

CR-39 típusú maratottnyom-detektor érzékenységeinek növelése

Bartók Róza ^{*1}, Csige István²

¹Svetits Gimnázium, 4024 Debrecen, Szt. Anna utca 20-26.

²MTA Atommagkutató Intézete, 4026 Debrecen, Bem tér 18/c

*rozabart@gmail.hu

Title and Abstract – Sensitization of CR-39 type etched track detector in boiling water. We have found that soaking PADC (CR-39) type etched track detector in boiling water before etching increases its sensitivity for alpha particles. The detectors were irradiated by fission fragments and alpha-particles from a ²⁵²Cf radiation source and then were treated in boiling water before etching in 20% NaOH solution. The sensitivity of detectors, which were treated, nearly doubled at all alpha particle energies. With this sensitization the detection efficiency is also increasing in many applications, as well as the uncertainty of measurements is reduced.

Keywords- CR-39; PADC; etched track detector; treatment in boiling water; sensitization

Kivonat – Felfedeztük, hogy a PADC típusú maratottnyom-részecskedetektor alfa-részecskékre való érzékenysége jelentősen megnő a maratás előtti forrásban lévő vízben való kezelés hatására. Az érzékenység mérése céljából a detektorokat kalifornium-252 sugárforrásból származó hasadványokkal és alfa-részecskékkal sugároztuk be, és a 20%-os NaOH oldatban való maratás előtti forrásban lévő vízben való áztatásnak tettük ki. A kezelt detektorok érzékenysége minden alfa-részecske energián mintegy megkétszereződött. Az érzékenység növelése több alkalmazás esetén is megnöveli a detektálási hatásfokot, valamint csökkent a mérési bizonytalanságokat is.

Kulcsszavak – CR-39; PADC; maratottnyom-detektor; forrásban lévő vízben való kezelés; érzékenyítés

BEVEZETÉS

Környezetünkben állandó sugárzásnak vagyunk kitéve. Ilyen sugárzás például a világútból folyamatosan érkező kozmikus sugárzás, vagy a Földből áramló radon sugárzása (környezeti alfa-radioaktivitás). Utóbbi a lakásokban is összegyűlhet, így még ott sem lehetünk teljes biztonságban. Szükséges ezen sugárzások káros hatásai elleni védekezés, így a sugárzások mérése is, amelyre különböző detektorokat alkalmazunk. A detektorok érzékenysége lényegesen befolyásolja az alkalmazhatóságukat. Ebben a munkában most a sugárvédelemben széles körben alkalmazott polyallyldiglycol-karbonát (PADC, leginkább CR-39 néven ismert) anyagú maratottnyom-detektor [1] érzékenységeinek a megnöveléséről számolunk be.

Maratottnyom-detektornak nevezünk minden olyan anyagot, melyekben a töltött nukleáris részecskék (például az alfa-részecskék vagy ionok) becsapódásuk után pályájuk mentén roncsolt nyomot hagynak energiájuk leadása által. Ezen nyomok mentén a detektor elveszti a különböző kémiai szerekekkel szembeni ellenálló képességét, így a részecskepálya kémiai úton történő maratás során láthatóvá tehető (egy kúpszerű üreg, "maratott nyom" keletkezik). A roncsolódás következtében a részecske pályája nyomán a maratási sebesség (V_T) nagyobb lesz, mint a detektor anyagában végbemenő, ún. felületi maratási sebesség (V_B). A két sebesség különbségének a felületi maratási sebességre normált értéke adja meg az adott detektor $S = (V_T - V_B) / V_B = V - 1$ érzékenységét. Minél nagyobb tehát a nyommenti maratási sebesség a felületi maratási sebességhez képest, annál érzékenyebb a detektor. A detektor

érzékenysége a részecskék energiájának növekedésével csökken azzal összefüggésben, ahogy a mozgó részecskéknél a detektoranyag részére való lineáris energia-átadása (LET, linear energy transfer) is csökken az energia növekedésével.

Az érzékenységet jelentősen befolyásolhatják környezeti jellemzők is. Jól ismert például, hogy a PADC anyag érzékenysége a gyártást követő első 3 hónap során jelentősen csökken, majd további lassú csökkenés is megfigyelhető, amit azonban hűtőszekrényben való tárolással egy-két éves időtartam alatt közel elhanyagolható mértékűvé lehet csökkenteni [2][3]. Az elsők között figyeltük meg azt a jelenséget is, hogy a detektoranyagot besugárzás előtt kigázosítva annak érzékenysége jelentősen lecsökken, ha maga a besugárzás is vákuumban történik. A kigázosításnak nincs különösebb hatása abban az esetben, ha utána a besugárzás már normál levegőn történik. Ebből azt a következtetést vontuk le, hogy a látens nyomok kimarathatóságában jelentős szerepe lehet a külső levegőből a látens nyomba bediffundáló oxigénnek [4]. Lényegesen pozitívabb hatást is sikerült azonban felfedezni, nevezetesen egy korábbi munkában kimutattuk, hogy a detektoranyagnak a maratás előtt való szén-dioxid atmoszférában való kezelése többszörösére növeli a detektor érzékenységét. A szén-dioxid érzékenységnövelő hatására először M. Fujii hívta fel a figyelmet [5]. Ő azt találta, hogy az előzetesen szén-dioxidban kezelt detektorok érzékenysége hasonló ahhoz, mint az újonnan gyártott detektorok érzékenysége. Mi mutattuk ki azt az érdekes és meglepő eredményt, hogy a detektor érzékenysége akkor is megnő, ha a szén-dioxidkezelés a részecskékkel való besugárzás után közvetlenül a maratás előtt történik [6].

Az ebben a tanulmányban bemutatott eredmény ugyanakkor egy teljesen új jelenségre hívja fel a figyelmet. Egy itt nem részletezett kísérletben a detektoranyagot a besugárzás folyamán 70°C hőmérsékletű sóoldatban kellett tartanunk, és gondos kísérletezőként meg kívántuk vizsgálni, hogy ez a besugárzási körülmény milyen hatással lehet a detektor érzékenységére. Meglepetésünkre azt találtuk, hogy mind a felületi maratási sebesség, mind a nyommenti maratási sebesség növekedett, de az utóbbi nagyobb mértékben, így növekedett a detektor érzékenysége is. Aztán a sóoldatot tiszta (ioncserélt) vízre cseréltük, a kezelési hőmérsékletet 100 °C-ra emeltük, és azt láttuk, hogy az érzékenyítő hatás így még nagyobb mértékű. A továbbiakban megvizsgáltuk ennek a hatásnak a kezelés hőmérsékletétől és időtartamától való függését, az alfa-részecskék energiájától való függését, a kezelés és a maratás kezdete között eltelt időtartamtól való függését. Külön megvizsgáltuk, hogy milyen hatása van ennek az előkezelésnek a detektoranyagnak egy radonmérő detektorban [7] való alkalmazása során a radondetektor radonbesugárzásra való érzékenységére, illetve a nyomszámlálás kényelmére.

ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

A kísérletekhez az Angliában gyártott TASTRAK márkájú [8] PADC típusú maratottnyom-detektor anyagot használtunk. Ehhez először 12 mm * 16 mm * 1mm nagyságú darabokat kellett vágnunk, melyeket vaslemezre vékonypárolgatott ²⁵²Cf hasadvány-, és alfa-részecske-forrással sugároztunk be. A kalifornium bomlásakor 6,1 MeV energiájú alfa-részecskéket sugároz ki, melyek megfelelőek a detektor tanulmányozásához. Ezentúl a sugárforrástól távolodva egyre kisebb energiájú alfa-részecskékkel dolgozhatunk, mivel azok mozgásuk során a levegőben lefékeződnek, veszítenek energiájukból.

A kalifornium spontán hasadása is felhasználható a kísérlet során, hiszen így a besugárzás folyamán a detektor felületére hasadványok is érkeznek különböző szögben, s ezek maratott nyomai alkalmasak a detektorból lemart felületi réteg vastagságának mérésére. A hasadványnyomok mentén a maratási sebesség 1-2 két nagyságrenddel nagyobb a felületi maratási sebességnél, így jó közelítéssel egy hengeres üreg maratódik ki, melynek átmérője kétszer akkora, mint a detektor felületéről lemaradódott réteg vastagsága.

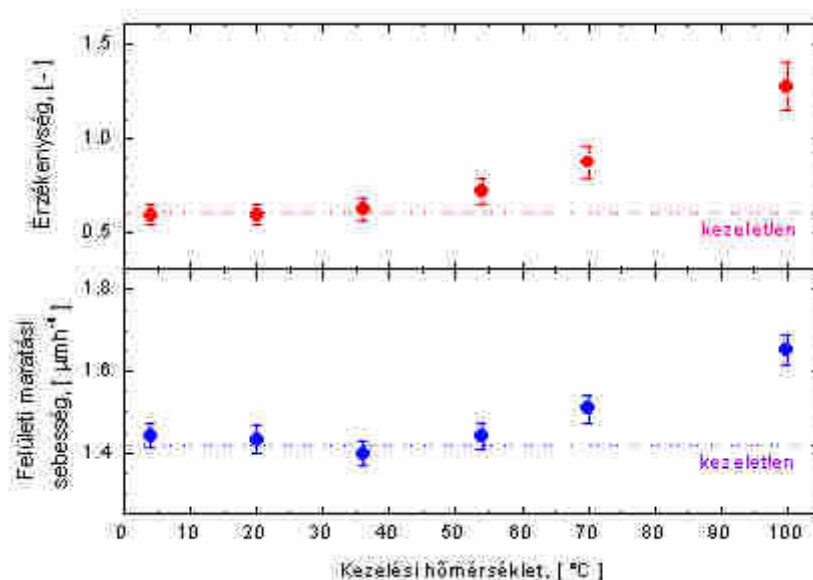
A maratást 20%-os NaOH oldatban végeztük 100 °C-on 40 perc, vagy 70°C-on 5 óra maratási idő mellett. A detektorok érzékenységét ezután a maratás során láthatóvá vált

részecskenyomok optikai mikroszkóppal való megfigyelése után számoltuk. Minden esetben 20-20 véletlenszerűen kiválasztott (merőlegesen érkező) alfa-részecske és ferdén érkező hasadvány átmérőjét mértük meg. A detektor érzékenysége: $S = (1 + A)/(1 - A) - 1$, ahol $A = (d/2h)^2$, d az alfa-részecskék nyomának átmérője, h pedig a lemart réteg vastagsága.

EREDMÉNYEK

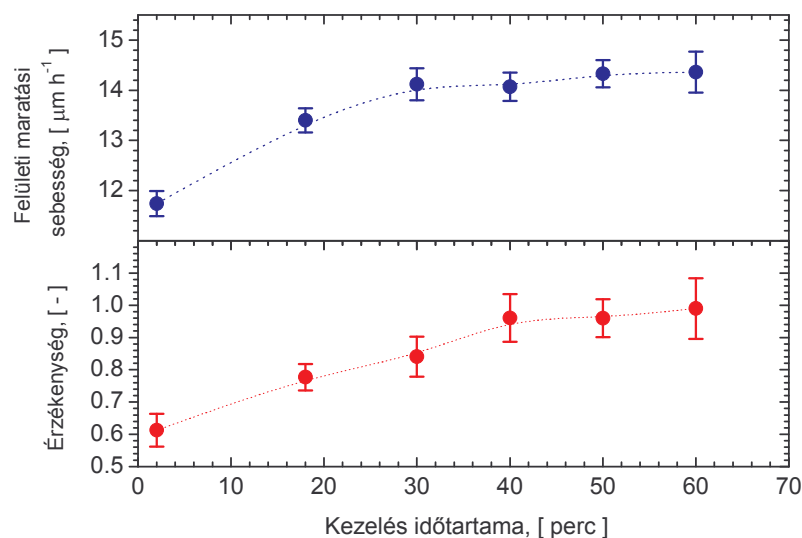
Kísérleteink célja a melegvizes kezelés részletes vizsgálata volt. Tanulmányoztuk a detektor érzékenységének kezelési hőmérséklettől való függését, a különböző kezelési idők hatását, az alfa-részecskék energiájától való függést, valamint a kezelés és a maratás közötti várakozási idő befolyását.

A kezelési hőmérséklet függvényében való vizsgálat során (1. ábra) azt találtuk, hogy a leghatásosabb a 100°C-os (forrásban lévő vízben való) kezelés. Alacsony hőmérsékleten az érzékenység nem változott, növekedés kb. 50°C-tól mutatható ki. (A kezelés 55 percen keresztül történt, a detektorok maratása 1 perccel a kezelés befejezése után kezdődött.)



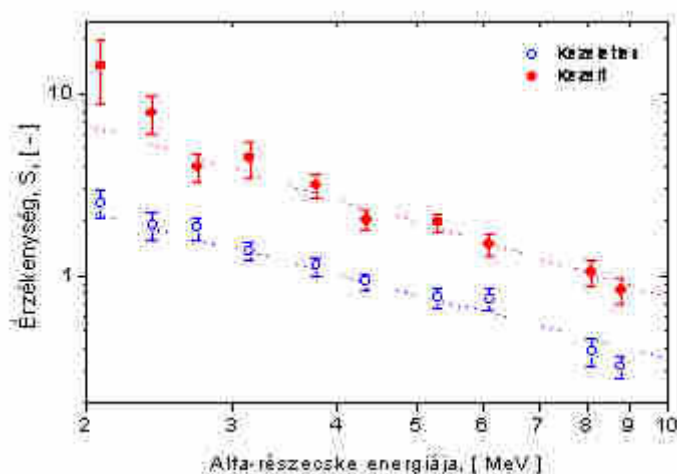
1. ábra. A TASTRAK PADC felületi maratási sebességének és 6 MeV-es alfa-részecskékre való érzékenységének változása maratás előtt különböző hőmérsékletű vízfürdőben való áztatás hatására. (Maratás 70°C-on 5 órán át.)

A kezelési időtartamtól való függést mutatja a 2. ábra. Látható, hogy az érzékenység jelentős javulása csak kellő ideig tartó kezelés után mutatkozik, s ez jelen esetben 45 perc. 45 perc után viszont számottevően már nem változik sem a felületi, sem a nyommenti maratási sebesség, így az érzékenység is állandó értéken marad. Ez a 45 perces kezelési idő nem található túl hosszúnak a gyakorlatban, de lényegesen megkönnyíti a detektorral való munkát.



2. ábra. A TASTRAK PADC felületi maratási sebességének és 6 MeV-es alfa-részecskékre való érzékenységének változása 100°C-os vízben való előkezelés hatására a kezelés időtartamának függvényében. (Maratás 100°C-on 45 percig.)

A kísérletet különböző energiájú alfa-részecskékkal is elvégeztük. Ehhez a besugárzást úgy kellett elvégeznünk, hogy a detektorokat a sugárforrástól egyre nagyobb távolságokban helyeztük el. A maratás előtt a detektorokat 100°C-on, 45 percig kezeltük. Az érzékenység növekedése minden energián megközelítőleg duplájára emelkedik, tehát nem energiatfüggő a jelenség (3. ábra).

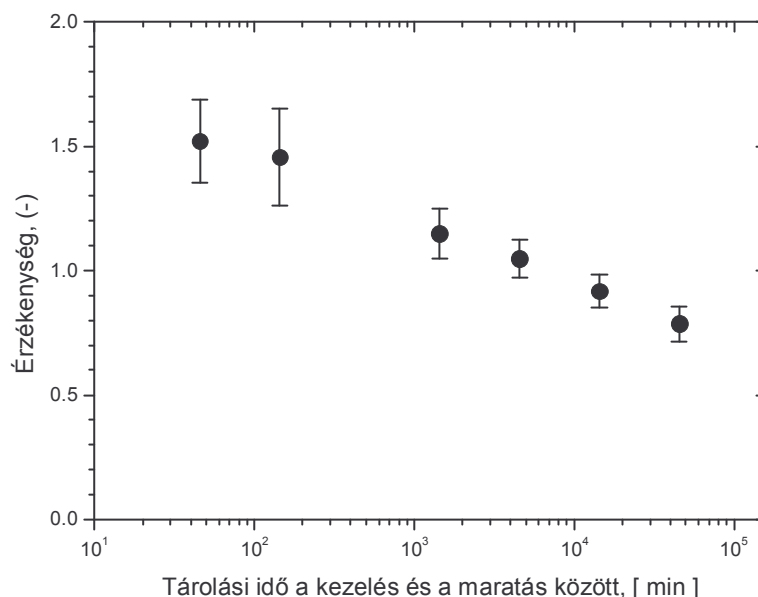


3. ábra. A TASTRAK PADC detektor alfa-részecske válaszfüggvénye kezeletlen és maratás előtt 45 percen át 100°C-os vízben való előkezelés esetén. (Maratás 70°C-on 5 órán át.)

Az, hogy az érzékenyítés függetlennek mutatkozott az alfa-részecske energiájától rendkívül ígéretes abból a szempontból, hogy feltehetően ugyanilyen mértékű érzékenyítésre lehet számítani a vizsgálatnál kisebb LET értékű részecskenyomok esetén is, vagyis az érzékenyítés protonok esetén is kell, működjön. Ennek pedig elsősorban a neutronozimetriában való

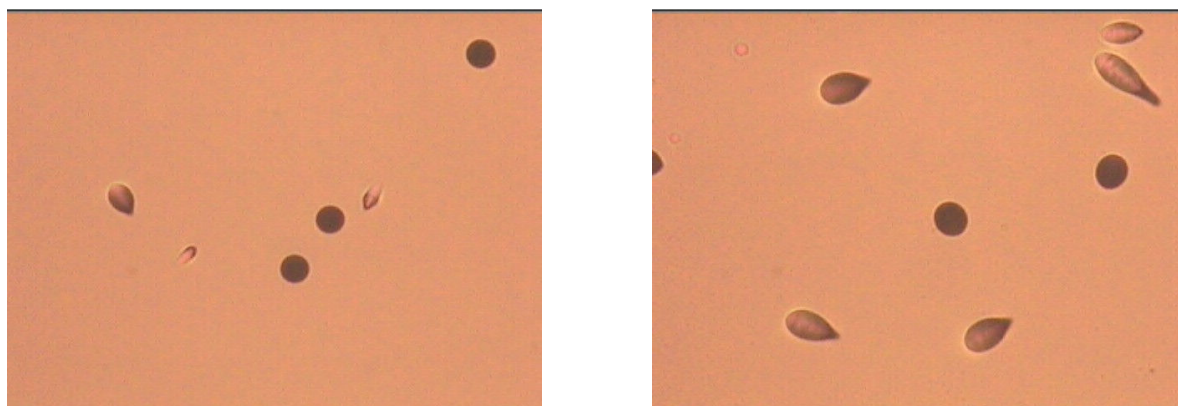
alkalmazások esetén van nagy jelentősége, ahol a neutronok detektálása leginkább a meglökött protonokon keresztül történik.

Korábbi kutatásokból tudjuk, hogy a detektor érzékenysége a gyártás után jelentősen csökken (különösen az első 3 hónapban). Kíváncsiak voltunk így arra is, hogy milyen hatással van a forrásban lévő vízben való kezelés és a maratás megkezdése közötti tárolási idő. Ezt mutatja a 4. ábra. A detektor érzékenysége a tárolási idő növekedésével egyre csökken, így tehát célszerű a maratást közvetlenül a forróvízes előkezelés után elvégezni.



4. ábra. A TASTRAK PADC felületi maratási sebességének és 6 MeV-es alfa-részecskékre való érzékenységének változása a kezelés és a maratás közötti idő függvényében. (Maratás 70°C-on 5 órán át.)

Külön megvizsgáltuk, hogy milyen hatása van ennek az előkezelésnek a detektoranyagnak a Radamon radonmérő detektorban való alkalmazása során a radondetektor radonbesugárzásra való érzékenységére, illetve a nyomszámlálás kényelmére. A Radamon radondetektorban azonos módon besugárzott, majd kezeletlen és kezelt detektorokon megfigyelhető maratott nyomokat mutatja az 5. ábra.



5. ábra. Maratott alfa-részecske-nyomok Radamon radondetektorban besugárzott CR-39-ben. A baloldali képen kezeletlen, a jobboldalin pedig maratás előtt 45 percen át 100 °C hőmérsékletű vízben kezelt detektor látható. (Maratás 70°C-on 5 órán át.)

Látható, hogy a kezelt detektor esetében nagyobbak és szebbek lettek az alfa-részecskék nyomai. Ugyanakkor, ha kis mértékben is, de szignifikánsan megnőtt a Radamon radonbesugárzásra való érzékenysége is.

KONKLÚZIÓ

Ezzel a maratás előtti forróvizes előkezeléssel nem érhető el olyan mértékű érzékenységnövekedés, mint CO₂ kezeléssel, de a kezelés körülményei lényegesen egyszerűbbek, mint a CO₂ kezelés esetében, így azt várhatjuk, hogy a nyommaratás mindennapi gyakorlatában nagyobb sikere lesz, mint a CO₂ kezelésnek.

IRODALOM

- [1] Cartwright B. G., Shirk E. K. and Price P. B.: A nuclear track recording polymer of unique sensitivity and resolution, Nucl. Instrum. Meth. 153, pp. 457-460.
- [2] Csige I., Hunyadi I., Somogyi Gy. and Fujii M. (1988) Vacuum effect on etch induction time and registration sensitivity of polymer track detectors. Int. J. Radiat. Appl. Instrum., Part D. Nucl. Tracks Radiat. Meas., 15, Nos. 1-4, 179-182.
- [3] Csige I., Hunyadi I. and Charvat J. (1991) Environmental effects on induction time and sensitivity of different types of CR-39. Int. J. Radiat. Appl. Instrum., Part D.; Nucl. Tracks Radiat. Meas., 19, Nos. 1-4, 151-154.
- [4] Fujii M., Csige I. and Somogyi Gy. (1987) The effect of vacuum and UV-exposure on the sensitivity of polymeric track detectors. Proc. of 20th International Cosmic Ray Conference, Moscow. Eds. Kozyarivsky et al. Moscow, Nauka 2. 414-417.
- [5] Fujii M., Yokota R., Kobayashi T. and Hasegawa H. (1995) Sensitization of polymeric track detectors with carbon dioxide. Radiation Measurements, 25, pp. 141-144.
- [6] Csige I. (1997) Post-irradiation sensitization of CR-39 track detector in carbon dioxide atmosphere. Radiat. Measur. 28(1-6), 1997, pp. 171-176.
- [7] Csige I. and Csegzi S. (2001) The Radamon radon detector and an example of application, Radiation Measurements, 34, pp. 437-440.
- [8] Track Analysis Systems Ltd., H.H. Wills Physics Laboratory, Tyndall Avenue, Bristol BS8 1TL, UK

A pályamű a SOMOS Alapítvány támogatásával készült