

FÉLVEZETŐ-OXID NANORÉSZECSCKE, ILLETVE ŐRÖLT MWCNT-ALAPÚ  
VÉKONYRÉTEGEK ÉS SZUBSZTRÁTJAINAK JELLEMZÉSE

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

PAPP IBOLYA ZITA

TÉMAVEZETŐK:

PROF. DR. KUKOVECZ ÁKOS

PROF. DR. KÓNYA ZOLTÁN



KÖRNYEZETTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM

TERMÉSZETTUDOMÁNYI ÉS INFORMATIKAI KAR

ALKALMAZOTT ÉS KÖRNYEZETI KÉMIAI TANSZÉK

SZEGED

2023

## 1. ELŐZMÉNYEK ÉS CÉLKITŰZÉS

A félvezető fém-oxidok, szén nanoszerkezetek, vezető polimerek olyan anyagok, amelyek az elektronikai, szenzorikai területen egyre növekvő figyelmet kapnak egyedi tulajdonságaik és alkalmazási lehetőségeik miatt. A cink-oxid (ZnO) egy széles tiltott sávval rendelkező félvezető, különleges vezetési és optikai tulajdonságokkal bír. A többfalú szén nanocsövek (MWCNT) magas mechanikai szilárdságot és kiváló elektromos vezetőképességet biztosítanak, a PEDOT:PSS pedig egy szerves-szervetlen kompozit szenzorokban egyre gyakrabban alkalmazott polimer. Mindhárom anyag számos elektronikai alkalmazásban, például napenergia-cellákban, érzékelőkben és tranzisztorokban is használható. A felsorolt anyagok együttes alkalmazása magas elektronmobilitást, kiemelkedő mechanikai tulajdonságokat és jó elektromos vezetőképességet eredményezhet. A félvezető oxidokat, nanocsöveket és vezető polimereket tartalmazó szenzorok alkalmazási lehetőségei napjainkban egyre bővülnek, a megfelelő kompozitokkal új felhasználási utak nyílnak meg. Bár a nanoszenzorokkal egyre szélesebb körben foglalkoznak és az iparágból származó globális bevétel rohamosan nő, számos lehetőség nyílik fejlesztésekre.

A főleg alapkutatói jellegű munka kiterjedt a különböző nanorészecskék, szubsztrátok vizsgálatára, de emellett megterveztük az említett anyagokat felhasználva egy lehetséges szenzor tulajdonságú réteg előállítását és vizsgálatát is. A munka korai szakaszában célunk méretkontrollált többfalú szén nanocsövek előállítása bolygó golyósmalomban, az őrlött anyag adszorpciós sajátságainak megváltozásának követése, illetve az őrlési paraméterek optimalizálása volt. A szén nanocsövek széleskörűen alkalmazott 1D nanoszerkezetek, viszont az előnyös hossz-átmérő arány bizonyos esetekben hátrány is: például kompozit filmek felhordásakor aggregációhoz vezethet, ami az őrléssel elért méretcsökkentéssel leredukálható. Mindemmellett szerettünk volna magyarázatot találni az őrlés során bekövetkező szerkezeti változásokra, nitrogén adszorpciós viselkedésre. Vizsgáltuk, hogy a későbbiekben előállított vékonyrétegek szubsztrátjainak hogyan változnak a termodinamikai és dielektromos sajátságai egy nanorészecskéket tartalmazó bevonat hatására. Erre a célra a hordozón szintetizált ZnO nanorúd réteget állítottunk elő, referenciaként pedig amorf PET és ITO-val bevont PET mintákat vizsgáltunk TG, MDSC, DMA és DRS módszerekkel.

A munka során a korábban említett anyagok előnyös tulajdonságait ötvözve célunk volt egy olyan vékonyfilmet létrehozni átlátszó, rugalmas polimer szubsztrátra, ami szenzorként is funkcionálhat. A vékonyréteg előállítása során ZnO félvezető nanorészecskéket, szén

nanocsöveket és vezető polimert is alkalmaztunk. Igyekeztünk olyan alternatívát nyújtani, ahol az ITO vékonyréteg elhagyható, ami bár igen sok pozitív tulajdonsággal rendelkezik, viszonylag drága, véges készlet áll belőle rendelkezésre és törékenysége miatt nem igazán ellenálló mechanikai hatásokkal szemben. A filmösszetevők és a szubsztrátok külön-külön történő vizsgálata után, különböző hordozókon előállított kompozit vékonyrétegeket elemeztünk. Megfelelő mintaelőkészítéssel szeretnénk volna a lehető legvékonyabb, így minél nagyobb átlátszósággal bírót, de UV-és etanolszenzorként funkcionáló vékonyréteget előállítani, ami szobahőmérsékleten, a tesztkamra felfűtése nélkül is detektálható jelet ad.

## 2. Kísérleti rész

Első lépésben az őrlési kísérletekhez, illetve vékonyfilmekhez, bevonatokhoz készítettük el a különböző nanorészecskéket. A többfalú szén nanocsöveket CVD technikával állítottuk elő, szénforrásként acetilén gázt alkalmaztunk, Fe-Co/MgO (2,5 tömeg% fém:hordozó-arány mellett) katalizátor jelenlétében. A szintézist kvarcreaktorban, inert atmoszféra mellett végeztük. A szén nanocsövek egy Fritsch Pulversiette 6 típusú bolygó golyósmalomban őrlöttük, amiben az őrlési paraméterek pontosan beállíthatóak. Összesen öt sorozatban őrlöttük a mintákat, ezek során több beállítást is változtattunk úgy, hogy sorozaton belül mindig csak egy paramétert változtattunk: az őrlési sebességet 150-től 600 rpm-ig, az őrlési időt 5-től 60 percig, a 10 mm-es őrlőgolyók számát 5-25 db között, az 5 mm-es átmérőjű golyók számát 40 és 200 db között, illetve a nagyobb és kisebb golyók tömegarányát az őrlőedényen belül 10:1-től 1:10-ig. A ZnO nanorészecskék előállítása szolvotermális eljárással történt. Cink-prekurzorként cink-acetátot használtunk ( $c(\text{Zn-ac.})=0,2 \text{ M}$ ). A szintézis során metanolos közegben dolgoztunk, első lépésben NaOH 0,4 M-os oldatát adagoltuk a cink-acetát oldathoz cseppenként, ekkor azonnal fehér csapadék, képződött ( $\text{Zn}(\text{OH})_2$ ), ezt hőkezelés követte: 6 órán át, teflon-béléses autoklávban, 6 órán keresztül, 428 K-en.

A vékonyrétegek előállítása során először ZnO nanorészecske bevonatot szerettünk volna előállítani PET, illetve ITO-val bevont PET felületén, hogy vizsgálhassuk a termomechanikai és dielektromos sajátságok változását. Első lépésben a ZnO nanorészecske „magokat” hoztunk létre, cink-acetát metanolos  $0,03 \text{ mol/dm}^3$  koncentrációjú NaOH-tartalmú oldatát 333 K-en kevertetve 2 órán keresztül. Ezután a ZnO-magokat spin coater segítségével egyenletes vékonyrétegben vittük fel a PET, illetve ITO/PET felszínére, 1600 rpm forgási sebesség mellett. Az egyenletes nanorészecske bevonat szárítása után nanorudakat növesztettük a ZnO-magokból kiindulva: a „seed”-elt szubsztrátot cink-acetát és dietilén-triamin megfelelő koncentrációjú oldatát tartalmazó edénybe helyeztük és egy órán át kezeltük 363 K-en.

A szenzorikai vizsgálatokhoz egy megfelelő vezetőképességgel és átlátszósággal rendelkező vékonyfilmet kellett létrehozni. Hogy a legmegfelelőbb réteget állíthassuk elő, többféle bevonatot hoztunk létre a korábban előkészített nanorészecskéket felhasználva: csak ZnO-t, csak MWCNT-t, csak PEDOT:PSS-t, MWCNT/PEDOT:PSS-t, illetve ZnO/MWCNT/PEDOT:PSS-t tartalmazó mintákat APET és ITO-val bevont PET felületén.

Az előállított illetve őrléssel módosított nanorészecskék morfológiáját és szerkezetét FEI Tecnai G2 20 X-Twin típusú transzmissziós elektronmikroszkóppal vizsgáltuk 200 kV gyorsítófeszültség mellett. A mintaelőkészítés során a minta etanolos szuszpenzióját cseppentettük majd szárítottuk szénfilmmel borított réz gridre (300 mesh). Az őrlött szén nanocső minták 77 K-en rögzített nitrogén adszorpciós izotermáiból három fontos adatot is kinyertünk a morfológiára vonatkozólag: a fajlagos felületet ( $A_s$ , BET), ami információt hordoz a teljes felületről, a pórusméret-eloszlást (PSD), ami az anyag porozitását jellemzi, illetve a felületi fraktál dimenziót ( $D_s$ ), ami a felület egységességéről ad információt.

A DLS fényszórásmérések során Zetasizer ZS típusú műszerrel, kvarc küvettákban mértük meg a kiválasztott nanocső minták polidiszperzitási indexét, illetve Zeta potenciálját, mely értékek információt adhatnak arról, hogy hogyan viselkedik a mért nanorészecske bizonyos oldószerekben diszpergálva. Az előállított bevonatok/filmek morfológiáját Hitachi S-4700 típusú pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáltuk, 10 kV gyorsítófeszültség és 1,5 nm maximális felbontás mellett. XRD méréseimet az ITO/PET, illetve ZnO nanorészecskékkel bevont minták esetében a  $2\Theta = 3-60^\circ$  szögtartományban egy Rigaku Miniflex II műszerrel vettem fel, sugárforrásként Cu  $K\alpha$  ( $\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$ )-t használva. A vékonyrétegek és szubsztrátok átlátszóságát egy hordozható Ocean Optics UV-Vis spektrométerrel, USB-4000 típusú detektorral és DH-2000-BAL fényforrással (deutérium és halogén izzók) vizsgáltam.

A termogravimetriás mérések során a polimer mintákat és bevonatolt polimer szubsztrátokat egy TA Instruments Q500 TGA műszerrel vizsgáltam inert nitrogénben, illetve oxidatív levegőáramban, 298-773 K tartományban, 5 K/perc felfűtési sebesség mellett. A DSC méréseket egy TA Instruments Q200 jelű műszerrel végeztem modulált üzemmódban (0,5 K/perc) Tzero alumínium mintatartókkal, 3 K/perc fűtési és hűtési sebesség mellett. A dinamikus mechanikai analízis során a polimer szubsztrátú mintáim viszkoelasztikus tulajdonságait vizsgáltam. A méréseket oszcillációs módban, DMA Q800 típusú műszerrel végeztem, ekkor a mintára adott szinuszos mechanikai hatásra a minta szintén szinuszos választ ad, a kettő között fázisszög-eltolódás informatív. A tárolási- és veszteségmodulusokat, illetve a  $\tan \delta$  görbét detektáltam, majd elemeztem. Polimer szubsztrátú mintáim esetében az izokronális DRS méréseket 1 K/perc hűtési, illetve azonos fűtési sebességgel végeztem, a vizsgált frekvenciatartomány az  $1 \cdot 10^{-1} - 1 \cdot 10^6$  Hz volt. A dielektromos spektrumot Novacontrol Alpha-A egységgel vettem fel.

A szenzorikai mérések során LabJack UE9 vezérlőegységet, Keithley A Tetronix Company 2401 áramlásmérőt, AALBORG - GFC17 típusú áramlásszabályzót és AALBORG vezérlőt használtunk szobahőmérsékleten és atmoszférikus nyomáson. Első lépésben vizsgáltam az APET szubsztrátra felvitt ZnO/MWCNT/PEDOT:PSS film UV gerjesztésre adott válaszát. Ezután 90 másodpercen át ugyanazt az etanolgőz-koncentrációt engedték a mintára, majd megfelelő regenerálódási időt követően többször is megismételtük az expozíciót, hogy információt kapjunk a reprodukálhatóságról. A második mérésorozat során az etanolt több koncentrációban engedték a mintatérbe, mindig 90 másodperc expozíciós idővel, azonos időt hagyva a mérések között.

### 3. Új tudományos eredmények

#### **T1: Többfalú szén nanocsövek bolygó golyósmalomban történő tervezett módosításával kapcsolatos eredmények**

1.1. Öt mérési sorozatban előállított, különböző paraméterek mellett őrlött szén nanocső minták TEM felvételeit Image Java programmal elemezve értelmeztük a mechanikai hatásra bekövetkező kontrollált méretváltozásokat. Az eredményként kapott hisztogramok alapján kiválasztottuk a későbbi mintaelőkészítés során használandó optimális paramétereket: a kapott átlagos nanocső hosszakat különböző őrlési paraméterek függvényében ábrázolva igazoltuk, hogy őrlések kezdeti szakaszán megfigyelhető meredek letörést két vizsgált érték is befolyásolja: az őrlési energia és a becsapódások száma. Ezek alapján azt a következtetést vontuk le, hogy az őrlőgolyók számának és méretének meghatározása sokkal fontosabb tényező méretkontrollált nanocsövek előállításánál, mint az őrlési idő, így megfelelő tervezéssel rövidebb idő (és ezáltal kevesebb befektetett energia) is elég lehet a kívánt nanocsőhossz eléréséhez.

1.2. A 77 K-en rögzített nitrogén adszorpciós-deszorpciós izotermák alapján az irodalomban elsőként határoztuk meg egyidejűleg az őrlött szén nanocsövek morfológiájának három fontos, számszerű leíró paraméterét: a fajlagos felületet ( $A_s$ , BET), a pórusméret-eloszlást (PSD) és a felületi fraktáldimenziót ( $D_s$ ), ami a felület egységességéről ad információt. A mechanikai kezelés után a többfalú szén nanocsövek (amiknek a belső pórusa az adszorbeálódó molekulák számára őrlés előtt elérhetetlen) esetében a kapott nem egész számú  $D_s$  értékek az ideális hengerfelülettől való eltérések miatt adódnak, amit a különböző lokális defektusok, hibahelyek, lyukak vagy amorf szénlerakódások okozhatnak. Bemutattuk, hogy a fajlagos felület és a felületi fraktáldimenzió értéke is nőtt az őrléssel, jellemző maximumot mutatva. Igazoltuk, hogy az anyag jelentős morfológiai változáson ment keresztül a mechanikai kezelés hatására: a TEM felvételek és a  $N_2$  adszorpciós izotermák alapján feltételezhető, hogy az új PSD maximum azért alakul ki, mert a nanocső belsejének megnyílásával új adszorpciós kötőhelyek válnak elérhetővé. A kapott eredmények igazolták a hipotézisünket, miszerint a csőfelfnyílás dominál a nanocső falának amortizációjával szemben.

## **T2: Amorf PET, illetve ITO/ PET szubsztrátokon előállított ZnO nanorúd vékonyrétegekkel kapcsolatos eredmények**

- 2.1. Kidolgoztuk a ZnO nanorudak közvetlenül PET, illetve ITO-val bevont PET szubsztrátok felszínén történő előállításának módszerét. Ehhez első lépésben ZnO nanorészecske „magokat” hoztunk létre cink-acetát prekursor segítségével. A ZnO nanorészecskéket spin coater segítségével vittük fel a PET, illetve ITO/PET felszínére, „mag”-réteg felvitelét többször megismételve egyenletes vékonyréteget hoztunk létre. Végül ZnO nanorudakat növesztettük a ZnO-magokból kiindulva: a vékonyréteget már tartalmazó szubsztrátot cink-acetát és dietilén-triamin megfelelő koncentrációjú oldatában, megadott hőmérsékleten kezelve. Az egyenletes ZnO nanorúd bevonat morfológiai jellemzőit SEM felvételekkel és XRD mérésekkel igazoltuk. UV-Vis transzmittancia mérésekkel jellemeztük, hogy hogyan befolyásolja a ZnO nanorészecske, illetve nanorúd vékonyréteg az átlátszóságot.
- 2.2. Értelmezni tudtuk a szubsztrátok (PET, ITO/PET), illetve ZnO nanorúd bevonattal ellátott ITO/PET esetében, inert nitrogén atmoszférán végzett TG analízis során megfigyelhető, a PET-re jellemző egylépcsős termikus degradációt. Oxidatív közegben, levegő atmoszférában az amorf PET szubsztrát esetében ekkor is egy egylépcsős termikus degradációs lépés volt jelen, de a tömegvesztés alacsonyabb hőmérsékleten következett be. Megmutattuk, hogy az ITO/PET, illetve ZnO nanorúd/ITO/PET minták esetében, oxidatív közegben a termikus degradáció két lépésben megy végbe, illetve láthatóvá vált a ZnO hatása a degradáció hőmérsékletére.
- 2.3. A DSC mérések eredményei alapján bemutattuk az amorf PET minta esetében jelentkező, jól meghatározott entalpiarelaxációval járó üvegesedési átmenetet ( $T_g$ ), ami az összes fűtési ciklusban megjelenik, átfedő endoterm csúcsként. A második felfűtési ciklus során megfigyeltük az olvadást, majd visszahűtéskor a kristályosodás folyamatát. A harmadik ciklusban a  $T_g$ -t egy részleges átmenet követi, a hidegkristályosodás folyamata. Ez egy termikusan indukált kristályosodás, ami abban az esetben jelentkezik, ha a polimert az üvegesedési átmenete fölé hevítjük és nem hűtjük ki elég gyorsan. Ez az átmenetet csak az amorf PET minta esetében volt megfigyelhető, ennek oka valószínűleg az az eltérő kristályossági fok volt.



### **T3: ZnO nanorúd bevonattal ellátott amorf PET, illetve különböző rétegellenállású ITO/PET szubsztátok termomechanikai és dielektromos relaxációs sajátságaival kapcsolatos eredmények**

- 3.1. Értelmezni tudtuk a ZnO nanorúd bevonatos amorf PET és az ITO/PET szubsztátok termomechanikai viselkedésében megfigyelhető különbségeket. Az oszcillációs DMA mérésekből az anyagunk viszkoelasztikus tulajdonságairól kaptunk információt. Esetünkben a  $\tan \delta$  csúcs maximumát és a veszteség modulus csúcsának maximumát használtuk az üvegesedési átmeneti hőmérsékletek meghatározására különböző frekvenciájú gerjesztések mellett. A magasabb mérési frekvenciák hatására a  $\tan \delta$  és veszteség modulus ( $E''$ ) csúcshőmérsékletek ( $\alpha$ -relaxáció) nőttek, illetve a  $\tan \delta$  csúcs kiszélesedett. Igazoltuk, hogy az amorf PET eltérő viselkedést mutatott: alacsonyabb hőmérsékleten ment végbe az üvegesedési átmenet, mint az ITO-val bevont PET minták esetében. A különböző rétegellenállású ITO/PET minták között is eltérést tapasztaltunk az eltérő ITO-PET arány miatt, a nagyobb rétegellenállású minta esetében a  $T_g$  is nagyobb. A ZnO nanorúd bevonat minden esetben az üvegesedési átmeneti hőmérséklet növekedését okozta, ez a jelenség bizonyítottan független az alkalmazott frekvenciától és az ITO/PET névleges ellenállásától is.
- 3.2. Értelmezni tudtuk a ZnO nanorúd bevonatos amorf PET és az ITO/PET szubsztátok dielektromos relaxációs viselkedésében megfigyelhető különbségeket. Az ITO/PET-alapú minták PET fázisának molekuláris dinamikájának további vizsgálatára DRS-t használtunk, követve a megfelelő dielektromos relaxációk frekvenciafüggését. A kapott izokronális görbék alapján készített Arrhenius diagramokkal ábrázoltuk a szegmentális dinamikáról információt szolgáltatató  $\alpha$ -relaxációk, illetve másodlagos  $\beta$ -relaxációk hőmérsékletfüggését. Meghatároztuk az  $E_a$  aktiválási energiákat, illetve kiszámítottuk az  $\alpha$ -relaxációból a  $T_v$  Vogel-hőmérsékleteket. A számított értékek alapján megmutattuk, hogy a bevonat nélküli PET alacsonyabb aktiválási energiával rendelkezik, mint az ITO-val bevont. A magasabb aktiválási energiák és kapott alacsonyabb  $T_v$  is bizonyították a DSC mérések során tapasztalt hidegkristályosodás folyamatát. Az ITO-val bevont PET minták esetében egy magasabb kristályos rendezettséget valószínűsítettünk az  $\alpha$ -relaxációkból számított Vogel-hőmérsékletek alapján. Amikor ZnO nanorúd bevonattal láttuk el a mintákat, az aktivációs energiák

csökkentek, a Vogel-hőmérsékletek magasabbak az amorf PET szubsztrát esetében mért értékeknél, közelebb esnek az ITO/PET szubsztráthoz. Bemutattuk a dinamikus fragilitási faktor változását a ZnO nanorudakkal bevont minták esetében is.

#### **T4: Flexibilis hordozón előállított ZnO/MWCNT/PEDOT:PSS vezető vékonyréteg szenzorikai alkalmazhatóságával kapcsolatos eredmények**

- 4.1. Bizonyítottuk, hogy a ZnO/MWCNT/PEDOT:PSS film reverzibilis fotoelektromos választ ad UV megvilágítás hatására. A jelenség magyarázatára a következő elméletet javasoltuk. Sötétben redukált vezetést tapasztalunk; ekkor a filmben található n-típusú félvezető ZnO felületén a környező oxigénmolekulák abszorbeálódnak, eltávolítva a szabad elektronokat, aminek hatására a kiürítési réteg nő, ezáltal csökken a vezetőképesség. Az UV fényforrást felkapcsolva azt tapasztaltuk, hogy az ellenállás csökken, amit a fotonok elnyelése után képződő új elektron-lyuk párok okozhatnak: a negatív oxigén ionok az új lyukakkal rekombinálódva csökkentik a kiürített réteget, növelve ezzel a vezetést. A folyamatot segítheti a p-típusú félvezető MWCNT, illetve lyuk transzporter vezető polimer jelenléte a rétegben.
- 4.2. Bizonyítottuk, hogy az APET szubsztrát felületére felvitt ZnO/MWCNT/PEDOT:PSS vékonyréteg lineáris érzékenységet mutat a vizsgált koncentrációtartományban etanolra, és hogy a mérések rövid regenerációs idővel reprodukálhatóak. Kísérleti megfigyeléseinkre alapozva két lehetséges magyarázatot javasoltunk a vizsgált film etil-alkohol gőz szenzorként történő használhatóságának értelmezésére: amellett, hogy szobahőmérsékleten a CNT p-típusú félvezetőként viselkedhet, p-n heteroátmenet alakulhat ki a ZnO nanorészecskék és a többfalú szén nanocsövek között, ahol a PEDOT:PSS segíthette a vezetés létrejöttét, mint egy rugalmas lyuk-típusú félvezető mátrix. Mivel a p-típusú félvezetők esetében a vezetési viselkedés esetében a pozitív töltéshordozók, lyukak dominálnak, ezért egy tipikus lyuk transzporter, vezető polimer adagolása a rendszerhez gyorsabb választ eredményezhet perkolációs effektus révén.

#### **4. Az eredmények gyakorlati és környezettudományi vonatkozásai**

A nanocsövekkel kapcsolatos őrlési vizsgálatokból azt a következtetést vontuk le, hogy az őrlőgolyók számának és méretének meghatározása sokkal fontosabb tényező méretkontrollált nanocsövek előállítása során, mint az őrlési idő, így megfelelő tervezéssel rövidebb idő (és ezáltal kevesebb befektetett energia) is elég lehet a kívánt nanocsőhossz eléréséhez.

A különböző hordozók és a hordozók felületén előállított vagy azokra felvitt minták vizsgálata során levonhattuk azt a következtetést, hogy bizonyos esetekben, megfelelő kompozit vékonyréteg előállításával kiválthatjuk a kis mennyiségben rendelkezésre álló és költséges ITO-t. A különböző, csak félvezető oxid- alapú szenzorok működéséhez szükséges a 373-723 K-re való felfűtés. A megfelelő hibrid vékonyréteg előállításával a szenzorok működési hőmérsékletét csökkenthetjük, így a tesztkamra felfűtéséhez szükséges energiát is minimalizálhatjuk: míg egy tisztán ZnO nanorészecskéket tartalmazó etanol szenzor működéséhez elengedhetetlen a 473-573 K hőmérsékletre való felfűtés, amihez minimum egy 100 mW - 1 W teljesítményű fűtőpanel szükséges, addig az általunk tesztelt vékonyréteg szobahőmérsékleten is működött. Emellett a különböző elektronikai eszközök, szenzorok flexibilis szubsztráton való előállítása az eszközök miniatürizálása, így energiaigényének csökkentése irányába mutat.

Az általunk tesztelt, rugalmas szubsztráton előállított vékonyréteg alkalmazható UV fotodetektorként, illetve etanol szenzorként is, működése nem igényel felfűtést. Bár a napfény az egyik legfontosabb környezeti erőforrás, és az UV-sugárzás elengedhetetlen, például a D-vitamin szintéziséhez, de a túlzott irradiáció egészségügyi problémákat okozhat, emiatt monitorozása fontos. Emellett az etanol gőz koncentrációja is fontos paraméter számos területen: az ipari forrásokból származó kibocsátások detektálása, a bioüzemanyagok előállításának fermentációs folyamatainak szabályozása, az élelmiszercsomagoló anyagok tesztelése, vagy akár a kilélegzett levegő analízise során.

## **5. A DOKTORI ÉRTEKEZÉS ALAPJÁT KÉPEZŐ KÖZLEMÉNYEK:**

### **1. Effect of planetary ball milling process parameters on the nitrogen adsorption properties of multiwall carbon nanotubes**

Ibolya Zita Papp, Gábor Kozma, Róbert Puskás, Tímea Simon, Zoltán Kónya, Ákos Kukovecz  
Adsorption, 2013, 19 (2-4)

DOI: 10.1007/s10450-013-9493-8

IF 2013/2014: 1.735

Független hivatkozások: 8

### **2. Investigation into the effect of ZnO nanorod coating on the thermal-mechanical and dielectric properties of ITO coated PET**

Ibolya Zita Papp, Angel Alegría, Zoltán Kónya, Ákos Kukovecz

Materials Research Bulletin, 2021, 149(11):111701,

DOI: 10.1016/j.materresbull.2021.111701

IF 2021/2022: 5.6

Független hivatkozások: 3

### **3. Fabrication and characterization of a bifunctional zinc oxide/multiwalled carbon nanotube/ poly(3,4-ethylenedioxythiophene): polystyrene sulfonate composite thin film**

Ibolya Zita Papp, Adél Szerlauth, Tímea Szűcs, Péter Bélteky, Juan Fernando Gomez Perez, Zoltán Kónya, Ákos Kukovecz

Thin Solid Films, 2023, 778:139908

DOI: 10.1016/j.tsf.2023.139908

IF 2021/2022: 2.1

Független hivatkozás:0

## **6. KONFERENCIAMEGJELENÉSEK:**

### **1. Ball milling experiments on multiwalled carbon nanotubes**

Ibolya Zita Papp, Gábor Kozma, Zoltán Kónya, Ákos Kukovecz

NAPEP (Nanotechnology platform for Electronics and Photonics), 2012. Szeged (előadás)

### **2. Investigation of adsorption properties on multiwalled carbon nanotubes with different size milled by planetary ball mill**

Ibolya Zita Papp, Gábor Kozma, Zoltán Kónya, Ákos Kukovecz

ISSHAC8 (Eighth International Symposium, Effects of Surface Heterogeneity in Adsorption and Catalysis on Solids), 2012. augusztus 27-31, Krakkó, Lengyelország (előadás)

**3. Investigation of multiwalled carbon nanotubes modified cellulose-nitrate membrane films**

Ibolya Zita Papp, Gábor Kozma, Zoltán Kónya, Ákos Kukovecz

Magyar Mikroszkópos Konferencia (HSM), 2012. május 10-12, Siófok (előadás)

**4. Többfalú szén nanocsővel módosított membránok előállítása és vizsgálata**

Papp Ibolya Zita, Kónya Zoltán, Kukovecz Ákos

Tudományos Diákköri Konferencia, 2012. április 26, Szeged (előadás)

**5. Többfalú szén nanocsővel módosított membránok előállítása és vizsgálata**

Papp Ibolya Zita, Kónya Zoltán, Kukovecz Ákos

Országos Tudományos Diákköri Konferencia, 2013. április 6, Eger (előadás)

**6. Preparation of zinc-oxide nanoparticles modified surfaces and the investigation of its photocatalytic properties**

Ibolya Zita Papp, Gábor Kozma, Zoltán Kónya, Ákos Kukovecz

Magyar Mikroszkópos Konferencia (HSM), 2013. május, Siófok (előadás)

**7. Cink-oxid nanorészecskékkel bevont üvegfelületek előállítása és jellemzése**

Papp Ibolya Zita, Kővári Dániel, Kukovecz Ákos

II. Környezetkémiai Szimpózium, 2013. október 11., Dobogókő (előadás)

**8. ZnO nanorészecskékkel módosított üvegfelületek előállítása és jellemzése**

Papp Ibolya Zita, Kővári Dániel, Kukovecz Ákos

Tavaszi Szél Doktorandusz Konferencia, Debrecen, 2014. március 21-23. (előadás)

**9. Nano- és nagyszemcsés cink-oxid ökotoxikológiai hatása két eltérő táplálkozásmódú és életmenetű szabadon élő fonálféreg fajra**

Hrács, Krisztina; Papp, Ibolya Zita; Kukovecz, Ákos; Brezina, Brigitta; Wilk, Tímea; Nagy, Péter

X. Magyar Ökológus Kongresszus, Veszprém, 2015

**10. Removal of Acid Red 1 by TiO<sub>2</sub> nanoparticles coated polyethersulfone membrane under UV irradiation**

Ildikó, Kovács; Szabolcs, Kertész; Sándor, Beszédes; Cecilia, Hodúr; Ibolya, Zita Papp; Ákos, Kukovecz; Zsuzsanna, László

Ozone and Advanced Oxidation Leading-edge science and technologies Proceedings : 22nd World Congress & Exhibition, International Ozone Association (2015) Barcelona, Spanyolország : pp. 10.2-1-10.2-6. , 6 p.

## **7. EGYÉB KÖZLEMÉNYEK:**

### **1. Experimental validation of the Burgio-Rojac model of planetary ball milling by the length control of multiwall carbon nanotubes**

Kozma, G; Puskas, R; Papp, IZ; Belteky, P; Konya, Z; Kukovecz, A

CARBON 105 pp. 615-621., 7 p. (2016)

IF (2016/2017): 6.337

Független hivatkozások: 3

### **2. Membrane fouling control by means of TiO<sub>2</sub> coating during model dairy wastewater filtration**

Ildikó, Kovács; Szaboles, Kertész; Gábor, Veréb; Ibolya, Zita Papp; Ákos, Kukovecz; Cecilia, Hodúr; Zsuzsanna, László

Desalination and water treatment 73 pp. 415-421. , 7 p. (2017)

IF (2017): 1.383

Független hivatkozások: 0

### **3. Investigation of titanium-dioxide coatings on membrane filtration properties**

Kovács, I; Beszédes, S; Kertész, S; Veréb, G; Hodúr, C; Papp, IZ; Kukovecz, Á ; László, Studia Universitatis Babes-Bolyai Chemia 62 : 1 pp. 249-259. , 11 p. (2017)

IF(2017/2018): 0.33

Független hivatkozások: 10

### **4. Toxicity and uptake of nanoparticulate and bulk ZnO in nematodes with different life strategies**

Hracs, Krisztina; Savoly, Zoltan; Seres, Aniko; Kiss, Lola Virag; Papp, Ibolya Zita;

Kukovecz, Akos; Zaray, Gyula; Nagy, Peter

Ecotoxicology 27 : 8 pp. 1058-1068. , 11 p. (2018)

IF(2018/2019): 2.46

Független hivatkozások: 9

### **5. Production of meloxicam suspension using pulsed laser ablation in liquid (PLAL) technique**

Béla, Hopp; Eszter, Nagy; Franciska, Peták; Tomi, Smausz; Judit, Kopniczky; Csaba, Tápai; Judit, Buda; Ibolya, Zita Papp; Ákos, Kukovecz; Rita, Ambrus et al.

Journal of Physics D-Applied Physics 51 : 16 Paper: 165401 , 8 p. (2018)

IF(2019): 2.829

Független hivatkozások: 4

**6. Membrane Association Modes of Natural Anticancer Peptides: Mechanistic Details on Helicity, Orientation, and Surface Coverage**

Quemé-peña, M.; Juhász, T.; Kohut, G.; Ricci, M.; Singh, P.; Szigyártó, I.Cs. ; Papp, Z.I.; Fülöp, L.; Beke-Somfai, T.

International Journal of Molecular Sciences 22: 16 Paper: 8613 , 26 p. (2021)

IF (2021/2022): 6.208

Független hivatkozások: 4

**7. New short cationic antibacterial peptides. Synthesis, biological activity and mechanism of action**

Lima, B.; Ricci, M.; Garro, A.; Juhász, T.; Szigyártó, I.C.; Papp, Z.I.; Feresin, G.; Garcia, de la Torre J.; Lopez, Cascales J.; Fülöp, L.et al.

Biochimica et Biophysica Acta-Biomembranes 1863 : 10 Paper: 183665 , 13 p. (2021)

IF (2022): 4.019

Független hivatkozások: 7

**8. The interaction of half-sandwich ( $\eta^5$ -Cp\*)Rh(III) cation with histidine containing peptides and their ternary species with (N,N) bidentate ligands**

Hassoon, Azza A.; Szorcik, Attila; Bogár, Ferenc; Papp, Ibolya Zita; Fülöp, Lívía; Kele, Zoltán; Gajda, Tamás

Journal of Inorganic Biochemistry 216 Paper: 111330 (2021)

IF(2022): 4.336

Független hivatkozások: 2

**9. Peptide-based chemical models for lytic polysaccharide monooxygenases**

Hassoon, Azza A.; Szorcik, Attila; Fülöp, Lívía; Papp, Zita I.; May, Nóra V.; Gajda, Tamás

Dalton Transactions 51: 45 pp. 17241-17254. , 14 p. (2022)

IF(2022): 4.569

Független hivatkozások: -

**8. TUDOMÁNYMETRIAI ADATOK:**

Összes referált közlemény: 12

ebből az értekezéshez kapcsolódik: 3

Összesített impakt faktor: 41,1

ebből az értekezéshez kapcsolódik: 9,435

Összes független hivatkozás: 49

ebből az értekezéshez kapcsolódik: 11