

ZRINYI MIKLÓS
NEMZETVÉDELMI EGYETEM

Nagy Gábor:

HORDOZHATÓ ENERGIASZELEKTÍV SUGÁRZÁSMÉRŐ SZONDA
KIFEJLESZTÉSE PIN DIÓDA ALKALMAZÁSÁVAL

című doktori (PhD) értekezésének szerzői ismertetője
(TÉZISFÜZET)

Tudományos témavezető:

Dr. habil. Vincze Árpád

-2010-

Bevezetés

A hordozható izotópszелеktiv eszközök széles körben használatosak, mint például a környezet radiológiai monitorozása, a katasztrófavédelem/nukleáris-baleset elhárítás, a radioaktív anyagok illegális kereskedelme, a NAÜ biztosítéki ellenőrzések (safeguards) és a katonai műveletek ABV támogatása területén. Magyarországon a honvédség, a Paksi Atomerőmű, az Országos Élelmiszervizsgáló Intézet, különböző kutató intézetek (AEKI, OSSKI), különböző egyetemek és az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság rendelkezik hordozható izotópszелеktiv eszközzel.

Dolgozatomban elsősorban a katonai területen alkalmazott eszközökkel foglalkozom és a kutatásom is ilyen alkalmazásra koncentrál. Jelenleg a Honvédség helyszínre vonuló egységei közül, csak a HAVÁRIA laboratórium rendelkezik izotópszелеktiv eszközökkel. Ezek hátrányos tulajdonságokkal rendelkeznek a terepi alkalmazhatóságukat tekintve. Ezt felismerve kezdtem bele kutatásomba, melynek középpontjába tehát egy olyan sugázmérő szonda kifejlesztését helyeztem, amely tulajdonságai jobban alkalmazkodnak a terepi igénybevételhez, és megfelelő alapot nyújthat más, helyszínre vonuló egység számára is.

A Magyar Köztársaság NATO csatlakozása után, a 2000-2009 közötti időszakban, a Magyar Honvédség csapatainak sugárfelderítő képessége jelentősen javult. Ellátták a csapatokat IH-95 sugárszint- és szennyezettségmérő műszerrel, a vegyivédelmi szakcsapatoknál megjelentek a korszerű járműfedélzeti sugárfelderítés eszközei, előbb a VS BRDM-2, majd a VS-BTR harcjárműveken. Rendszeresítésre került a „Légi sugárfelderítő konténer”, ami négy csatornás (közelítő) gamma spektroszkópiára is alkalmas. A HAVÁRIA laboratóriumhoz beszerezték gammasugárzó radioaktív izotópok azonosítására alkalmas nagy tisztaságú germánium félvezető detektorokat.

A Magyar Honvédségnek a NATO SIRA kézikönyvben meghatározott követelményeknek kell megfelelni a detektálás, felderítés és azonosítás területén. Ezen követelmények közül az egyik legfontosabb, hogy a szakalegységeket el kell látni olyan hordozható és gépjárműre szerelhető gamma spektroszkóppal, amely alkalmas a gyakoribb gammasugárzó radioaktív izotópok terepi azonosítására.

A talajra kihullott gammasugárzó radioaktív izotópok gyors, helyszíni kimutatására alkalmas eszközök már ismertek. Ezek a többnyire félvezető detektort és sokcsatornás analizátort alkalmazó eszközök drágák, óvatos kezelést és speciális szakértelmet igényelnek, katonai alkalmazhatóságuk gyakran nehézségekbe ütközik.

A szennyezettség izotópszелеktiv kimutatására alkalmasak még a szilárd szcintillációs detektorokat alkalmazó spektrométerek is, ezek működéséhez azonban egy a környezeti körülményekre (hőmérséklet, mechanikai igénybevétel, stb.) érzékeny fotoelektron-sokszorozóra van szükség. A fotoelektron-sokszorozó kevésbé érzékeny komponenssel történő kiváltásával és a hozzá tartozó elektronikának a miniaturizálásával jelentős méretbeli, fogyasztásbeli és a mechanikai érzékenységbeli csökkenés érhető el.

A fotoelektron-sokszorozó kiváltására ígéretes eszköz lehet egy speciális félvezető eszköz, a PIN dióda. A PIN dióda a fotoelektron-sokszorozóhoz képest számos előnyös tulajdonsággal rendelkezik, melyek közül a kutatás szempontjából legfontosabb a kis fogyasztása és mérete, kvantumhatásfoka a mágneses térrel szembeni érzéketlensége. Mivel a PIN dióda is egy egyszerű p-n átmenet, ezért ha a rétegek nem sérülnek gyakorlatilag tönkretehetetlen.

Ha optikai csatolást létesítünk a PIN dióda és egy szilárd szcintillátor kristály között, a dióda segítségével érzékelhetjük a kristályban létrejött fény impulzusokat. Megfelelő elektronika és sokcsatornás analizátor segítségével a sugárforrás gamma-spektrum felvételére van lehetőség, így a gyakoribb gammasugárzó izotópok azonosíthatóak lennének.

A szcintillációs detektor gyengébb felbontásából eredő analitikai probléma speciális, célorientált kiértékelési algoritmusokkal kiküszöbölhető.

A kereskedelemben már kaphatóak szilárd szcintillációs kristállyal integrált PIN diódás detektorok, de ezek elsősorban kutatási célra, laboratóriumi körülmények közötti használatra egyedileg kerültek kifejlesztésre és ezért nem alkalmasak katonai igénybevételre.

A fentiek alapján hipotézisként lefektettem, hogy megvalósítható egy olyan szcintillátor kristályból, PIN diódából, jelfeldolgozó erősítőből álló detektorrendszer, amely kisebb, olcsóbb és terepi alkalmazásra jobban alkalmazható a rendszerben lévő, gammasugárzó izotópok kimutatására használt eszközöknél.

Kutatási célkitűzések

A kutatásom általános célkitűzése, hogy (i) a terepi körülmények közötti alkalmazhatóság szempontjából értékeljem a Magyar Honvédségnél jelenleg bevethető, gamma sugárzó izotópok meghatározásra alkalmas eszközparkot. Az értékelés alapján (ii) meghatározom az ideális terepi mérőeszköz fontosabb tervezési peremfeltételeit, és ebből kiindulva (iii) kidolgozom a terepi körülményekhez jobban igazodó, gamma sugárzó izotópok kimutatására alkalmas, PIN diódát alkalmazó eszköz rendszertervét.

Ezen belül a következő konkrét célokat tűztem ki:

- a) A Magyar Honvédség egyes egységeinél (HAVÁRIA, MH 93 Vegyivédelmi Zászlóalj, MH Honvéd Egészségügyi Központ) jelenleg alkalmazott eszközök elemzése a terepi alkalmazhatóság szempontjából és ezek alapján egy ideális terepi mérőeszköz fontosabb tervezési peremfeltételeinek a meghatározása.
- b) A PIN dióda, mint foton detektálására képes eszköz, terepi alkalmazhatóságának elemzése és egy a terepi viszonyok között jól alkalmazható eszköz rendszertervének elkészítése.
- c) A PIN diódát alkalmazó detektorrendszer zajszámításának elvégzése és optimális áramköri tervezése és kiépítése.
- d) Az új mérő rendszer mintapéldányának elkészítése és energiaszelektivitásának elemzése az izotópszелеktív mérési lehetőség bizonyítására.

A kutatás módszerei

A kutatás során alapvető szempontnak tekintetem a tudományos megalapozottságot, a rendszerszemléletű megközelítést, a megfigyelésekre, az analízisekre, és szintézisekre épülő következtetések kialakítását. Célkitűzéseimet a kapcsolódó szakirodalom és más dokumentumok feldolgozásával, elemzésével valamint saját tapasztalataimon, kísérleti méréseimen és feldolgozásomon keresztül kívántam elérni. A nukleáris sugárfelderítés tárgyban kiadott szabályozókat, módszertani útmutatókat tanulmányoztam, a témához kapcsolódó könyveket, jegyzeteket, tanulmányokat kutattam fel, kritikai feldolgozásnak vettem alá, elemeztem. Áttekintettem és összehasonlítottam a Magyar Honvédségnél, jelenleg használatos, a kutatásomhoz kapcsolódó eszközöket, rendszereket és módszereket. Kutatásaim során konzultáltam a honvédség HAVÁRIA laboratóriumában dolgozó

kollegákkal, melyek eredményeit az általam kidolgozott rendszer kialakításánál messzemenően felhasználtam.

Összefoglalás

Az I. fejezet első részében definiáltam, hogy mit értünk izotópszelektív mérési eljárás alatt. Bemutattam azt a két, a NATO-ban is használatos méréstechnikát, ami alkalmas gammasugárzó izotópok terepi körülmények közötti azonosítására. A fejezetben megállapítottam, hogy a Magyar Honvédség, különböző alegységei rendelkeznek ugyan terepi körülményekhez igazodó izotópszelektív eszközökkel, azonban ezen eszközök részletes elemzése után arra a következtetésre jutottam, hogy az egyes eszközök kialakításuk, hordozhatóságuk, mérési eljárásaik miatt bizonyos hátrányokkal rendelkeznek. Megállapítottam, hogy szükség van egy olyan kompakt, terepi körülmények között is helyt álló izotópszelektív eszközre, amely kezelése egyszerű, nem igényel hálózati tápellátást, spektrum kiértékeléshez nem szükséges számítógépet csatlakoztatni a detektorhoz és könnyen hordozható, telepíthető.

A II. fejezetben összefoglaltam a félvezető eszközök azon fizikai tulajdonságait, amik alkalmassá teszik a magsugárzások detektálására. Megvizsgáltam, hogy mi történik, ha egy töltött részecske csapódik a félvezető kiürített rétegébe. Megállapítottam, hogy a PIN dióda is, mint speciális félvezető, alkalmas izotópszelektív detektor készítésére. Összehasonlítottam a szcintillációs méréstechnikában használt fotoelektron-sokszorozót és a PIN diódát, ismertetve előnyeiket illetve hátrányaikat. Ezen tulajdonságokat figyelembe véve megállapítottam, hogy a PIN dióda alkalmasabb nagyobb (terepi) igénybevétel mellett a szcintillációs kristályból érkező fotonok erősítésére.

A III. fejezetben vázoltam az általam vizsgált PIN diódás detektor rendszer felépítését, és elemeztem az egyes részeket, úgymint töltés érzékeny előerősítő és jelformáló főerősítő, elektromos tulajdonságai alapján. Levezettem, hogy miért alkalmas a töltés érzékeny előerősítő a szenzorként használt PIN diódában sugárzás által gerjesztett töltés kinyerésére. Megvizsgáltam az előerősítő egyes elemeit, miként befolyásolják a hasznos jel teljes információ tartalmának feldolgozását. Mivel a detektor által szolgáltatott jel amplitúdója a mV-os tartományba esik, ami már az elektromos és a külvilág felől érkező zajforrások amplitúdó szintje, nagy szükség van a rendszer pontos zaj analízisére. Ezért teljes zajszámítást végeztem a rendszeren, így eljutva a megfelelő időállandókig és elektronikus paraméterekig.

A fejezet végén, alkalmazva az előbb említett paramétereket, konkrét áramköri megvalósításon keresztül bebizonyítottam, hogy egy CsI(Tl) szcintillátor kristály és egy PIN dióda összekapcsolásával képesek vagyunk izotópszelektív magsugárzás detektálásra.

A IV. fejezet első pontjában meghatároztam azokat az elektromos tulajdonságait a rendszernek, amik a detektáló képességét befolyásolják. Elvégeztem a detektor ekvivalens zajtöltés vizsgálatát, és az így megállapított jelformálási időt használva sugárforrásokkal ellenőriztem a rendszer válasz jeleit. Oszilloszkóp segítségével megállapítottam, hogy a rendszer a beállított időállandóval különböző amplitúdójú jeleket produkál, valamint a sugárforrás mérésénél jelentős beütésszám növekedés volt tapasztalható. A fejezetben radioaktív forrásokkal elvégeztem a rendszer bemérését. Spektrumokat vettem fel, elvégeztem az energia kalibrációt, és megvizsgáltam az eredmények függését a különböző beállításoktól. Igazoltam, hogy a rendszer alkalmas szennyezettség minőségi elemzésére.

Új tudományos eredmények

- 1) A Magyar Honvédség HAVÁRIA készenléti szolgálatánál alkalmazott radionuklid azonosításra alkalmas eszközök részletes elemzésével megállapítottam, hogy szükség van egy olyan hordozható, kompakt, terepi körülmények között is alkalmazható izotópszelektív mérést megvalósító eszközre, melynek kezelése egyszerű, nem igényel hálózati tápellátást és könnyen telepíthető. A PIN dióda fényérzékelő tulajdonságait elemezve megállapítottam, hogy kiváltva a szcintillációs gamma-spektrométerek fotoelektron-sokszorozó egységét, a fenti célra alkalmas eszköz alapjául szolgálhat.
- 2) Kialakítottam egy CsI(Tl) szcintillátorból és PIN diódából álló detektoregység elvi felépítését, meghatároztam a detektor és a hozzá kapcsolódó rendszer elektromos paramétereit, és teljes zajszámítást végeztem az egyes részegységeken. Az így optimált elektromos paraméterek alapján megalkottam egy terepi viszonyok között is használható detektor rendszertervét.
- 3) Elkészítettem egy CsI(Tl) szcintillátorból és PIN diódából álló detektor mintapéldányát. Radioaktív forrásokkal történt mérésekkel bizonyítottam, hogy a detektor energiaszelektivitása megfelelő izotópszelektív mérések kivitelezésére.

Ajánlások, javaslatok

Az értekezésem végeredménye egy terepi körülmények között használható, energiaszelektív detektorrendszer. Úgy vélem, hogy az előállt rendszer minden olyan helyen bevethető lehet, ahol a méret, a fogyasztás, a kompakt kivitel fontosabb a vizsgálandó minta pontos, mennyiségi izotóp összetételének meghatározásánál. Ha a későbbiek folyamán az általam megvalósított detektorrendszert összekapcsolnánk egy kompakt, kisméretű többcsatornás analizátorral (digitális jelfeldolgozóval), kijelzővel látnánk el, és mindez a katonai körülményekhez igazodó külső borítást kapna, létre jönne egy olyan eszköz, amely robusztusságát és energiaszelektivitását tekintve felveszi a versenyt a jelenleg használatos terepi eszközökkel.

A munkám eredményeként előállt eszköz alkalmazható lehet:

- a Magyar Honvédség helyszínre vonuló, izotópszelektív terepi eszközzel nem rendelkező egységeinek, illetve a HAVÁRIA készenléti szolgálat detektoraként;
- mint változtatható geometriájú detektor, a kis mérete és fogyasztása miatt, több detektor összekapcsolásával. Kiválóan lehetne használni olyan helyzetekben, amikor a szennyezett tárgyat nehézkesen tudjuk megmérni, esetleg nemcsak a tárgy összeszennyeződésére vagyunk kíváncsiak, hanem a sugárforrás pontos elhelyezkedésére is. Ehhez a méréshez már bonyolult kiértékelő rendszer kell, hogy csatlakozzon, így ezt csak laboratóriumban lehetséges;
- szellőzőrendszerek beáramló levegőjének ellenőrzésére, szennyezettség és izotóp összetétel vizsgálatára. A kis méretének előnyei kihasználhatók olyan szűk helyeken, mint például védett objektumok szellőzőrendszere;
- szárazföldi robot felderítő képességének kiterjesztésére. Manapság előtérbe kerülnek a robotok alkalmazása mind katonai, mind katasztrófavédelmi feladatkörben. Egy ilyen szárazföldi eszközt (UGV) felszerelve az ismertett detektorral hatékony eszközt kapnánk, amely élő erő veszélyeztetése nélkül képes a felderítésre.

Témakörből készült publikációim

Cikkek

1. Nagy Gábor, Vincze Árpád, Solymosi József, Gujgiczter Árpád: Digitális jelfeldolgozós (DSP) nukleáris spektrométer lehetséges katonai alkalmazásai, Bólyai Szemle, 2004 Különszám, ISSN 1416-1443
2. Nagy Gábor, Kovács Tibor: A szcintillációs detektorok jelene és jövője, Hadtudomány, 2005 3. szám, ISSN 1215-4121
3. Nagy Gábor, Vincze Árpád: A radioizotópok gyakorlati alkalmazása, Kard és Toll, 2005 2. szám, 164-168 oldal, ISSN 1587-558X
4. Nagy Gábor, Vincze Árpád: Félvezető eszközök, mint sugárzásérzékelő detektorok, Hadmérnök, II. Évfolyam 1. szám - 2007. március, ISSN 1788-1919
5. Nagy Gábor, Vincze Árpád: A PIN dióda alkalmazása napjainkban, Hadmérnök, II. Évfolyam 4. szám - 2007. december, ISSN 1788-1919
6. Nagy Gábor, Bäumlér Ede, Csurgai József, Molnár László, Pintér István, Vincze Árpád, Zelenák János, Solymosi József: PIN dióda alkalmazhatósága pilóta nélküli légi sugárfelderítésben, Repüléstudományi konferencia, 2009 április 24., 12 oldal
7. Zelenák János, Nagy Gábor, Csurgai József, Molnár László, Pintér István, Bäumlér Ede, Solymosi József: A légi sugárfelderítés képességei alkalmazhatóságának vizsgálata elveszett, vagy ellopott sugárforrások felkutatása, illetve szennyezett terepszakaszok felderítése során, Repüléstudományi konferencia, 2009 április 24., 14 oldal
8. Nagy Gábor, Vincze Árpád, Pintér István, Csurgai József, Sarkadi András, Solymosi József: A PIN dióda alkalmazhatósága terepi sugárfelderítésben, XXXIV. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam, Hajdúszoboszló, 2009 április 28.-30.
9. Gábor Nagy, Árpád Vincze, Tibor Ranga, Ottó Zsille, József Solymosi: Environmental impact assessment of radioactive water pipe leakage at NPP Paks, Periodica Polytechnica, Chemical Engineering, 53/2, 2009, 87-91

Előadások

1. Nagy Gábor, Vincze Árpád, Solymosi József, Gujgiczter Árpád: Digitális jelfeldolgozós (DSP) nukleáris spektrométer lehetséges katonai alkalmazásai, IIIrd International Symposium on Defence Technology, 2004, Budapest
2. Nagy Gábor, Bäumler Ede, Csurgai József, Molnár László, Pintér István, Vincze Árpád, Zelenák János, Solymosi József: PIN dióda alkalmazhatósága pilóta nélküli légi sugárfelderítésben, Repüléstudományi konferencia, 2009, Szolnok
3. Nagy Gábor: A hazai légi sugárfelderítés története, Vegyivédelmi szolgálat létrehozásának 60. évfordulója konferencia, 2010, Budapest

Szakmai önéletrajz

Személyes adatok

Név: Nagy Gábor
Születési idő: 1979. augusztus 21.
Születési hely: Eger

Iskolai végzettségek

- 1997** Wigner Jenő Műszaki, Informatikai Középiskola, Eger,
Elektronika-elektrotechnika szak
- 2002** Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Villamosmérnöki és Informatikai
Kar, Okleveles villamosmérnök
- 2004-** Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Katonai Műszaki Doktori Iskola, PhD képzés

Nyelvismeret

- 2002** Angol középfok C típusú nyelvvizsga
2010 Francia alacsonyfok C típusú nyelvvizsga

Főbb szakmai tevékenységek

2003-tól folyamatos részvétel az alábbi, Paksi Atomerőműben végzett méréseken:

Modellező eljárás és berendezés fejlesztése aktív széntöltetű levegő szűrők vizsgálatára;

Radiojód szeparátor kifejlesztése az atomerőmű primerkörű hőhordozója radiojód tartalmának meghatározására;

Mérőrendszer VVER típusú atomerőművekben a védőcső blokkok fűtőelem-kazetta mentességének meghatározására;

Jódszűrő aktív szén töltet helyszíni tömörségellenőrzése.

2005 Finnországi szerviz mérnöki tanulmányút a Paksi Atomerőmű ALNOR TLD személyi dózismérő kiértékelő berendezés karbantartási feladatainak ellátása érdekében

2006 Hitelesítő és minősítő szoftverek, hardverek fejlesztése a Paksi Atomerőmű Sugárfizikai Laboratóriumnak

2007- Adatbázis fejlesztése és karbantartása a Paksi Atomerőmű Környezet Ellenőrző Laboratóriumának