

**MŰSZAKI POLIMEREK RÉSZECSKESUGARAS
FELÜLETMÓDOSÍTÁSA ÉS FELÜLETANALITIKÁJA**

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

KERESZTURI KLÁRA

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR
KÉMIA DOKTORI ISKOLA

DOKTORI ISKOLA VEZETŐJE
DR. INZELT GYÖRGY

ANALITIKAI, KOLLOID- ÉS KÖRNYEZETKÉMIAI,
ELEKTROKÉMIAI PROGRAM

PROGRAMVEZETŐ
DR. ZÁRAY GYULA

TÉMAVEZETŐ
DR. TÓTH ANDRÁS
KÉMIAI TUDOMÁNY KANDIDÁTUSA

MTA KÉMIAI KUTATÓKÖZPONT
ANYAG- ÉS KÖRNYEZETKÉMIAI INTÉZET

2010

1. Bevezetés, előzmények

Egyre nagyobb igény van olyan polimerek és polimer alapú eszközök előállítására, amelyek különleges tulajdonságokkal rendelkeznek. Ilyenek például a protézisek, katéterek, implantátumok, biológiailag aktív, ellenőrzött gyógyszerleadásra képes anyagok, és intelligens polimerek.

A polimerek, műanyagok speciális alkalmazásához gyakran szükséges – a kedvező tömbi tulajdonságok megtartása mellett – a felület néhány nano- illetve mikrométer vastagságú rétegének módosítása, különböző folyadékokkal való nedvesíthetőség, festhetőség, biokompatibilitás és bioaktivitás javítása, felületi funkcionizálás, kemény és kopásálló rétegek létrehozása, védő- vagy víztaszító rétegek kialakítása, stb. céljából. A polimerek felületi tulajdonságainak módosítására, javítására alkalmazott hagyományos folyadék- és gázfázisú kémiai módszerek mellett elterjedtek a különböző fizikai felületmódosító eljárások (mint például az UV-, gamma- vagy elektronsugaras technikák, parázskisüléses, atmoszférikus plazmás technikák); fizikai és kémiai gőzfázisú leválasztás, illetve különböző részecskesugaras technikák. Intenzív kutatás folyik a módosított polimerfelületek megismerésére, szerkezet-tulajdonság típusú összefüggések feltárására.

A polimerek részecskesugaras (atom- és ionsugarak) kezelése egy kialakulóban lévő, elméleti és gyakorlati szempontból perspektivisztikus, multidiszciplinális terület. E kezelések legfőbb sajátossága, hogy a hagyományosnak mondható ionizáló (pl. γ - vagy elektron-) sugárzáshoz képest nagyságrendekkel nagyobb lehet a polimermátrixnak átadott energia sűrűsége. A felületi rétegben kiváltott összetételei és szerkezeti változások egyidejűleg jelentős változásokat okoznak a polimerek olyan tulajdonságaiban, mint a mechanikai, elektromos és optikai paraméterek, valamint az oldhatóság, nedvesíthetőség, biokompatibilitás, stb.

Atomsugaras kezelésre többek között az úgynevezett gyorsatom-forrás, ionsugaras kezelésre pedig az ionimplantáció különféle típusai alkalmazhatók. A gyorsatom-forrást eredetileg a tömegspektrometria egyik új ionizáló technikájaként fejlesztették ki az 1980-as években. Később alkalmazták gyémántszerű réteg leválasztására, saválló acél nitridálására, valamint Intézetünkben szilíciumorganikus gázszeparációs membránok szelektivitás növelésére és ultranagy molekulatömegű polietilén kopásállóságának növelésére.

Az ionimplantációs technikák a felületmódosítás terén gyakran alkalmazott eljárások, amelyek során általában közepes és nagy (néhány száz keV–MeV) energiájú implantereket használnak. Polimerek módosítására is alkalmazhatók. Előnyei mellett a módszer egyik nagy hátránya, hogy az irányított sugárnyaláb miatt a bonyolult alakú alkatrészek implantálása csak a tárgy mozgatásával, forgatásával tehető egyenletessé.

Az úgynevezett plazmaimmerziós ionimplantációt a nagyméretű, szabálytalan alakú, elsősorban fémtárgyak egyenletes felületmódosítására fejlesztették ki az 1980-as években. Vizsgálták alkalmazhatóságát polimerek felületmódosítására is, amelyek részletei az értekezés alapjául szolgáló közlemények egyikében [K5] áttekintésre kerültek. Tipikus példaként említhető a felületi elektromos ellenállás csökkentése poliimid esetében, nedvesedési tulajdonságok változtatása poli(tetrafluor-etilén) esetében fémimplantációt alkalmazva, TiN réteg leválasztása polikarbonát hordozóra, DLC-réteg leválasztása polietilén felületére, stb. Intézetünkben részletes vizsgálat tárgyát képezte az ultranagy molekulatömegű polietilén plazmaimmerziós ionimplantációja, melynek során lényegesen megnövelték annak kopásállóságát. A kutatási eredményeket a hőmezővásárhelyi Protetim Kft. alkalmazza megnövelt élettartamú csípőizületi protézisek gyártására.

Lényeges körülmény, hogy a tématerületen végzett tudományos kutatások ezidáig döntően a nagyenergiájú (kb. 50-100 keV feletti) ionok hatásának vizsgálatával foglalkoztak. Fontos továbbá, hogy a kialakuló felületi rétegek konkrét jellemzői (összetétel, szerkezet, módosítási mélység, kiváltott fizikai és kémiai tulajdonság-változások) nagymértékben függenek a kezelési körülményektől (mint a céltárgy és a bombázórészecskék anyagi minősége, részecskeenergia, felületi dózis, felületi dózisteljesítmény, stb.) és a kölcsönhatás során megvalósuló domináns energiaátadási mechanizmustól (elektronfégezés vagy magfégezés), stb. A módosítási paraméter-szerkezet-tulajdonság típusú összefüggések csak kevés esetben vannak feltárva az irodalomban, feltehetőleg nemcsak a sok változó miatti nagyszámú felületkezelési kísérleti igény, hanem a kiváltott szerkezeti és tulajdonságbeli változások komplex jellemzéséhez szükséges, az előzőeket jóval meghaladó kísérleti igény miatt sem.

A vizsgálatok anyagi rendszerül szolgáló műszaki polimerek nemcsak olcsóbb helyettesítői a hagyományos szerkezeti anyagoknak a különféle alkalmazásokban, hanem új műszaki megoldásokra is lehetőséget nyújtanak és a legigényesebb alkalmazási területekre is behatolnak. Alkalmazásuk gyorsan terjed, különösen a fejlett országokban, elsősorban olyan területeken, mint a gépipar, járműipar, műszeripar, villamosipar, elektronikai ipar, stb. Olyan felületi tulajdonságok létrehozása, amelyekkel a tömbanyag eredetileg nem (vagy csak kis mértékben) rendelkezik, új alkalmazási lehetőségeket nyithat meg.

2. Célok

A kísérleti munkám elején célul tűztük ki néhány, gyakorlati szempontból fontos műszaki polimer (poli(tetrafluor-etilén) (PTFE), poli(etilén-tereftalát) (PET), poliamid-6 (PA), biszfenol-A-polikarbonát) (PC) és részecskesugarak (atom- és ionsugarak) kölcsönhatásának vizsgálatát. Ezen belül a következő kérdésekre kerestem a választ:

- Milyen **összetéltelbeli és kémiai szerkezeti változások** mennek végbe a vizsgált műszaki polimerek felületi rétegeiben a különféle részecskesugaras kezelések hatására?
- Milyen változások következnek be a különféle részecskesugaras kezelések hatására a vizsgált polimerek **nedvesedési és felület energetikai tulajdonságaiban**?
- Hogyan változik a felület **elektromos ellenállása** a részecskesugaras kezelések hatására?
- Milyen változások játszódnak le a különféle részecskesugaras kezelések hatására a vizsgált polimerek **mechanikai** (keménység, rugalmassági modulus), **tribológiai** (kopásállóság) **tulajdonságaiban**?
- Hogyan függ a **felület összetélteli, szerkezeti, mechanikai, tribológiai, energetikai és elektromos tulajdonságainak** változása a felületmódosítás során alkalmazott a **részecskeenergiától, a felületi dózistól** és a **felületi dózisteljesítménytől**?
- Találhatók-e **“felületmódosítás – szerkezet – tulajdonság”** típusú összefüggések?

3. Kísérleti rész

3.1. A vizsgált anyagok, mintaelőkészítés

A vizsgálatok anyagi rendszereit kereskedelmi, adalékanyagmentes poli(tetrafluor-etilén), poli(etilén-tereftalát), poliamid-6 és biszfenol-A-polikarbonát képezték. A mintakezelést polírozás, etil-alkoholos ultrahangos tisztítás és nitrogén-gázáramban történő szárítás előzte meg.

3.2. Az alkalmazott felületmódosítási technikák

A polimerek felületmódosítása kis energiájú (1 keV) gyorsatom-sugárzással (fast atom bombardment, FAB) és kis, illetve közepes energiájú (maximum 40 keV) plazmaimmerziós ionimplantációval (plasma immersion ion implantation, PIII) történt. A gyorsatom-forrással végzett kísérletek során a polimerek felületét nagy tisztaságú hidrogén-, hélium- és nitrogéngázt alkalmazva FAB 114 típusú nyeregteres hidegkatódos gyorsatom-forrással kezeltem. Ezen kísérletek elsősorban a kezelőgázok hatásának megismerésére irányultak. A részecskék gyorsítása 1 kV feszültséggel történt.

A kezelési idő alapján – számításba véve a szekunder elektronok áramát – a felületbe csapódó részecske dózis értéke $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ volt.

A FAB-kísérletek alapján a további felületmódosításokra vonatkozó kísérleteket plazmaimmerziós ionimplanterben, nitrogén plazmában történtek. A gyorsítófeszültséget 15 – 30 kV, a dózisteljesítményt $3 \times 10^{13} - 7 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, a dózist $1 \times 10^{17} - 3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$, között változtattuk, előre kidolgozott kísérleti terv szerint.

3.3. Az alkalmazott felületvizsgáló módszerek

Röntgen fotoelektron spektroszkópiás módszerrel meghatároztam a kezeletlen és kezelt polimerfelületek kémiai összetételét és kémiai szerkezetét. Az XPS spektrumok a szénhidrogén típusú C 1s csúcsra lettek referálva, mely a $BE = 285.0 \text{ eV}$ energiánál jelenik meg.

Raman mikrospektroszkópiás módszerrel meghatároztam az előkísérletek során FAB-technikával kezelt polimerek módosított rétegének tényleges vastagságát.

Statikus ülőcsepp módszerrel vizsgáltam a nedvesedési tulajdonságokat. A mintákon ülő desztillált víz és diódometán cseppekről digitális kamerával felvettél készítettem. Ezekből meghatároztam a cseppek geometriai adatait, köztük az adott felület nedvesedésére jellemző peremszöget.

Az egyensúlyi peremszög értékekből Owens-Wendt összefüggést alkalmazva meghatároztam a polimerek felületi szabadenergiáját és annak poláris és diszperziós komponenseit.

Összehasonlító felületi elektromos ellenállás méréseket végeztem a kezelt és kezeletlen minták között.

Szűrőkeménység méréseket (indentáció) végeztem, és az Oliver-Pharr elméletet alkalmazva kiszámítottam az anyagokra jellemző keménység (H) és rugalmassági modulus (E) értékeket.

Vizsgáltam a karc- és abrázációs kopásállóságot egyszeri és ugyanazon a nyomon végzett többszöri karcolásokkal. Kiszámítottam a kikoptatott térfogat értékeket (V) a koptatási teszt során alkalmazott indenter geometriai paramétereinek valamint a maradandó deformáció mértékének ismeretében.

Az adhéziós tribológiai tulajdonságok meghatározására forgókorongos-koptatócsapos (pin-on-disc) módszert alkalmaztam. A tesztek száraz és nedves közegben, két mérésstartományban (kis és nagy terhelés-forgatási sebesség faktor) végeztem el.

4. Új tudományos eredmények (tézisek)

4.1. A gyorsatom-forrással végzett kísérletek tézisei

1. A PTFE felületi rétegének **kémiai és fizikai tulajdonságai** jelentősen megváltoznak a H₂-, He- és N₂- gázzal végzett FAB kezelések hatására [K2]:
 - a) fluorozott amorf szénszerű felületi réteg alakul ki, amelynek vastagsága a SRIM-programmal számított részecskebehatolási mélységet jelentősen meghaladja;
 - b) az átlagos felületi érdesség megnő. A növekedés a H₂-, He- és N₂- gázzal végzett FAB kezelések esetén annál nagyobb mértékű, minél kisebb a bombázórészecske atomtömege;
 - c) a reaktív hidrogén- és nitrogén-atomos FAB-kezelés megnöveli a felületi réteg kopásállóságát;
 - d) a FAB-kezelt felületeken a vízzel mért peremszög lecsökken, és lényeges, hogy a megnövekedett hidrofílium jelleg időben tartós marad.

4.2. A plazmaimerziós ionimplantációval végzett kísérletek tézisei

2. A felületi rétegek **kémiai összetételében és kémiai szerkezetében** jelentős változások észlelhetők a PTFE, PET, PA és PC polimerek N-PIII kezelését követően [K1, K4, K5]:
 - a) mindegyik polimer esetében N épül be a felületi rétegbe;
 - b) PTFE esetében az F-tartalom csökken, a C- és O-tartalom nő, a C-atomok fluorozottsági foka ezzel összhangban csökken;
 - c) PET esetében a felületi O/C arány csökken, az észtercsoportok degradálódnak és részben uretán csoportokká alakulnak;
 - d) PA és PC esetében a C-tartalom jelentősen csökken, a kiindulási amid illetve karbonát-csoportok bomlanak és helyettük új csoportok alakulnak ki, így PA esetében imin, protonált amin és uretán csoportok, míg PC esetében imin, tercier amin és amid-szerű csoportok képződnek.
3. A kezelések hatására kialakuló – kémiai összetétel és szerkezet szempontjából új – felületeken mérhető **peremszögekre** és így a **hidrofílium ill. hidrofób tulajdonságokra** hatással van a műveleti paraméterek változtatása [K1, K4, K5]:
 - a) PTFE esetében a vízzel mért peremszög az átlagérdesség növekedésével nő, viszont nagy iongyorsító feszültség és nagy felületegységre eső dózisteljesítmény hatására a víz-peremszög és a hidrofób jelleg csökken, ami az egyidejű nagy mértékű N-beépüléssel és a felület utóoxidációjával magyarázható, ami az érdesség okozta hatást túlkompenzálja;

- b) PA és PC esetében a vízzel mért peremszög csökken, a hidrofíl jelleg és a felületi szabadenergia nő, ami a N-beépüléssel és a felület utóoxidációjával magyarázható; a hidrofíl jelleg erősödése általában annál nagyobb, minél nagyobb az alkalmazott iongyorsító feszültség és a felületegységre eső iondózis.
4. A **felületi elektromos ellenállás** több nagyságrenddel csökken a vizsgált polimerek N-PIII kezelését követően. A csökkenés annál nagyobb, minél nagyobb az alkalmazott iongyorsító feszültség és a felületegységre eső dózisteljesítmény [K1, K4, K5].
5. Az **abrázióval szembeni kopásállóság** megváltozik a polimerek N-PIII kezelése során [K1, K4, K5]:
- a) PTFE esetében a kopásállóság csökken, a felület átlagérdességének és O/C arányának növekedésével párhuzamosan;
 - b) PET esetében a kopásállóság a vizsgált tartományban csökkenhet és nőhet is, viszont található olyan kezelési paraméter-együttes (nagy alkalmazott iongyorsító feszültség és nagy felületegységre eső iondózis), melynél a kopásállóság jelentősen megnő;
 - c) PA és a PC esetében a kopásállóság a vizsgált tartományban egyértelműen nő, a kikoptatott térfogat akár a tizedére is csökkenhet PA esetében, illetve kb. 60%-ára csökkenhet PC esetében. A kikoptatott térfogat annál kisebb, minél nagyobb az alkalmazott iongyorsító feszültség és felületegységre eső iondózis.
6. Megállapítottam, hogy az N-PIII-kezelt PET, PA és PC polimerek **H/E aránya** összefügg az abrázióval szembeni kopásállóságukkal [K1, K5]:
- a) PET esetében a H/E növekedésével a kikoptatott térfogat csökken;
 - b) PC esetében a $V - H/E$ összefüggés minimummal rendelkezik. PA esetében a $H/E \approx 0,11$ -nél kisebb értékeknél a H/E arány növekedése a kopásállóság javulásával járhat, míg a nagyobb értékeknél a H/E arány növekedésével nő a kikoptatott térfogat.
7. Megállapítottam, hogy a **súrlódás adhéziós komponense** kis terhelés – kis csúszósebesség párosítás esetén csökkenhet, nagy terheléseknél és nagy csúszósebégeknél azonban megnő a N-PIII-kezelt PET koptatócsap és acéltárcsa között fellépő csúszósúrlódás során. [K3]
8. **Lényeges összefüggéseket állapítottam meg a különféle paraméterek között** PTFE, PET, PA és PC 3 faktoros, 3 szintes, 9 beállításos részfaktorterv típusú kísérleti tervek alapján végzett N-PIII kezelése, valamint a kiindulási és a kezelt

minták komplex (felületkémiái, felületi nedvesedési, felületi elektromos ellenállási, nanomechanikai és tribológiai) vizsgálatát követően [K1, K4, K5]:

- a) **összetétel – tulajdonság típusú összefüggést** állapítottam meg PA esetében, mivel kismennyiségű N-beépülés erősen lecsökkenti a felület ellenállását abráziós kopással szemben, nagyobb mennyiségű N-beépülése során viszont ez a hatás rohamosan romlik;
- b) **kémiai szerkezet – tulajdonság típusú összefüggés** tapasztaltam PC esetében, melynél a tercier amin típusú N minél nagyobb mennyiségben való beépülése, nyilvánvalóan annak térhálósító hatása miatt, fokozatosan javítja a felület ellenállását abráziós kopással szemben. Viszont PC esetében sem célszerű a N-tartalom túlzott növelése, mert az csak a kopásállóság szempontjából előnytelen imin kötésben lévő N koncentrációjának növeléséhez vezet;
- c) **műveleti paraméter – szerkezet – tulajdonság típusú összefüggés** tapasztalható PC esetében, mivel a felületi iondózis és a felületi dózisteljesítmény növelésekor nő a tercier amin típusú kötésben lévő N koncentrációja, amely korrelál a felület abráziós kopásállóságával.

5. Az eredmények alkalmazhatósága

A dolgozatban szereplő eredmények és a kollégákkal végzett kísérletek eredményei alapján szabadalmat nyújtottunk be oxigén és/vagy halogén heteroatomot tartalmazó, hőre lágyuló műszaki műanyagok mechanikai és tribológiai jellemzőinek javítására. [SZ1]

Az elvégzett kísérletek során feltárt ismereteknek és összefüggéseknek további gyakorlati jelentősége lehet, mivel a kiváltott felületkémiái változások lényeges változásokat okoznak a felület topográfiai, mechanikai, tribológiai, nedvesedési és felületi energetikai, valamint elektromos tulajdonságaiban. Ezek néhány lehetséges alkalmazása a következő:

PTFE felületi szabadenergiájának növelésére és a kezelést követő relaxációs folyamatokra vonatkozó új ismeretek *érprotézisek* előállításához lehetnek hasznosak. A hidrofób tulajdonságok növelési lehetőségeire vonatkozó ismeretek *öntisztuló felületek* kialakítása során hasznosíthatók.

PET részecskesugaras kezelése során kapott, a mikroabráziós kopás csökkenetőségére vonatkozó eredmények például a *műszeriparban* nyerhetnek alkalmazást. Mivel a kopásállóság növekedése térhálósodással magyarázható, a kapott ismeretek közvetve hasznosak lehetnek PET palackok (szintén térhálósodáshoz rendelhető) gázzáróképeségének növelése terén is, amely *élelmiszer-csomagolási* szempontból fontos (pl. sör forgalmazása PET-palackban).

A PA mikroabráziós kopásállóságának nagymértékű növekedésével kapcsolatos eredmények *gépipari* alkalmazást nyerhetnek, elsősorban olyan területen, ahol nincs túlságosan nagy igénybevétel, de szükséges, hogy az adott alkatrész tribológiai tulajdonságainak javulása mellett a tömbi tulajdonságok ne változzanak.

PC részecskesugarakkal megnövelt kopásállósága fontos lehet például *speciális kopásálló optikai lencsék és ablakok* előállításakor.

Polimerek részecskesugarakkal kiváltott nagymértékű felületi vezetőképesség-növelése támpontot nyújthat olyan *polimeralapú elektronikai eszközök* létrehozására, mint pl. diódák, térvezérelt elektronikai szerkezetek, stb.

6. Publikációs jegyzék

6.1. A tézisek alapjául szolgáló közlemények

K1. K. Kereszturi, A. Tóth, M. Mohai, I. Bertóti, *Surface chemical and nanomechanical alterations in plasma immersion ion implanted PET*, Surf. Interface Anal. 40 (2008) 664-667.

K2. K. Kereszturi, A. Szabó, A. Tóth, G. Marosi, J. Szépvölgyi, *Surface modification of poly(tetrafluoroethylene) by saddle field fast atom beam source*, Surf. Coat. Technol. 202 (2008) 6034-6037.

K3. G. Kalácska, L. Zsidai, K. Kereszturi, M. Mohai, A. Tóth, *Sliding tribological properties of untreated and PIII-treated PETP*, Appl. Surf. Sci. 255 (2009) 5847-5850.

K4. K. Kereszturi, A. Tóth, M. Mohai, I. Bertóti, J. Szépvölgyi, *Nitrogen plasma-based ion implantation of poly(tetrafluoroethylene): Effect of the main parameters on the surface properties*, Appl. Surf. Sci. 256 (2010) 6385-6389.

K5. A. Tóth, K. Kereszturi, M. Mohai, I. Bertóti, *Plasma based ion implantation of engineering polymers*, Surf. Coat. Technol. 204 (2010) 2898-2908.

6.2. Egyéb közlemények

K6. K. Kereszturi, I. Szalai, *Briggs – Rauscher Reaction with 1,4 Cyclohexanedione Substrate*, Zeitschrift für physikalische Chemie 220 (2006) 1071-1083.

K7. K. Kereszturi, I. Szalai, *Dynamics of bromate oscillators with 1,4-cyclohexanedione in a continuously fed stirred tank reactor*, Chem. Phys. Lett. 428 (2006) 288-292.

K8. I. Bertóti, M. Mohai, **K. Kereszturi**, A. Tóth, E. Kálmán, *Carbon based Si- and Cr-containing thin films: Chemical and nanomechanical properties*, Solid State Sciences 11 (2009) 1788-1792.

K9. Tóth A., **Kereszturi K.**, Mohai M., Bertóti I., Szépvölgyi J., *Műanyagok plazma-alapú felületkezelése*, Műanyag- és Gumiipari Évkönyv 8 (2010) 38-45.

6.3. Előadások

E1. **Kereszturi K.**, Tóth A., Mohai M., Bertóti I.: *Polietilén-tereftalát felületmódosítása plazmaimerziós ionimplantációval*, X. Doktori Iskola, Mátraháza, 2007. május 9.

E2. **K. Kereszturi**, A. Tóth, M. Mohai, I. Bertóti: *Surface chemical and nanomechanical alterations in plasma immersion ion implanted PET*, Autumn School on Materials Science and Electron Microscopy 2007, Berlin, Germany, October 8-11, 2007.

E3. **Kereszturi K.**, Tóth A.: *Műszaki műanyagok gyorsatomsugaras felületmódosítása*, MTA KK AKI Szeminárium, Budapest, 2007. november 13.

E4. **Kereszturi K.**, Tóth A., Mohai M., Bertóti I.: *Szilárd testek részecskesugaras felületmódosítása*, ELTE, PhD hallgatók beszámolója, Budapest, 2007. november 17.

E5. **K. Kereszturi**, A. Szabó, A. Tóth, G. Marosi, J. Szépvölgyi: *Surface modification of poly(tetrafluoroethylene) by saddle field fast atom beam source*, Eight annual MML European User meeting, Madrid, Spain, October 15, 2008.

E6. **Kereszturi K.**, Tóth A., Mohai M., Szépvölgyi J.: *Krómréteg leválasztása RF-magnetron porlasztással kezeletlen és FAB-kezelt teflonra*, PhD hallgatók anyagtudományi napja VIII., Veszprém, 2008. november 27.

E7. **Kereszturi K.**, Szabó A., Tóth A., Marosi Gy., Szépvölgyi J.: *Politetrafluoretilén felületmódosítása nyeregterez gyorsatom-forrással*, Kutatóközponti Tudományos Napok, Budapest, 2008. december 5.

E8. **Kereszturi K.**: *Műszaki polimerek részecskesugaras felületmódosítása*, MTA Felületkémiái és Nanoszerkezeti Munkabizottság ülése, PhD beszámoló, Budapest, 2009. június 19.

E9. **A. Tóth, K. Kereszturi**, M. Mohai, I. Bertóti: *Plasma-Based Ion Implantation of Engineering Polymers*, 10th international Workshop on Plasma-Based Ion Implantation & Deposition, São José dos Campos, São Paulo, Brazil, September 7-11, 2009.

E10. Kereszturi K., Tóth A., Mohai M., Bertóti I.: *Poliamid-6 felületmódosítása plazmaimmerziós ionimplantációval*, VII. Országos Anyagtudományi Konferencia, Balatonkenese, 2009. október 11-13.

E11. Kereszturi K., Tóth A., Mohai M., Bertóti I.: *Polikarbonát felületmódosítása plazmaimmerziós ionimplantációval*, PhD hallgatók anyagtudományi napja IX., Veszprém, 2009. november 12.

E12. Kereszturi K., Tóth A., Mohai M., Bertóti I.: *Általános műszaki polimerek plazmaimmerziós ionimplantációja*, Kutatóközponti Tudományos Napok, Budapest, 2009. november 26.

E13. Kereszturi K.: *Szilárd testek részecskesugaras felületmódosítása és felületanalitikája*, MTA AKI szeminárium, PhD elővétel, Budapest, 2010. június 17.

6.4. Poszterek

P1. K. Kereszturi, A. Tóth, M. Mohai, I. Bertóti: *Surface chemical and nanomechanical alterations in plasma immersion ion implanted PET*, 12th European Conference on Applications of Surface and Interface Analysis, Brussels, Belgium, September 9 – 14, 2007.

P2. I. Bertóti, M. Mohai, A. Tóth, **K. Kereszturi**: *Si- and Cr-containing carbon based thin films: Chemical and nanomechanical properties*, 12th European Conference on Applications of Surface and Interface Analysis, Brussels, Belgium, September 9-14, 2007.

P3. K. Kereszturi, A. Tóth, M. Mohai, I. Bertóti: *Surface characterisation of PTFE, modified by designed experiments of nitrogen plasma immersion ion implantation*, 13th European Conference on Applications of Surface and Interface Analysis, Antalya, Turkey, October 18-23, 2009.

6.5. Szabadalom

SZ1. A. Tóth, K. Kereszturi, M. Mohai, I. Bertóti, J. Szépvölgyi, G. Kalácska: *“Eljárás oxigén és/vagy halogén heteroatomot tartalmazó, hőre lágyuló műszaki műanyagok mechanikai és tribológiai jellemzőinek javítására”*

PCT/HU2008/00012, 2008. febr. 5.

Magyar szabadalmi bejelentés P 07 00129, 2007. február 6.