími zdroji částic jsou průmyslové procesy, získávání energie (zejména elektrárny a teplárny), doprava, stavebnictví a domácnosti (vytápění domů). Při spalování tuhých paliv se uvolňují velmi malé částice v řádech až do 500 nm. Existovala tedy na naší zeměkouli nanotechnologie vždycky?

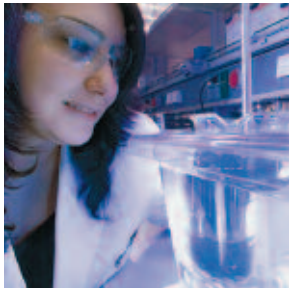
Ne, protože nanotechnologie pracuje s ještě menšími rozsahy. V nanotechnologii se dosahuje specifické funkčnosti zmenšením na charakteristické strukturální rozměry, které jsou menší než 100 nm. Pojem nanotechnologie je tedy souhrnným pojmem pro celou řadu technologií. Je založen na rozsahu, který je stejný pro všechny výzkumné oblasti nanotechnologie, od jednotlivého atomu až po strukturu o velikosti 100 nanometrů (nm). Stanovení nanorozsahu na interval 1-100 nm je smysluplný, protože v tomto délkovém rozsahu se objevuje velký počet zcela nových funkcí. Pod nimi leží jednotlivé atomy a molekuly, nad nimi mikrotechnologie.

Dnes se často diskutuje o tom, zda se mají nanovrstvy vyloučit z definice nanotechnologie. Nanovrstvy odpovídají nanorozměrům jen v jedné dimenzi, a to v tloušťce. Omezením na nejméně dva nanorozměry (dvourozměrně: např. nanodráty nebo nanovlákna,

trojrozměrně: např. nanočástice) by se vyloučilo, že obyčejný film na povrchu, který má tloušťku jen několik nanometrů, už označíme jako nanotechnologický produkt. Úplně jednoduchá však tato záležitost není: Pokud by byly v nějakém laku obsaženy nanočástice, jednalo by se už opět o nanotechnologii ve „třetí dimenzi“.
Aktuálně je ovšem velmi rozšířená definice nanotechnologie včetně procesů „s jednou dimenzí“.

Vidíme tedy, že dnes není tak snadné zařadit, co do nanotechnologie patří a co ne. Co nanotechnologie nakonec dělá, je cílené a multidisciplinární využívání přístupů k vytváření nanosystémů.

Jako prvního skutečného průkopníka nanotechnologie z dnešního pohledu je třeba jmenovat amerického fyzika a nositele Nobelovy ceny Richarda Feynmana. Jeho úvahy byly vizionářské potud, že se technická realizace „Feynmanových strojů“ (tj. velmi malých strojů a nanorobotů) jevila jako velmi dlouhá, ale v několika případech zcela nereálná. Sám Feynman pojem „nanotechnologie“ nepoužíval, ale v roce 1974 ho zavedl Japonec Norio Taniguchi. Tento termín používal pro technologie, které jsou vhodné k tomu, aby kontrolovaly nerovnost povrchu materiálů na sub-mikrometrových délkových stupnicích.
Mezníkem byl v roce 1981 vývoj rastrového tunelového mikroskopu, protože s tímto přístrojem se poprvé



podařilo zobrazit jednotlivé atomy a nejen celou skupinu atomů. Gerd Binnig a Heinrich Rohrer z výzkumné laboratoře IBM byli v roce 1986 za vyvinutí přístroje vyznamenáni Nobelovou cenou za fyziku. Význam tohoto vynálezu spočívá v tom, že rastrový tunelový mikroskop se stal výchozím bodem pro řadu nástrojů, které umožňují analyzovat látky na úrovni molekul a atomů a také s nimi zacházet. Dnes už si neumíme rastrové sondážní mikroskopy jako standardní nástroje od výzkumu, vývoje a výroby odmyslet.

Od lotosového efektu k technickému použití nanovrstev

Jako vzor pro nové technologie si bere člověk rád takové struktury, které vyvinula příroda v průběhu evoluce. V bionice a nanotechnologii se pro svůj odperlovací efekt na povrchu svých listů odpuzující špínu a s tím spojeným půvabným vzhledem stal velmi známým lotos. Tento takzvaný lotosový efekt není náhodným doprovodným jevem – vznikl jako výhoda pro přežití rostliny v průběhu evoluce.

Rostliny jsou v přírodě vystaveny různým typům znečištění. Většina jich má anorganickou povahu (různé druhy prachu, saze), ale jsou i biologického původu (např. výtrusy hub, medovice, řasy). Anorganické látky mají hned několik negativních účinků na živé tkáně rostliny, například větší zahřátí působením slunečního záření, vyšší kyselinotvorný účinek nebo možnost uzavření štěrbinových otvorů, kterými rostlina realizuje svoji výměnu plynů. Důležitou roli pro rostlinu dále hrají organické částice, jako jsou výtrusy hub, bakterie nebo řasy. Mohou vést k onemocnění nebo poškození povrchu listů rostlin.

Lotosový efekt nabízí rostlině elegantní možnost, aby se těchto problémů zbavila. Zabraňuje tomu, že se látky na povrchu vůbec mohou usadit. Déšť smývá spory, a pokud by někdy delší dobu nepršelo, chybí nevítaným návštěvníkům potřebná voda ke vzklíčení.

Jak přesně probíhá toto „přirozené čištění“?

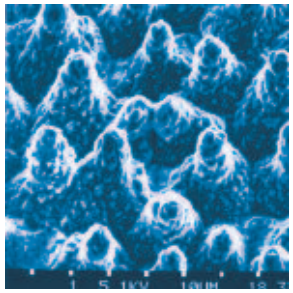
Všechny rostlinné povrchy listů mají v podstatě stejnou strukturu: Vnější buněčná vrstva (epidermis) je pokryta kutikulou, která chrání rostlinnou tkáň před ztrátou vody a zvyšuje mechanickou pevnost epidermu. V ní jsou uloženy směsi různých lipidů, které označujeme také jako „vosky“. Ty činí kutikulu pro vodu nepropustnou a ve velké míře omezují propustnost vodní páry. Voskem, který se v přírodě hojně nachází, je kutin, který se vyskytuje v krystalické formě a často je makroskopicky rozeznatelný jako bělavý, smývatelný povlak, například na vinných hroznech.

Listy rostlin se značně liší svojí schopností zvlhčení. Některé druhy mají listy, které nelze tekutinami zvlhčit. Na těchto listech se snižuje nejen adheze vody na povrchu, ale i adheze špíny. Pokud stéká vodní kapka po volně přiléhajících částečkách špíny, drží se tyto částečky na povrchu kapky. Kapka strhne částečky s sebou a odstraní je z listu.

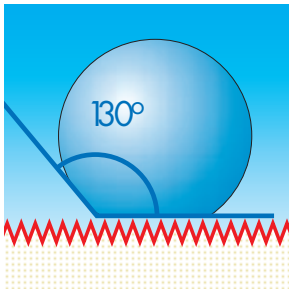
Mnoho lidí si myslí, že čím je povrch hladší, tím snáze se dá vyčistit. Když však pozorujeme list lotosu pod rastrovým mikroskopem, vidíme „nerovné“ krystalky vosku, které vlastně povrch listu dělají hrubším. Krystalky nemůžeme vidět pouhým okem, a nahmatat je také nemůžeme. V obrázku pořízeném elektronovým mikroskopem jsou fantasticky působivé mikro- a nanostruktury, kterém jsou pro určité listy rostlin charakteristické.

Neschopnost zvlhčení je v zásadě vždycky spojena s nanostrukturou povrchu. Fyzikální příčinou nemožnosti zvlhčení je poměr mezního povrchového napětí vody ke vzduchu., vody k pevnému tělesu a pevného tělesa ke vzduchu. Příslušná konstelace poměrů mezi sebou určuje kontaktní úhel kapky k pevnému tělesu. Podle fyzikální definice je pak povrch hydrofilní tehdy, když je kontaktní úhel ke kapce menší než 90 stupňů. Pokud je úhel větší než 90 stupňů, pak je povrch hydrofobní (odpuzující vodu, tedy nelze jej zvlhčit). Při úplné schopnosti zvlhčení – tady je kontaktní úhel 0 stupňů – vytvoří voda na povrchu pevného tělesa monomolekulární film a kapka vody je maximálně rozptýlena.

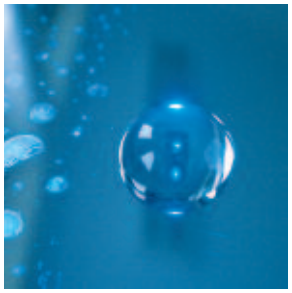
Při kontaktním úhlu 180 stupňů (ten se však v přírodě nevyskytuje) by se kapka dotýkala povrchu pevného tělesa teoreticky jen v jednom bodě. Pro běžné, vodu odpuzující povrchy (např. teflon) je maximální kontaktní úhel 120 stupňů.
Existují hydrofobní povrchy, u kterých může kontaktní úhel dosáhnout 170 stupňů. Tyto povrchy označujeme jako superhydrofobní. Vodní kapka se nemůže na těchto minimálně drsných, vodu odpuzujících površích rozprostřít. Na základě svého vlastního povrchového napětí se stáhne do kuličky. Adheze, která kapku drží na povrchu listu, je snížena na minimum. To umožní kapce, aby už při nejmenším sklonu povrchu odkutálela z listu pryč.



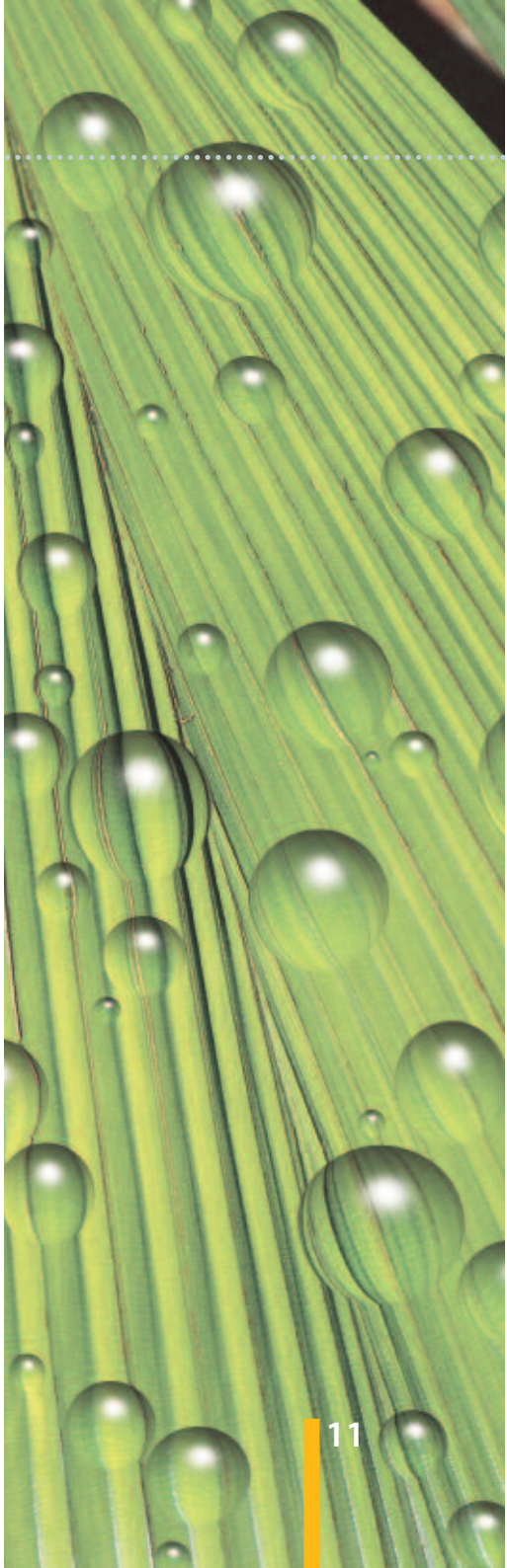
Snímek lotosového listu pořízený rastrovým sondážním mikroskopem



Kontaktní úhel 130°



Kapky na superhydrofobní ploše Foto. Nano-X GmbH Saarbrücken



Vedle lotosu existuje ještě značné množství jiných rostlin, například leknín, zelí, kontryhel či řeřicha, které mají takto hydrofobní povrch listů.

Podobný jev najdeme i ve světě zvířat. Tak například chrobák má takzvaný povrch „easy to clean“. Tito živočichové žijí v hromadách hnoje či půdy, tedy v bezprostředním okolí vylučování jiných zvířat. V tomto prostředí se to hemží tisíci mikroorganismy, které mohou chrobákovi škodit. To by se jim také téměř podařilo, protože jeho neohebné a krátké končetiny a velmi tuhý vnější skelet způsobují, že je tento brouk tak neobratný, že se sám nemůže „očistit“. Nemá šanci čistit svůj krunýř.

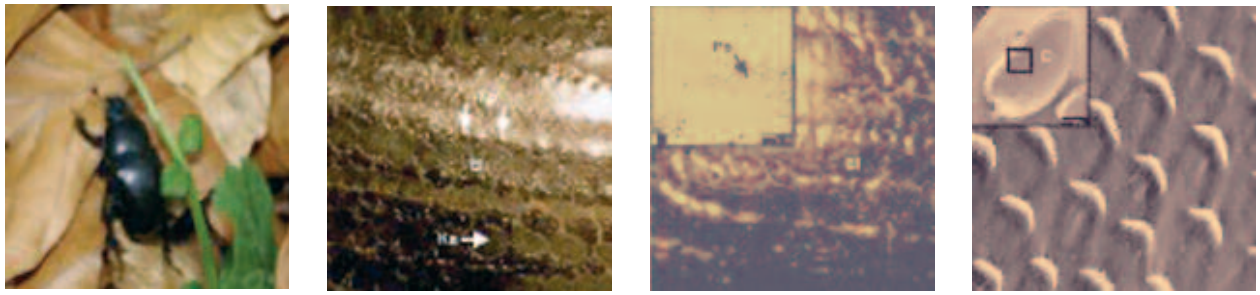
Evoluce to však s ním myslela dobře. Dala mu možnost, aby i přes svůj nečistý životní prostor zůstal čistý. A to funguje pomocí nanotechnologie. Když pozorujeme povrch jeho krunýře elektronovým mikroskopem, narazíme na perfektní nanostrukturu, která je velmi podobná struktuře lotosu. Společně s voskovitým sekretem si chrobák vytvořil povrch, který se dá snadno čistit a na kterém se nemůže držet špína nebo jiné mikroorganismy. Dalšími příklady pro výskyt „nanopovrchů“ ve světě živočichů najdeme u křídel hmyzu, např. u vodních vážek nebo motýlů. Vědci se pokoušejí využít vlastností povrchů, které se v přírodě vyskytují, tím že realizují a modifikují podobnou fyzikálně-chemickou strukturu, aby ještě zvýšili požadovaný efekt. Z těchto vědeckých přístupů vznikly krycí materiály s funkčními vlastnostmi.

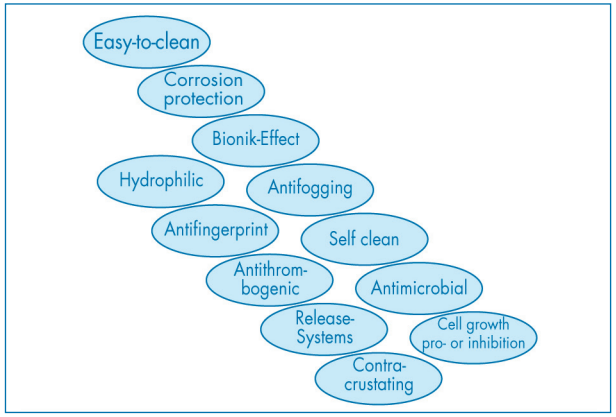
Krycí vrstva, která se nanáší na materiál, je silná jen několik nanometrů a skládá se v zásadě z organické a anorganické složky. Jako anorganické komponenty se často používají oxidy křemíku, zirkonu nebo titanu, které jsou začleněny do organické matice (většinou organické rozpouštědlo). Navíc se mohou podle požadavků do matice vložit nanočástice ze stejných materiálů, pomocí nichž se dá dosáhnout různých typů funkčností.

Tento systém nejdříve nevypadá nijak zvlášť komplexně. Klíčem k úspěchu je přesné složení látek, které podle poměru směsi určí, jakých efektů je možno dosáhnout. Tento poznatek si výzkumné ústavy a podniky chrání jako poklad – a nechávají si jej patentovat.

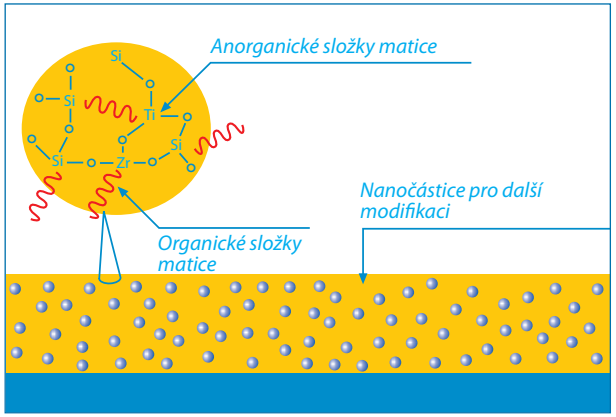
Pomocí nanovrstev je dnes možno dosáhnout mnoha účinků, a tyto „krycí vrstvy“ patří k nanoproduktům první generace. V následujících pokusech se nejdříve budeme zabývat hydrofobními a hydrofilními vrstvami.

Povrch chrobáka v různém poměru zvětšení.
Foto: Sarastro GmbH, Göttelborn

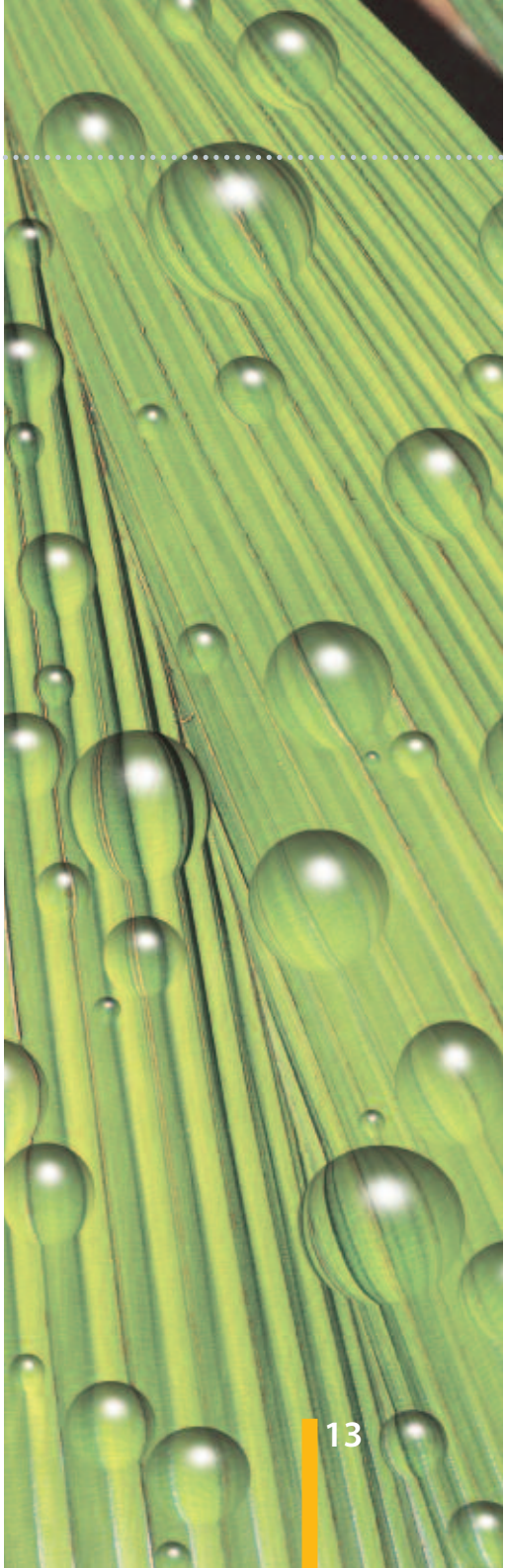




Příklady efektů v průmyslovém použití



Složení nanovrstvy
Grafika: Sarastro GmbH, Göttelborn



Pokus 1: Pokusy k lotosovému efektu

Popis pokusu

Cílem pokusu je zjistit, zda různé materiály obsahují hydrofobní povrch. K tomu shromážděte různé druhy papíru (např. vysoce lesklý papír z tiskárny, kancelářský papír pro psaní na stroji, papír používaný jako filtr při přípravě kávy) a různé části rostlin, jako např. listy trávy, řeřichy, kedlubny, kaučukovníku, hroznů, listy salátu či pampelišky. Pokud byste skutečně sehnali list lotosu, bylo by to optimální. Ale nemusí to být vždy lotos!

Materiál

Materiál z kufříku:
- pipety

Doplňkové materiály (nejsou součástí dodávky):
- různé druhy papíru
- listy rostlin
- pravítko s milimetrovým dělením
- jemný prach (jemně rozmělněná zahradní hlína), jemný popel (např. cigaretový) nebo saze
- voda z vodovodu

Bezpečnostní předpisy

- žádné

Provedení

1. Shromážděte (popř. se svou třídou) různé druhy papíru a listy rostlin.
2. Pokapejte vodními kapkami se stejným objemem (použijte pipety) papíry a listy různé struktury. Můžete to provést i s jinými povrchy, jako je sklo, dřevo nebo plast.
3. Průměr vodních kapek resp. skvrn měřte pravítkem. Čím víc je povrch hydrofobní, tím menší je průměr kapky a tím větší je její vyklenutí.
   Vodní kapku zcela nasaje filtrovací papír, takže jde o hydrofilní povrch.
   Na vysoce lesklém papíru je průměr kapek velmi malý, vyklenutí velmi značné. Najděte listy rostlin, které mají vysoký třpytivý účinek.
4. Na ty rostlinné listy, které vykazují třpytivý účinek, dáme prach nebo popel. Na tyto znečištěné plochy pak nakapeme pomocí pipety několik kapek vody a papír nakloníme tak, aby kapky mohly odkapávat. Špinavé částečky jsou zachycovány ve vodních kapkách. Kapka zanechá na znečištěném papíře čistou stopu.
5. Nyní třete prstem list rostliny (ne příliš silně, aby se neroztrhal!). Pokud teď znovu nanesete pipetami vodu na papír, zjistíte, že se třpytivý efekt značně snížil nebo dokonce úplně porušil.