

Hatvan éve kezdődött a nanokutatás – textilipari vonatkozások

Kutasi Csaba

A **nanosz** görög eredetű szó, jelentése: törpe. A **nano** előtag azt jelenti, hogy adott mértékegység az **alapegység egymilliárdod része: 1 nanométer (nm) = 10^{-9} méter**. A nanotechnológia területére a 0,001–0,1 μm ($\mu\text{m}=10^{-6}$ méter) nagyságrendű méretek jellemzők. Az emberi hajszál átmérője mintegy 80 μm , azaz 200-szor vastagabb, mint egy átlagos nanoszál. A **nano** prefixum érzékeltetéseként: az emberi köröm átlagosan 1 nanométert nő 1 másodperc alatt, 1 nanoszekundum szükséges a fénynek, hogy megtegyen 30 cm-t a levegőben, 1 nanoszekundum a ciklusideje egy 1 GHz-es processzornak.

A nanotechnológia az anyag manipulálásával foglalkozik (legalább egy dimenzióban 1–100 nanométeres, atomi, molekuláris és szupramolekuláris tartományban). Amennyiben nanorészecskéket tartalmazó anyagokkal végeznek valamilyen – akár textilipari – technológiát, az csak nanoanyag felhasználásával történő innovatív eljárás.



1965-ben megosztott Fizikai Nobel-díjat kapott

Richard P. Feynmann

Richard Phillips Feynmann
(1918–1988)

1. kép

lemzők kisebb méretskálán történő befolyásolási lehetőségére. Az ismert fizikai törvényekre alapozva egy olyan technológiát vizionált, amely a természet alapvető, önszerveződő folyamatait reprodukálná, így lehetővé tenné a nanoobjektumok felépítését atomi méretekben.

1960-ban Mohamed Atalla egyiptomi mérnök, Dawon Kahng és Bell Labs koreai mérnök (2. ábra) elkészítette az első szigetelőréteges tervezérlésű tranzisztort (MOSFET – Metal Oxide Semiconductor – fémoxid félvezető). Ebben 100 nm volt az oxidréteg vastagság és 20 μm az ún. kapu (digitális logikai elem) mérete. 1962-ben ilyen célra már 10 nm vastagságú aranyfolia felhasználására nyílt lehetőség. 2006-ban a Koreai Tudományos és Technológiai Intézet



Mohamed Atalla



Dawon Kahng



Bell Labs

Az első szigetelőréteges tervezérlésű tranzisztor kifejlesztői, 100 nm-es vastagságú fémoxid réteggel

2. ábra

(KAIST) és a Nemzeti Nano Fab Központ koreai kutatóinak csapata kifejlesztett egy 3 nm-es MOSFET-et, a világ akkor legkisebb nanoelektronikai eszközét.

A „**nanotechnológia**” kifejezést Norio Taniguchi használta először 1974-ben. Az 1980-as években Eric Drexler kidolgozta és népszerűsítette a nanotechnológia fogalmát. Ebben azt időszakban két nagy áttörés váltotta ki a nanotechnológia növekedését (3. kép).



Norio Taniguchi



Eric Drexler

A nanotechnológia fogalmának kidolgozói

3. kép

- Először a pásztázó alagútmikroszkóp 1981. évi felfedezése volt kiemelkedő jelentőségű. Ez nemcsak az egyes atomok példátlan megjelenítését biztosította, hanem 1989-ben már felhasználták az egyes atomok manipulálására is. Az alagútmikroszkóp kifejlesztői Gerd Binnig és Heinrich Rohrer voltak (az IBM Zürichi Kutatólaboratóriumában), ezért 1986-ban fizikai Nobel-díjban részesültek (4. kép).



Gerd Binnig

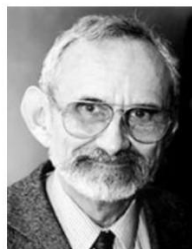


Heinrich Rohrer

Az alagútmikroszkóp kifejlesztői

4. kép

- Másodszor, a fullerének 1985. évi felfedezése Robert F. Curl, Harold W. Kroto és Richard E. Smalley részéről (5. kép). A fullerének az elemi szén mesterségesen előállított



Robert F. Curl



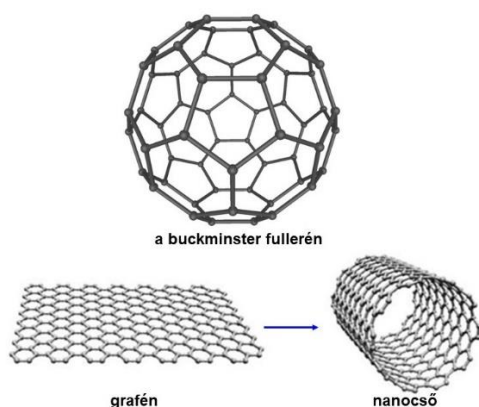
Harold W. Kroto



Richard E. Smalley

A fullerének Nobel-díjas felfedezői

5. kép



Az elemiszen mesterségesen előállított módosulataira példák

6. ábra

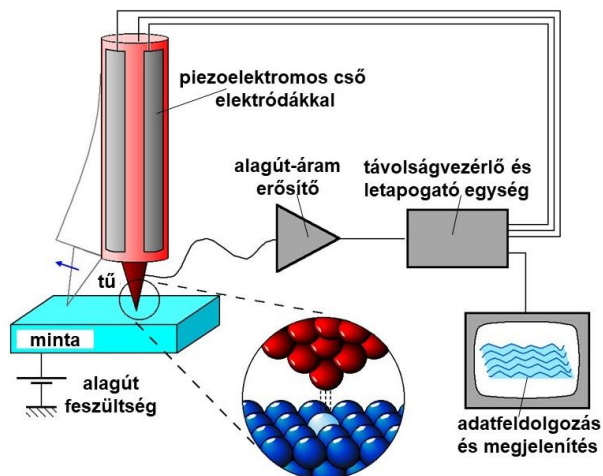
módosulatai (6. ábra), amelyek meghatározott, páros számú (60, 72, 84 stb.) szénatomból épülnek fel. Minden szénatom három másik szénatomhoz kapcsolódik; egyhez kettős, kettőhöz pedig egyes kötással, ezért csak páros számú atomokból kialakuló kalitkaszerű képződmények jöhetnek létre. A felfedezőik 1996-ban kémiai Nobel-díjban részesültek.

A *nanocsövek* olyan nanoméretű, belül üres, henger alakú szerkezetek, melyek falát egyforma vagy különböző, egymással kovalens kötással (közös elektronpár) kapcsolódó atomok hozzák létre. Pár nanométeres belső átmérőjükhöz képest hosszuk több tíz-, ill. akár százezerszerszeres is lehet. A nanocsövek fala egyetlen szénatom átmérőjének megfelelő vastagságú.

A *grafén* méhsejtszerűen egymáshoz kapcsolódó szénatomokból álló, 0,3 nm vastagságú réteg (egy atomnyi méret), amely ultravékony (átlátszó), hajlékony, hőt- és elektromosságot vezető, kopásálló, gázt nem áteresztő, az acélnál nagyobb szilárdságú mesterséges szénmódosulat.

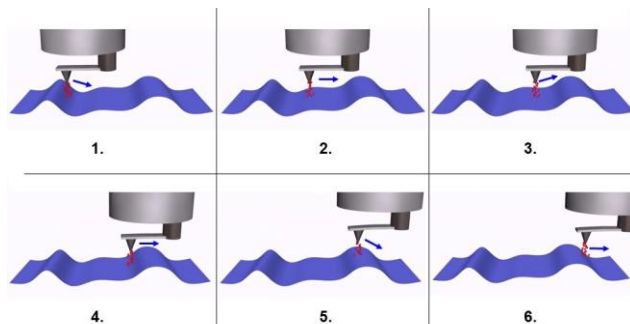
A pásztázó alagútmikroszkóp

A felületek atomi felbontású képalkotására a pásztázó alagútmikroszkóp (STM – Scanning Tunneling Microscope) alkalmas, amely az alagúthatás alapján működik és alkalmazható az atomok egyedi mozgására is (7. ábra). Az alagúthatás olyan jelenség, amikor a vezető tűt nagyon közelre (nanométer nagyságrendben) irányítják a vizsgálandó felülethez, így a tárgy és a tű között



Az alagútmikroszkóp elvi felépítése

7. ábra



Így pásztázza a felületet az alagútmikroszkóp

8. ábra

jelenlévő elektromos tér hatására az elektronok fognak „alagutazni”. Ez a bizonyos alagutazás arra utal, hogy tárgyból a negatív elektron nem jön ki a tűt alkotó atom pozitív magja által keltett potenciálkútból, hanem a gerinc alatt „fürt” alagúton jut át az atommag által keltett potenciálvölgybe. Külső beavatkozás nélkül, az elektronok átugrálása azonos valószínűséggel történik mindkét irányban (az eredő áram nulla). Elektromos teret létrehozva azonban a minta és a tű között, a tér kiválaszt egy alagutazási irányt, amely kedvezőbb lesz (ez olyan, mintha egy alagút lejtene valamelyik irányban).

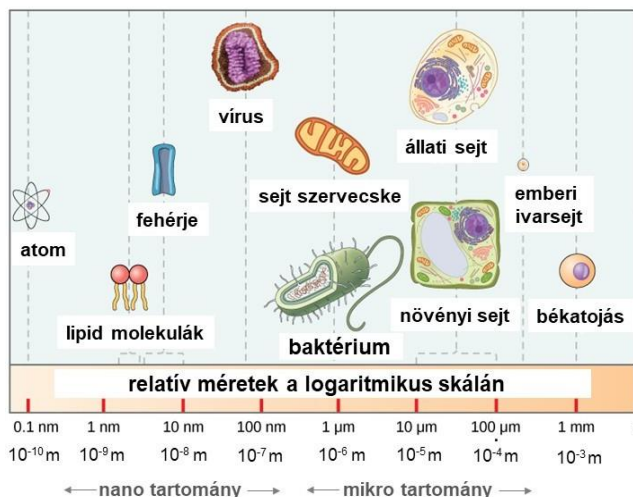
A mérhető alagútáram nagysága az egyetlen atomban végződő, volfrám, arany, vagy platina-iridium anyagú tű pozíciójától, az alkalmazott feszültségtől és a vizsgálandó minta felületi sűrűségétől függ. A felületet atomnyi távolságban pásztázó tű (amellyel a minta atomjainak elektronfelhői részben átfedettek), és a vezető felület atomjai között folyó áram teszi lehetővé a képalkotást.

Az alagútmikroszkóp (amely nem csak vákuumban, hanem levegőn, vízben, vagy más közegben is használható) oldalirányú felbontása 0,1 nm, mélységi felbontása 0,01 nm. Így egyedi atomok megjelenítésére és rendezésére nyílik lehetőség. A felületről információként érkező alagútáramot (a tű és a minta közötti 0,1 nanométeres távolságváltozás tízszeres áramváltozással jár) számítógép értékeli ki, ennek alapján kiváló kép nyerhető. Két tű alkalmazásával még jobb minőségű kép érhető el. (8. ábra).

A felbontás korlátja a tű görbületének sugara. Örvényáramok korlátozása is része a technológiának. Képfeldolgozó szoftverek segítségével tovább lehet növelni a képi hatást, akár 3D-ben is. Az alagútmikroszkóp felhasználásával felületek nanomanipulációja is lehetővé válik.

A nanotechnológiák lényege

A nanotechnológia az anyag manipulálásával foglalkozik (legalább egy dimenzióban 1–100 nanométeres, atomi, molekuláris és szupramolekuláris tartományban) (9. ábra). Ennek legkorábbi változatát ma molekuláris nanotechnológiának is nevezik. A kvantummechanikai hatások meghatározók, így olyan kutatási kategóriáról van szó, amely magában foglalja az adott méretközű emberi tevékenységet. A nanoeljárások lényege: olyan analitikai vagy megmunkáló eszközök használata, amelyek alkalmasak 100 nm-t meg nem haladó pontossággal történő anyagelőállításra, mozgásuk detektálására, ill. mérésére. A nano szakterület többek között nanopórusú anyagokkal, nanocsövekkel, nanorétegekkel foglalkozik, továbbá a dendrimerek (elágazó molekulák) és kvantum pontok elemzésével, jellemzőik meghatározásával.



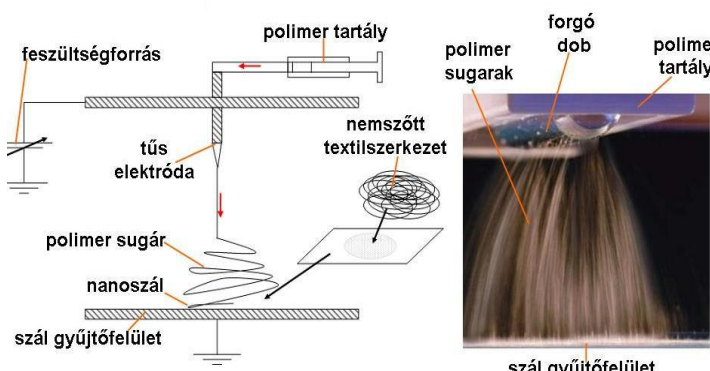
A nanotartomány a méretskálán

9. ábra

Nanoszálak

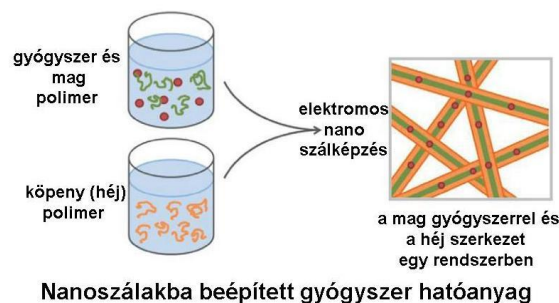
Az emberi hajszálnál kétszázszor vékonyabb nanoszálakat folyékony halmazállapotú polimerből állítják elő elektromos szálképzéssel, az egyik elektródát jelentő csőves tű végén képzett parányi csepp a kiinduló anyag. Az elektropray ionizációs módszerrel a folyadék rengeteg apró töltött cseppre bomlik, majd egy kapillárison átréselve magas feszültségű térbe kerül. A folyékony polimer a 30 kV-ot meghaladó nagyfeszültségű térben feltöltődik, és amikor az elektromos télerősség eléri a 100 V/cm körüli értéket, akkor legyőzi a felületi feszültséget, és a 0,1–1 mm átmérőjű tű nyílásán megindul a csepp áramlása. Az egyre közelebb kerülő ellentétes elektróda következtében a töltéssel rendelkező polimerreszecske kotta folyadékáram felgyorsul, egyre vékonyodik. Egyúttal ostromozás is jön létre, tovább finomítva, hosszabbítva a készülő nanoszálakat. Ezek nagyon kis, 500 nm-nél kisebb átmérőjű szálak, a belőlük készülő nemszőtt jellegű szálrendszert nagy fajlagos felület, kis pórusméret és nagy porozitás jellemzi (10. ábra).

A gyógyszeriparban a kismolekulájú hatóanyagok mellett egyre jobban terjednek a nagymolekulájú vegyületek is. A polimer – pl. fehérje – alapú gyógyszerek könnyebben bomlanak, mint egyébként a polimerok. Az érzékenységi miatt a hatóanyagot nanoszálba építik be, így az előállítás közben is megőrizhetők a fontos tulajdonságok. A használat során szabályozottan lebomlik a héj, így a hordozóból felszabadul a hatóanyag. Pl. a poli-tejsavko-glikolsav (PLGA) kopolimer nanoszálak lebomlásával



A nanoszál előállítás elve

10. ábra



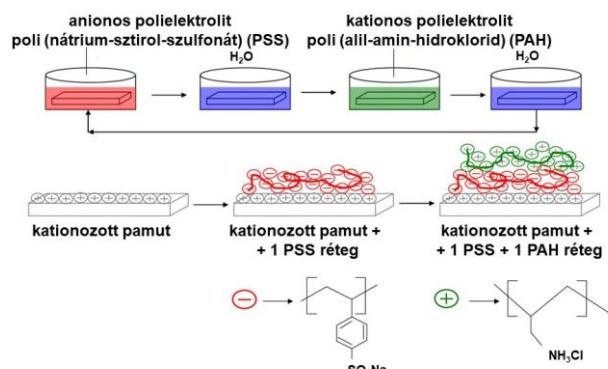
11. ábra

programozott hatóanyag felszabadulás is megoldható (11. ábra).

Önfelépítő nanoréteg textilanyagon

A különböző textilanyagokra (pl. természetes vagy mesterséges szál alapú szövetekre, kötött ill. nemszőtt-kelmékre) felvitt funkcióanyagok (pl. valamely védelmi képesség eléréséhez) több fajtája és eljárása (telítéssel, kenéssel) régebb óta ismert. Az önfelépítő nanoréteg/ek/ből kialakított „leheletnyi” rétegek esetén a polimer bevonatanyag molekulái 1 nm-nél vékonyabb felületet képeznek a textilanyagon. Az egymásra rakódó polimer nanorétegek felépülését befolyásolja többek között a láncmolekulák alakíthatósága (pl. mennyire hajlékonyak), a molekulatömeg és a töltésátviteli képesség.

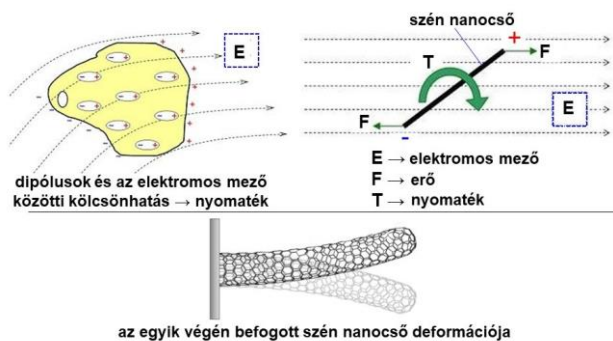
A rétegekialakítás előtt a bevonandó anyagot (pl. pamutszálat) töltéssel látják el (pl. pamutot kationizálják, pozitívvá töltilik), ezután az alapra majd egymásra, ellenkező töltésű ionokat tartalmazó, oldott polimereket hordanak fel nanotechnológiával (12. ábra).



Önfelépítő nanorétegek kialakítása pamutszálon pozitív és negatív töltésű polielektrolitok váltakozásával

12. ábra

A nanoszerkezetű anyagok kialakításában jelentős szerepe van az elektrosztatikus erőknek, amelyek iránya a nanotárgy alakjától függ. A nanoanyagokban a szén nanocsövekben (mint egyik végükön rögzített gerendaszerű szerkezetek) meg végbe az elektrosztatikus alakváltozás. A molekuláris dipólmomentum és az elektromos mező között létrejött kölcsönhatás indukált nyomatókat hoz létre. A konzolos nanocső az elektromos mező irányának megfelelően deformálódna, azonban az elektromosan indukált nyomatók és merevség kölcsönhatása lesz meghatározó. Az elektromanipuláció, a nanoelektromechanikus rendszerek előállítása területén ezek meghatározók (13. ábra).



Az elektrosztatikus erők hatása a nanotechnológiában

13. ábra

Lehetséges olyan réteg kialakítása is, amely képes önmagát kijavítani, a hiányossá vált bevonatot pótolni.

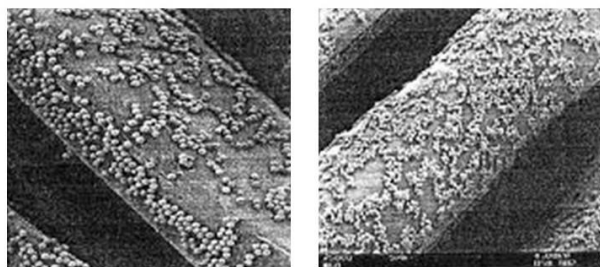
Adott – főként mesterséges – szálak felületén levő saját molekulákból, azok célirányos nanotechnológiai rendezésével is létre lehet hozni speciális képességű réteget. Az így kialakuló, 10–30 nm vastagságú réteg a tömbanyag tulajdonságaitól eltérő képességekkel rendelkezik.

Nanotechnológiai anyagok szálakban, textilfelületeken

A különböző nanoméretű részecskék (pl. fémoxidok, korom, agyag stb.) alkalmazása korábban is ismert volt, de nem nanoméretben. Ezek főként mesterséges szálakba (poliészter, poliamid, poliolefin) történő bevitelével megfelelő elektromos- és hővezető képességet, antimikrobiális képességet, antisztatizálást, ill. szilárdságnövekedést, szívósságot lehet elérni.

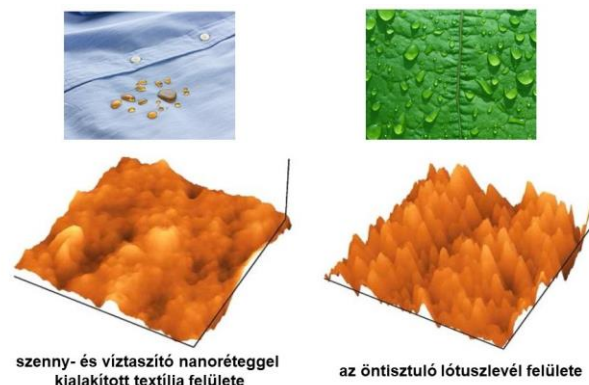
A nanorészecskék kis méretükkel csökkenthetik a láncmolekulák mozgékonyt, ezzel magyarázható többek között a mechanikai tulajdonságok javulása. A szén-nanocsővek szilárdsága 15-szöröse, tömegük csak egyhatoda az acélénak, elektromos vezetőképességük kiváló. Mint nagyszilárdságú vezetőképes szálak, felhasználhatók energiatároló, energiaátalakító berendezések előállítására. A szén-nanocsővekkel adalékolt polivinil-alkohol szál rendkívül merev, szívóssága hússzorosa a hasonló dimenziójú acélhuzalnak, ill. az egyes aromás poliamid szálakénak (védőmellények, biztonsági hevederek, a robbanásálló takarók készítésére alkalmasak).

Az agyag (montmorillonit) nanorészecskék vegyszerállóságot, elektromos szigetelőképeséget kölcsönöznek a szálaknak, nem engedik az ibolyántúli (UV) sugarak átérésztését (pl. a kompoziterősítő poliamid szálakban alkalmazás UV-védelem miatt), égésgátló képességet biztosítanak. A nananoezüst antimikrobiális képességet alakít ki. A titándioxid-mangánoxid nanorészecskékkel



17 µm átmérőjű poliészter szálak fémoxid nanorészecskékkel bevonva

14. ábra



Alagútmikroszkópos felvételek

15. ábra

adalékolt szál önsterilizáló hatású. Az egyébként szál formájában – zárt szerkezete és színezékmegkötésre alkalmas csoportok hiánya miatt – alig színezhető polipropilén az előzetesen beépített agyag nanorészecskék hatására megfelelő textilszínezékekkel (egyes savas, ill. diszperziós színezékekkel) színezhetővé válik. Adott nanorészecskék a szál felületére is felvihetők (14. ábra).

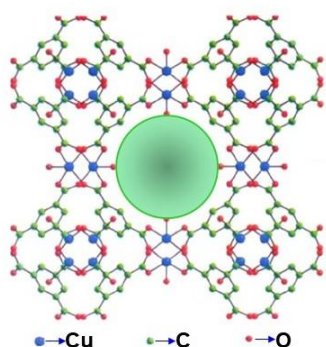
A kelmékre pl. emulgálással a nanoméretű kikészítőanyagok egyenletesebben vihetők fel. Így szenny- és víztaszító, ill. antisztatizáló képesség, lángállóság, antimikrobiális tulajdonság, UV-védelem, továbbá gyűrődés-feloldódó és méretállandósító hatás is elérhető. Megfelelő nanoréteg felhordásával lélegzőképes bevonat szintén kialakítható. Öntisztuló képesség is elérhető a lótoszeffektust biztosító nano-felületmódosítással. (A lótoszvirág leveleinek állandó tisztasága a felület parányi egyenlőtlenségeivel magyarázható: a nanoméretű „rűcskösség” következtében a szennyeződések lazán tapadnak, a legördülő vízcsepp ezeket magával ragadva eltávolítja.) (15. ábra.)

Célirányos nanoanyagokkal vegyszerekkel és biológiai hatásokkal szembeni hatás is kialakítható. Érdekes, hogy nanokristályos piezokerámia részecskék textíliára juttatásával a kelmét erő mechanikai hatások elektromos jellé alakíthatók, így a testen hordott ruházat közvetítésével pl. a szívritmus és a pulzusszám alakulása megfigyelhető.

A nanotartományú grafén (mint mesterséges szén módosulatból felépülő réteg) alkalmazása kapcsán kutatások folynak hővédő ruházatok anyagainak fejlesztésére, a textília felületmódosításával lángállóság érhető el és hatékonyan védhető a kelme a hőbomlástól, továbbá a ruházat könnyebb lehet. Ennek során pl. az anyagot kémiai gőzfázisú rétegleválasztással viszik fel sárgarézfóliára, majd a levett grafénréteg kerül a szálanyagára. A grafénréteggel bevont pamutszövet nemcsak elektromos vezetőképességű és nagyobb hőellenállású, hanem baktériumölő képességű is.

A nanoporózus fémorganikus vegyületek, főbb alkalmazási területek

Az önálló vegyületcsoportot alkotó fémoxid vázas, fémorganikus anyagok MOF (Metal-Organic Framework) elnevezéssel ismertek. Ezek a kristályos felépítésű „szervetlen-szerves” vázszervezetek két összehangolt egységből épülnek fel. Az egyik összetevő a fém, amely ion vagy klaszter fémion formájában van jelen. A másik felépítő rész általában merev, multifunkcionális szerves láncmolekulákból áll (ezt linkernek is nevezik). A hágományos



BTC → benzol-1,3,5-trikarboxilát

Példa fémorganikus vegyület felépítésére

16. ábra

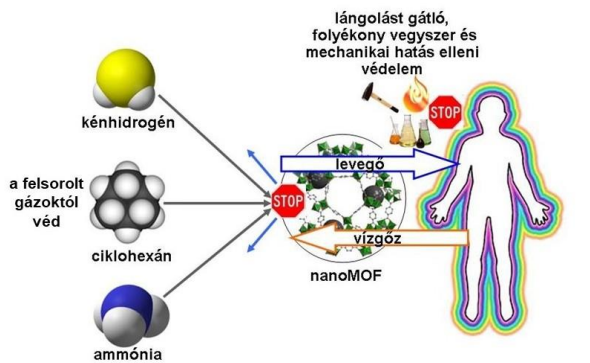
porózus anyagok (pl. zeolitok, aktív-szén, stb.) tanulmányozásával fejlődtek ki a MOF vegyületek.

A szervesetlen göbökből és az alkalmas szerves láncmolekulákból kialakított nagy porózitású hibridek felfedezésével különleges teljesítményjellemzőkkel rendelkező vegyületek nyerhetők. A zeolit-csoport ásványai molekulárisan kötött vizüket hevítés hatására elvesztik (dehidratáció), a képződő üregek molekulaszűrőként működnek.

A szintetikus fémorganikus vegyületek egyik jellemző képviselője a $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$ (a réz mellett a BTC a benzol-1,3,5-trikarboxilátra utal). Az oktaéderes kristályos szerkezetű anyagban előforduló pórusok 9,8 Å (az angstrom – mint nem SI mértékegység – a méter tízmilliárdod része; 10^{-10} m) átmérővel rendelkeznek. Egyes MOF anyagokból 1 gramm mintegy négy kockacukornyi térfogatot tesz ki, ezt kiterítve 5 ezer m^2 -nyi aktív felület nyerhető. Feltételezhető, hogy az egyes MOF-ok kemiszorpcióra is képesek működésük adott fázisában. A nanostruktúrált anyagok felhasználási területe széleskörű. Főként a fejlett, nagyteljesítményű, szelektív adszorpciót biztosító gázszűrő rendszerekben kerül előtérbe a MOF alkalmazása (16. ábra). Például:

Az ipari műveleteknél használt gázok tisztasága technológiailag alapvető fontosságú. Továbbá a levegőtisztaság megővését az elhasznált ipari gázok károsanyagmentes kibocsátásra is alkalmas. Egyes kutatások szerint az alkalmas MOF anyagok megkötő-képességével a légtérbe kerülő széndioxid mennyisége is csökkenthető.

A MOF alapú katalízis hasznosítása döntően ökológiai szempontból lényeges. Például a folyékony savak



17. ábra

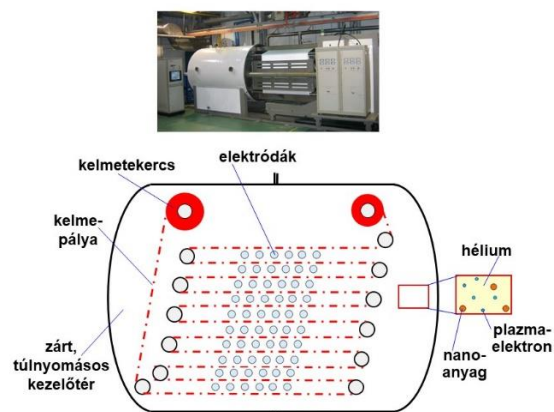
szilárd halmazállapotú katalizátorokra cserélésével a veszélyes folyékony hulladékok képződése elkerülhető.

Az optimális gázszűrést és komfortos viseletet megvalósító, pl. légáteresztő textilanyagú védőöltözékek kialakításához megfelelően kialakított textilalapú nano-MOF funkcionális réteg szükséges. Így a komforthiányos, tömören záró védőruhák kiválthatók (17. ábra).

Plazmakezelések a textiltermékeken

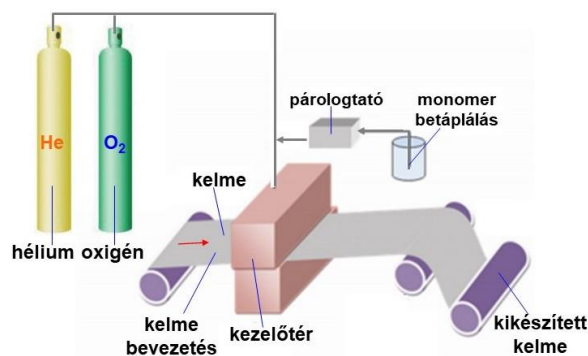
A plazma, mint az anyagok ún. negyedik halmazállapota régóta ismert, az univerzum 99%-a ilyen jellemzőjű rendszerekből épül fel. A mesterséges úton előállított plazmához (töltéssel rendelkező légnemű rendszerhez) gázkisülés szükséges. A plazma elnevezés a „kocsonyaszzerűen rezgő” állapotra utal, miután az ionoknál kétezerszer könnyebb plazma-elektronok az elektromos-ill. mágneses erőterben elsőként jönnek mozgásba. A plazmaállapotban az anyag rendkívül aktivált állapotban van, szerkezete kis rendezettségi fokú (pozitív- és negatív töltésű részecskék, szabad funkció csoportok, semleges atomok és molekulák egyaránt jelen vannak). A plazmatert optimális összetételű és minőségű kezelőgáz biztosítja (lehet oxigén, nitrogén, levegő, argon, argon+hélium, etán, hexafluor-etán+hidrogén, egyéb inert gáz). A kialakításhoz elsősorban szabályozott kisülést létrehozó elektromos és egyéb állapotjelzők szükségesek, a textilipari kezelésekhez főleg az ún. alacsony nyomású plazma bizonyult előnyösnek (az 50°C alatti plazmakezelését vákuumban végzik). Biztató kísérletek folynak az atmoszférikus, folyamatos plazmakezelések megvalósítására (18., 19. ábra).

Az atomi méretű plazmatechnológiák többféleképpen hasznosíthatók a textiliparban



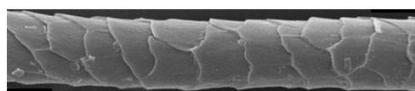
Zárt rendszerű textilanyag kezelő plazmaberendezés

18. ábra



Az atmoszférikus plazmakezelő elvi felépítése

19. ábra



a gyapjúsál pikkelyes felülete,
ez okozza a nem kívánatos nemezelődést



a gyapjúsál plazmakezelés után, a pikkelyek
élei legömbölyítettek, nem kapcsolódnak össze
a szomszédos szálak

A plazmakezelés hatása a gyapjúsál felületére

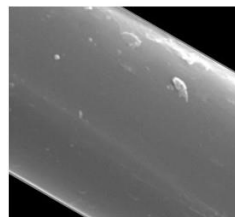
20. ábra

A szálanyag felszínének tisztítása a szervesszenyveződések, egyéb zavaró idegenanyagok eltávolításával. A gyapjúsál pikkelyrétegének kémiai beavatkozás nélküli változtatásával (élek legömbölyítése, cirádák tompítása) nemezelődéscsökkentés érhető el. A szintetikus szálak felszínének „hámozásával” – amelynek során apró kráterek alakulnak ki a szál egyébként sima palástján – megszüntethető a csillogóan fényes és műanyagjelleg, kedvezőbb fogás is elérhető (20., 21. ábra).

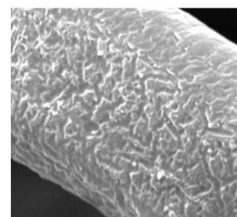
A szálfelszín aktiválása meghatározott kémiai csoportokkal, amelyek többek között fokozzák a nedvességfelvevő képességet (pl. pamutkelme színezéséhez előnyös), továbbá növelik a tapadóképességet, vagy elősegítik a biokompatibilitást az élőszervezetekkel tartós kapcsolatba kerülő textiltermékeknél.

A plazmatérben végzett kémiai jellegű szálfelületmódosítás lehetővé teszi igen vékony filmréteg tartós felvételét.

Plazmapolimerizáció megvalósítása a plazmán át gerjesztett gázszerű monomerek felhasználásával (pl. olaj- és szennytasztás, hidrofobizálás, lángolásgátlás, ill. égéscsökkentés elérése). Ilyen kezelés kész konfekcionált terméken is elvégezhető, a funkcionális képesség kiterjed a kellékekre (varrócérna, cipzár zárszalag stb.) is.



kezelés előtti csillogó,
műanyaghatású szálfelület



a szál felületének
„hámozásával” kedvező
hatások kialakulása

A plazmakezelés hatása poliészterszál felületére

21. ábra

Felhasznált irodalom

- [1] Textilipari Műszaki és Tudományos Egyesület: A Magyar Textil- és Ruhaipar Kutatás-fejlesztési és Innovációs Stratégiája, Nemzeti Technológiai Platform a textil és ruhaipar megújításáért, Budapest, 2009
- [2] Kutasi Csaba: Nanorészecskék és technológiák a textiltermékgyártásban, a BKIK Kézműipari Tagozata által szervezett I. Nano fórumon elhangzott előadás, 2012. május 24.
- [3] Kürti Jenő: Szén nanocsövek, Fizikai Szemle, 2007/3.
- [4] Kutasi Csaba: Méterárak és kész textiltermékek plazmakezelése, Textil Forum, 2012. március
- [5] Ann P. Dowling: Development of nanotechnologies.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369702104006285>
- [6] Scanning tunneling microscope
https://en.wikipedia.org/wiki/Scanning_tunneling_microscope
- [7] How will nanotechnology improve textiles?
<https://nano-magazine.com/news/2018/9/5/how-will-nanotechnology-improve-textiles>
- [8] Kutasi Csaba, Németh Andrea: Nanoporózus fém-organikus vegyületekkel kombinált, veszélyes gáz szűrésére is alkalmas katasztrófavédelmi védőruházatok kelmeanyag fejlesztései, Magyar Textiltechnika, 2011/4