



Nagy Gábor¹ - Bäumlér Ede² - Csurgai József³ - Molnár László⁴ - Pintér István⁵ - Vincze Árpád⁶ - Zelenák János⁷ - Solymosi József⁸

PIN DIÓDA ALKALMAZHATÓSÁGA PILÓTA NÉLKÜLI LÉGI SUGÁRFELDERÍTÉSBEN

ABSZTRAKT

A sugárfelderítés alapvető harcászati célja ismert esemény (atomcsapás, harctevékenységtől független kibocsátás) után a sugárhelyzet felmérése, vagy konvencionális támadás után a terep felderítése. Felderítésre manapság egyre gyakrabban alkalmazzák az un. pilóta nélküli repülő (PNR) eszközöket. A pilóta nélküli ABV felderítő repülő eszközben nincs ember, tehát a katonák túlélését nem veszélyezteti. A PNR ABV felderítő eszközökbe elhelyezett mérő eszközök kisebbek és könnyebbek, mint a pilótával felderítő eszközben elhelyezettek.

Jelen írásban összefoglaljuk a hazai légi sugárfelderítésre alkalmas eszközöket, valamint a nukleáris méréstechnikában használt fotó-elektronsokszorozó félvezetővel történő kiváltásának lehetőségét mutatjuk be. Félvezető eszköz alkalmazásával, képesek vagyunk közel hasonló eredményt produkálni, mint a fotó-elektronsokszorozóval, azonban szállítási és működtetési paraméterei jóval kedvezőbbek.

The basic purpose of the radiological reconnaissance is to gather information about real radiological situation after nuclear or other radiological event including strike or non attack release.

Nowadays, the use of the unmanned aerial vehicle (UAV) seems to be very perspective because it saves human lives and health moreover it is lighter because it does not content human live-protecting and supplying environment. Elements of measurement system deployed on-board of the UAV are smaller and lighter than deployed on the helicopter.

In the recent paper we summarize Hungarian-made measurement devices that can be used in the airborne radiological reconnaissance as well as replacing photomultiplier of the scintillation detector

¹ SOMOS Kft

² GAMMA Műszaki ZRt

³ MH Görgei Artúr Vegyivédelmi Információs Központ

⁴ MH Összhaderőnemi Parancsnokság

⁵ SOMOS Kft

⁶ Országos Atomenergia Hivatal

⁷ MH Görgei Artúr Vegyivédelmi Információs Központ

⁸ Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem

with semiconductor. Using semiconductor instead of photomultiplier provides almost the same result but it is more advantageous in transporting, packing and operation.

A LÉGI SUGÁRFELDERÍTÉS (LSF) FELADATAI

A légi sugárfelderítésnek három alapvető célja lehet:

- A terepszennyezés felderítése. A nagy kiterjedésű kontamináció feltérképezése során számítással meg kell határozni az egyes területek sugárszintjét a repülési magasság, a légköri- és talajviszonyok figyelembevételével.
- Pontszerű radioaktív források behatárolása. A háttersugárzástól szignifikánsan eltérő pontok indikálásával meg kell határozni a források földrajzi koordinátáit.
- Radioaktív izotópok azonosítása. Energia-szelektív mérésekkel támpontot nyújtani a radioaktív szennyezettség összetételének becsléséhez.

A légi sugárfelderítés előnye gyorsasága, valamint az, hogy a kezelő állomány kisebb dózist szenved el, mint az egyéb felderítési módzatoknál (pilóta nélküli eszköznél nincs is elszenvedett dózis). Hátránya, hogy a repülés magassága és sebessége miatt a változó légköri és a terepviszonyok nagy mérési összehibát okoznak.

LSF-NÉL ALKALMAZOTT DETEKTOROK ÉS MÉRÉSI MÓDSZEREK

Alacsony aktivitású radioaktív szennyezést csak nagy érzékenységű detektorral, nuklid azonosítást pedig jó energia felbontású detektorral lehet lokalizálni. Legtöbbször a repülőket nem csak egy, hanem többféle detektorral szerelik fel. Azon kívül, hogy pontosabb képet kapunk a szennyezésről, biztonsági okai is vannak a több detektor alkalmazásának.

- Dózisteljesítmény mérő

Ezt a feladatot szinte minden esetben Geiger- Müller-detektorral oldják meg, robosztus felépítése, és nagyfokú megbízhatósága miatt. Szokás két csövet is használni egy eszközben, hogy minél nagyobb mérési tartományt fedjenek le ($0.01 \mu\text{Sv/h} - 10 \text{ Sv/h}$). A detektor működéséhez szükséges elektronikát és jelfeldolgozó egységet egy kompakt egységként kezelhetjük.

- Szcintillációs detektor

Legtöbb esetben NaI(Tl) szcintillációs detektort használnak izotópozonosításra. Nagy tisztaságú germánium detektort is használhatnának, ami jobb képességekkel rendelkezik, azonban ennek hűtéséhez folyékony nitrogént kell biztosítani. A NaI(Tl) kristállyal szerelt szcintillációs detektorok egyrészt a kristály mérete, másrészt a kristályhoz kapcsolódó fotoelektronsokszorozó és a hozzá kapcsolódó elektronika miatt elég nagyméretűek.

A légi sugárfelderítés elmélete

Kiterjedt szennyezettség esetén a sugárszint az alábbiak szerint határozható meg [1]:

$$P_1 = k_1 P_h e^{k_2 h} \quad (1)$$

P_1 = sugárszint, Gy/h;

P_h = h magasságon mért dózisteljesítmény, Gy/h;

h= mérési magasság, m;

K_1 = terepviszony elnyelési faktor (1,7 – 2);

K_2 =légkör elnyelési faktor (0,007 - 0,012);

A K_1 és K_2 szovjet szakirodalom szerinti értékei által meghatározott két függvény volt a kezelő által beállítható a Varsói Szerződés idején használt IH-31L műszernél. A manapság használatos eszközknél jóval több függvény (akár 24, 12 nagyfelületű – 12 pontszerű forrásra vonatkozó) programozására van lehetőség, a repülés során, vagy az utólagos kiértékelésnél.

Pontszerű forrás esetén a forrástól 1 méterre a dózisteljesítmény:

$$P_1 = k_3 \cdot P_h h^{k_4} \quad (2)$$

P_h = h magasságon mért dózisteljesítmény

h= mérési magasság

K_3 = terepviszony elnyelési faktor (1 –1,18)

K_4 =légkör elnyelési faktor (2 –2,4)

(Megjegyzés: vákuumban ez az ismert négyzetes összefüggés)

Ugyancsak lehetőség van egy magyar szabadalom [2] szerint két, vagy több magasságon mért dózisteljesítmény adatokból görbeillesztéssel (pl.: legkisebb négyzetek módszere) meghatározni a megfelelő gyengítési tényező függvényét és a továbbiakban a légköri viszonyok változatlansága esetén azt felhasználni a sugárszint meghatározására. Erre egy egyszerű példa egyenletes terepszennyezés esetén h_1 és h_2 magasságokon történő dózisteljesítmény mérésével (k_1 = állandó peremfeltétellel):

$$K_2 = \frac{(\ln P_{h_2} - \ln P_{h_1})}{(h_2 - h_1)} \quad (3)$$

Az így számított K_2 értéket tekintheti a légköri és szennyezési (spektrális) viszonyok jelentős megváltozásáig a rendszer a sugárszint számítás alapjának.

AZ LSF-NÉL ALKALMAZOTT REPÜLŐESZKÖZÖK MAGYARORSZÁGON

A sugárfelderítő eszközrendszer egyik fontos elemét képezik a légi sugárfelderítő eszközök, melyek rendeltetése háborús körülmények és ipari nukleáris balesetek után a terep sugárfelderítése gyors, elsődleges helyzetfelmérés céljából. A légi sugárfelderítés a leggyorsabb módszer, ugyanakkor a legpontatlanabb, ezért az elsődleges helyzetfelmérést később egyre pontosabb, de egyre időigényesebb

földfelszíni mérések követik járműfedélzeti eszközzel, hordozható műszerrel, végül a begyűjtött minták laboratóriumi analízisével.

Helikopteres sugárfelderítő rendszer

Mivel az évezred végén nem lehetett tudni, hogy melyek a perspektív helikopter típusok, ezért a helikoptertől lényegében független, a rakétavető helyére függeszthető konténerben lett kialakítva a sugárfelderítő rendszer, amely a légi sugárfelderítés mindhárom feladata megvalósítására alkalmas.



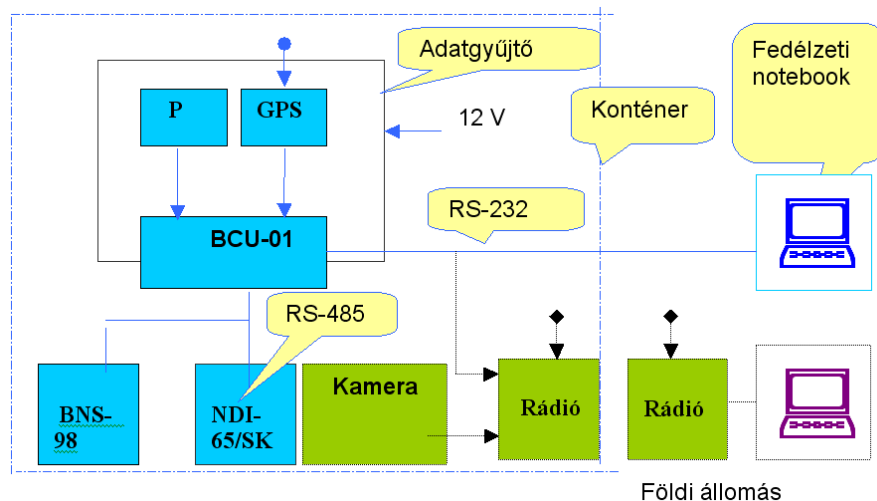
1. ábra MI-8-as helikopter (balra) és az IH-31L légi sugárszintmérő (jobbra)

A 80-as 90-es években Magyarországon légi sugárfelderítésre a honvédségben rendszeresített MI-8-t használták. Ezen egy légi sugárfelderítő raj utazott és az IH-31L légi sugárszintmérő eszközt használták földi sugárszint meghatározására. A sugárzási és időjárási viszonyok alapján beállítható két gyengítési függvény egyikével kiszámolta a földi sugárszintet [3]. A kapott eredmények automata vagy félautomata adatátviteli rendszeren keresztül voltak továbbíthatók.

1999-ben a HTI megkezdte a mind háborúban, mind békeműveletek során alkalmazható helikopteres NBC felderítő rendszer kifejlesztését.

Ennek eredményeként kifejlesztett légi sugárfelderítő konténerbe beépítésre kerültek az alábbiak [4]:

- BNS-98 típusú dózisteljesítmény-távadó (GM csöves nukleáris detektor);
- NDI/SK típusú intelligens szcintillációs nukleáris detektor, speciális üreges NaI(Tl) kristállyal, ólom kollimátorban, beépített sugárkapu algoritmussal;
- Adatgyűjtő egység (BCU-01 típusú), amely az alábbiakból áll;
- barometrikus nyomásmérő termosztátban;
- GPS helykoordináta meghatározó vevő egység;
- GPS helykoordináta meghatározó antennája;
- "LegiABV" adatgyűjtő-, megjelenítő- és feldolgozó program.



2. ábra Légi sugárfelderítő rendszer bloksémája

A mérési ciklus 2 s, így a szokásos repülési sebesség mellett is kellő felbontással lehet a sugárszintet meghatározni, ha a fedélzeten mérhető dózisteljesítmény eléri a $\mu\text{Gy/h}$ nagyságrendet. Alacsonyabb dózisteljesítmény esetén a 2 másodperces adat az utolsó n mérés átlagából képződik. Az intelligens szcintillációs detektor egy $\varnothing 75 \times 50$ mm NaI(Tl) szcintillátor, speciális üreges kiképzéssel. Az üregbe homlok és haránt irányból egyaránt fényérzékeny foto-elektronsokszorozó illeszkedik. Árnyékolása 20 mm ólom kollimátor, látószög 45° , kúpos. A detektorba be van építve a sugárkapu algoritmus, a sugárzás szignifikáns növekedése esetén riasztást küld. A pillanatnyi, az átlag értékeket és a státuszokat RS-485 soros vonalon, lekérdezésre küldi az adatgyűjtőnek. A mérési ciklusa 0,5 s. A riasztás 0,5 s alatt bekövetkezik, ha a sugárzás legalább 200 nGy/h -ra növekedik, Cs-137 sugárforrással vizsgálva, a hazánkra jellemző háttérsugárzás értékek (80 nGy/h) mellett. Az energia-szelektív riasztásnál a sugárzás szignifikáns növekedése esetén a riasztásnak csatornánként is be kell következnie a 20-100 keV, 100-400 keV, 400-900 keV és a 900 keV fölötti tartományban.

2002-ben a konténert először hangárban MI-17 típusú gépre, amely szerkezetileg megegyezik a MI-8 típusal, majd a reptéren MI-24 harci helikopterre szerelték és a Pellérdi zagyarázó felett próbálták ki [5]. Az eszköz egy konténerben működött, autonóm módon, függetlenül a helikopter fedélzeti rendszerétől. Így a rendszer működése nem függött a rendelkezésre álló hordozó eszköztől.

2004-ben csapatpróbán sikeresen kipróbálták, 2005-ben pedig rendszeresítették a konténert.



3. ábra Légi sugárfelderítő konténer a MI-24-en (balra) és BNS-98 (jobbra)

Pilóta nélküli repülők (PNR)

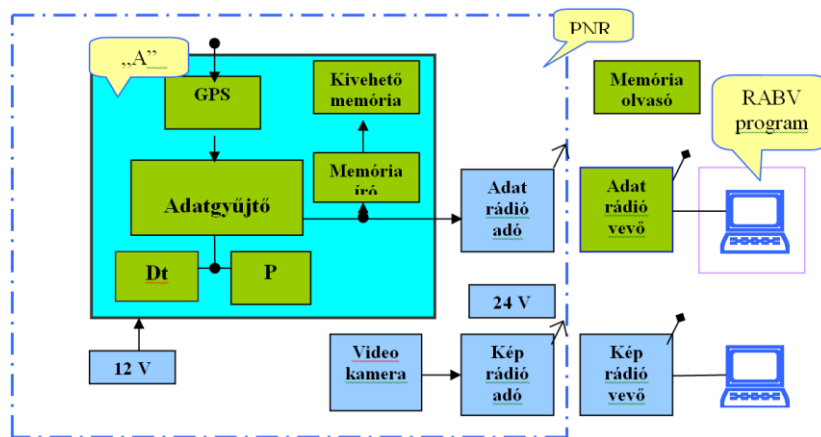
PNR-ek a 60-as évektől léteznek. A 80-as évek közepétől azonban a számos technikai újításnak köszönhetően jóval hatékonyabbak lettek. Számos EU ország rendelkezik saját fejlesztésű pilóta nélküli repülővel, azonban a legnagyobb fejlesztők az USA és Izrael.

A pilóta nélküli ABV felderítő repülő eszközökbe elhelyezett mérő eszközök kisebbek és könnyebbek, mint a pilótával felderítő eszközben elhelyezettek. A pilóta nélküli ABV felderítő repülő eszközben nincs ember, tehát a katonák túlélését nem veszélyezteti.

Pontosabb, és a földi felderítéssel gyakorlatilag egyenértékű információt kaphatunk, ha a repülési paramétereket a helikopteres felderítéssel analóg módon alkalmazzuk. Ez a módszer a nyers mérési adatok 1 méteres referenciamagasságára történő konverzióján alapul, amelynek során figyelembe veszik a repülés magasságát, valamint a földfelszín és a detektor között légréteg páratartalmát is.

Pilótánélküli repülőt légi-sugárfelderítésre 1995-ben teszteltek Magyarországon a Haditechnikai Intézet és a Gamma Műszaki Rt. közösen fejlesztésében [6]. Ez a repülő eszköz a SZOJKA-III típus volt. A repülő fedélzetén az S-6 és S-2 félvezető detektorokat és egy SZBT-10 GM csövet tartalmazó sugárszintmérő rendszer gyors nagyságrendi becslést adott az 500 $\mu\text{Gy/h}$ feletti földi sugárszintű területről, egy 300 m magasán, 160 km/h-val repülő pilóta nélküli eszköz fedélzetéről, 2 másodperces felbontásban. Az eszköz működését felügyelő, irányító és értékelő jármű számítógépe szoftveresen figyelembe veszi a magassági gyengítési tényezőt, az időjárási és terepviszonyokat. GPS-es helymeghatározást alkalmazva digitális térképen jeleníti meg a sugárszint értékeket.

A kifejlesztett rendszer repülési ellenőrző vizsgálatait Táborfalván próbálták ki, négy darab NS-84 sugárforrás segítségével (A Cs-137 források aktivitása egyenként kb. 4000 GBq volt). Egy négyzet sarkain helyezték el a sugárforrásokat, remélve azt, hogy így a középpont kis környezetében sikerül egyenletesen szennyezett terepet szimulálni. Az elméletileg is kétséges kísérlet két sugárforrás nem teljes kivezérelhetősége miatt nem sikerült. A sugárfelderítő rendszer azonban a GPS kivételével jól működött. A pontforrások felderítésére történő alkalmasság bizonyossá vált.



4. ábra Pilóta nélküli sugárfelderítő rendszer bloksémája (2003-04)

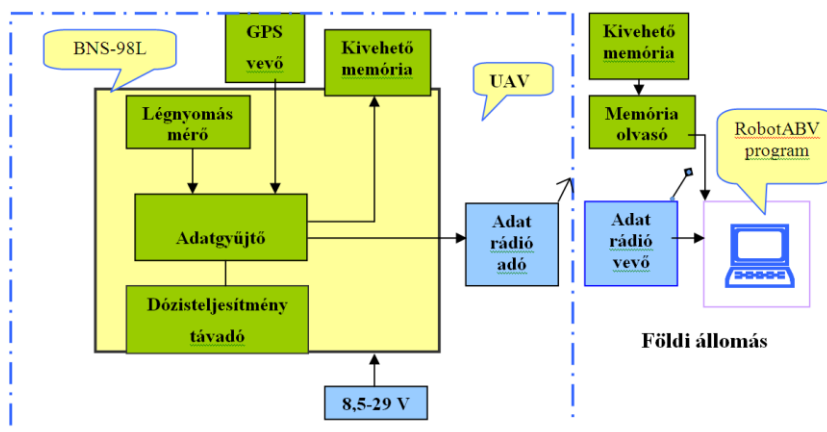


5. ábra. Szojka-III típusú légi sugárfelderítő (2004)

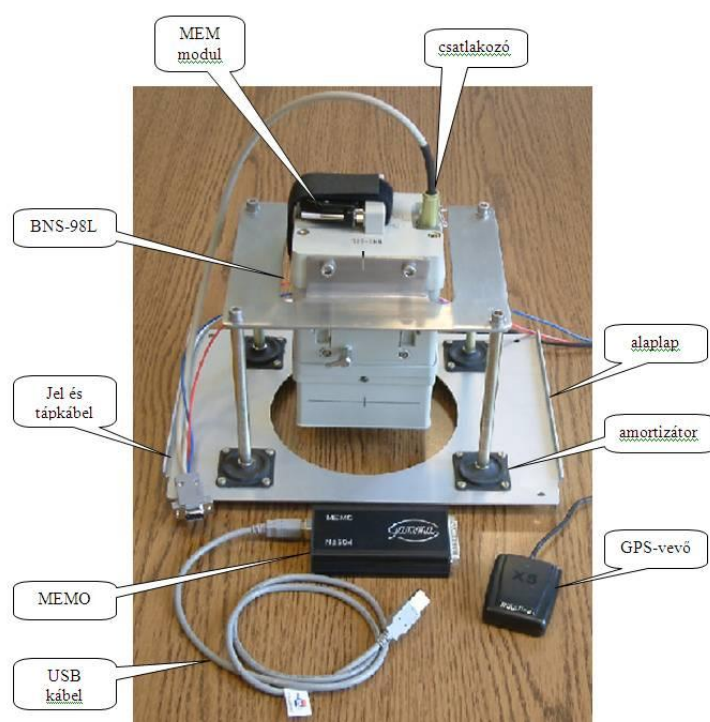
A hazai és külföldi tapasztalatokat elemezve 2005-ben az alkalmazott sugárfelderítő rendszer fejlesztésén esett át [7].

Az alábbi átalakítások történtek:

- Új adatgyűjtő hardver, szoftver tervezése. Követelmény: az adatgyűjtő panel férjen be a BNS-98-ba az üres I/O panel helyére.
- Új barometrikus légnyomásmérő. Követelmény: nem termosztált.
- Antennával egybeépített GPS modul rendszerbe illesztése. Követelmény: ANTARIS rendszerben dolgozzon..
- Az adatgyűjtőbe új GPS adatfeldolgozó program írása az ANTARIS rendszer miatt.
- BNS-98L konstrukció kialakítása, a BNS-98 módosításával.
- Új konstrukció barometrikus légnyomásmérőhöz.
- Új alaplap – amortizátor konstrukció.



6. ábra. Továbbfejlesztett pilóta nélküli sugárfelderítő rendszer bloksémája (2005)



7. ábra Komplettn légi sugárfelderítő rendszer (2005)

További hazai és külföldi eszközök fejlesztése

Hazai kutatások közül mindenképpen meg kell említeni a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetemen folyó pilóta nélküli repülőgépek témában történő kutatást, fejlesztést. Az elmúlt közel egy évtizedben számos fejlesztővel és gyártóval intenzív K+F tevékenység folyt a pilóta nélküli repülőgépek, mint légi hordozók elméletét és gyakorlati alkalmazását érintő kérdésekben.

A kutatócsoport legfőbb munkái közé tartoznak a pilóta nélküli repülőgépek sárkányszerkezetének kutatása, fejlesztése, a gépek hajtóműveinek kutatása, kifejlesztése, a különböző feladatokra alkalmas fedélzeti szenzorok, illetve hasznos terhek kutatása, a pilóta nélküli repülőgépek irányító és navigációs berendezéseinek, robotpilótájának kutatása, fejlesztése. Mindezekén túl tevékenységünk a katonai,

illetve a polgári feladatokra való alkalmazás és üzemeltetés követelményeinek és szabályainak kidolgozását is felölelte.

A hazai és a nemzetközi sajtó is beszámolt róla, hogy a lengyelországi WB Electronics vezető katonai rendszerintegrátor cég egyezményt írt alá a Honvédelmi Minisztériummal egy pilóta nélküli repülőgép rendszer leszállítására. A tendert 2006 szeptemberében írta ki a MK pilóta nélküli repülőgép beszerzésre [8].

Külföldi kutatások között a legfontosabb az UAVNET nevű Európai Unió projekt. Ennek Célja, a polgári felhasználású pilóta nélküli repülőgépek kutatása és fejlesztése, elsősorban az Európai Unió tagországok részvételével. Mindezeket túl alapvető célként jelent meg a projekt elindításakor, hogy a résztvevő vállalatok, kutatóintézetek és egyetemek közösen dolgozzák ki és adjanak ajánlásokat a polgári pilóta nélküli repülés jogszabályi hátterének megalkotásához, illetve tegyenek javaslatot az EU közös irányelveire ezen a területen [9].

PIN DIÓDA ALKALMAZÁSA PNR-EN

Az alkalmazás célja

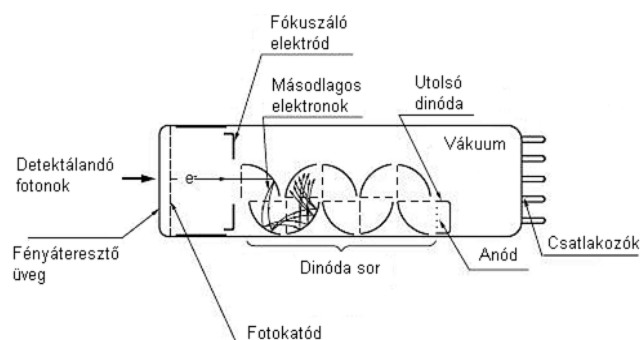
PIN diódás detektor elhelyezésével a pilóta nélküli repülőn, jelentős méretbeli és fogyasztásbeli csökkenés érhető el. Manapság nem ritka az olyan robotrepülő (microUAV), amely hasznos terhe pár kg esetleg még annál is kisebb. Az ilyen eszközökben lehet helye a félvezetőnek.

PIN dióda leírása, működése

Utóbbi években kivételes tulajdonságai (elsősorban hatásfoka és energiafelbontása) miatt csaknem kizárólag a félvezető és a szcintillációs detektorokkal végzett γ -spektrometriát és annak változatait használják.

Nukleáris jelek detektálásánál és a spektroszkópiában leggyakrabban a fotóelektron-sokszorozót (PMT) alkalmazzák, amely képes a szcintillátor kristályból kilépő „gyenge” fényimpulzust megfelelő elektromos jellé alakítani anélkül, hogy különösen nagy véletlen zajt táplálna a rendszerbe.

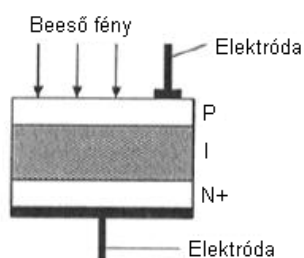
A fotóelektron-sokszorozó egy olyan fényérzékeny eszköz, amely optikailag összeköttetésben van a szcintillátor kristállyal. Célja, hogy a kristály fény energiáját elektromos jellé alakítsa. A fotóelektron-sokszorozó ún. fotókatódokat tartalmaz, ami általában 10, sorba kapcsolt dinódát jelent. A cső elején egy üveglap helyezkedik el, melynek feladata a cső belsejében található vákuum (10^{-4} Pa) megtartása. Vákuum szükséges ahhoz, hogy az alacsony energiájú elektronokat is hatékonyan gyorsítsa fel az elektromos mező.



8. ábra. Fotóelektron-sokszorozó felépítése

Habár a leggyakrabban fotóelektron-sokszorozót használnak terepi alkalmazásuk körülményes. A működésükhöz néhányszor 1000V szükséges, érzékenyek a mágneses mezőre, kialakításuk miatt óvatos kezelést igényelnek és nem utolsó sorban a méretük nem teszi lehetővé a hordozhatóságot.

A technológiai fejlődés lehetővé tette olyan félvezető diódák kifejlesztését, melyeket együtt használhatunk a szcintillátor kristállyal. Ezen új technológiák már számos területen bizonyították a fotóelektron-sokszorozók kiválthatóságát. A nemzetközi szakirodalomban leggyakrabban alkalmazott félvezető eszköz a PIN dióda.

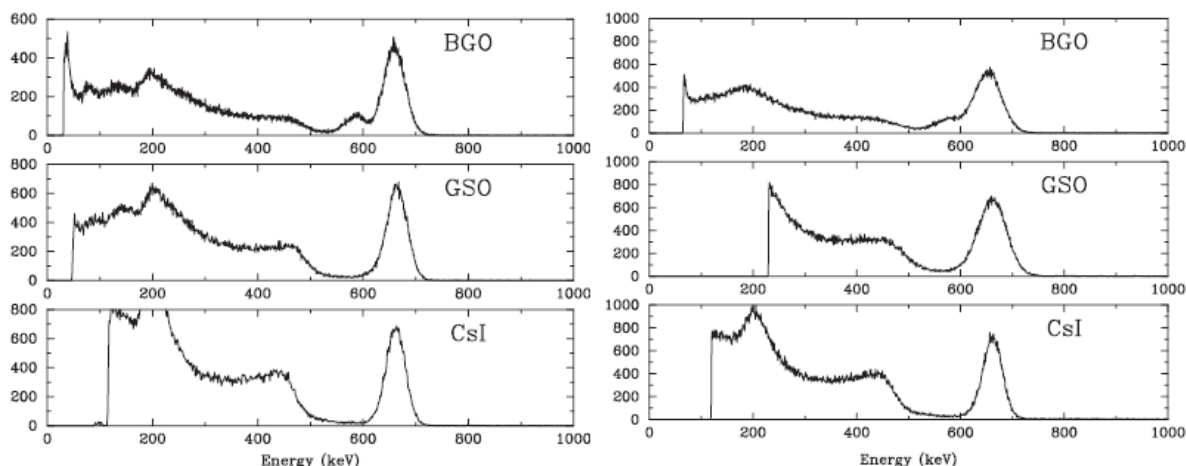


9. ábra. PIN dióda felépítése

Viselkedésének jellegzetességeit szerkezete adja meg, - a nevében is erre utalóan- olyan a felépítése, hogy a P és az N réteget egy hosszú és viszonylag nagy ellenállású (kiürített) szakasz választja el egymástól.

A PIN dióda működése közben, adott zárófeszültségnél a kiürített réteg a fajlagos ellenállás növelésével nő, tehát a gyengén adalékolt, intrinsic tartomány a működtetés során teljes egészében kiürített lesz. A dióda felépítése olyan, hogy az intrinsic tartományhoz csatlakozó n és p típusú kristályrétegek rendkívül keskenyek, tehát a töltéshordozó párok keltése döntő többségben a kiürített réteg tartományban történik. A kiürített rétegben a rekombináció valószínűsége kicsi, tehát a keltett töltéshordozók csaknem száz százalékban hozzájárulnak a fotóáramhoz. [10]

Számos kutatás folyik arra vonatkozólag, hogy milyen szcintillátor kristályt érdemes a PIN diódához csatolni. Vizsgálják fotóelektron-sokszorozóval illetve PIN fotódiódával is.[11]



10. ábra ^{137}Cs forrás detektálása PMT-vel és PIN diódával különféle kristályok felhasználásával, BGO ($\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$), GSO (Gd_2SiO_5), CsI (Cézium-jodid) [12]

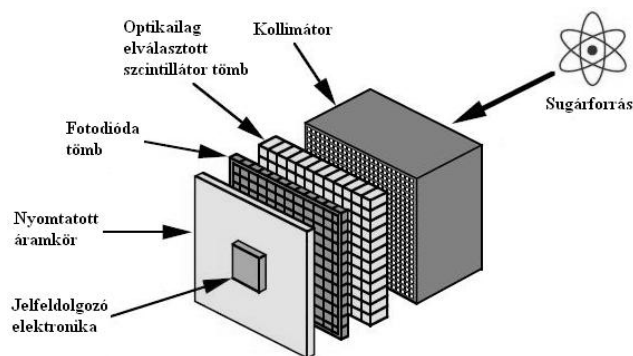
PIN dióda előnyei, hátrányai

Felépítése miatt a PIN dióda elsősorban nagydózisú terek felderítésére valamint spektrumbecslésre lehet alkalmas.

A detektáló felülete kisebb, mint a fotóelektron-sokszorozónak, azonban többi tulajdonsága jóval alkalmasabbá teszi terepi használatra. A legfontosabb ilyen tulajdonság, a méretbeli különbség, a jóval alacsonyabb működési feszültség, ezzel együtt a fogyasztás, és a magasabb kvantum hatásfok, ami növeli a pontforrások detektálásának valószínűségét figyelembe véve a légi felderítés változó magasságát és nagy sebességét.

Nagy előnye a fotóelektron-sokszorozóknak, hogy nem igényelnek olyan kifinomult jelfeldolgozó elektronikát, mint a PIN diódák. Az ilyen félvezető eszközöknél nagyon nehéz megtalálni a megfelelő jel-zaj arányt, valamint a megtervezni a megfelelő töltés érzékeny erősítőt.

Megfelelő szcintillátor kristály geometriával hatásosan kompenzálható a kis érzékeny felületből adódó hátrány. Jelentős mértékben növelhetjük a detektor érzékenységét, ha nem egy diódát és kristályt alkalmazunk hanem, úgynevezett tömbös felépítést. A tömbös felépítés lényege, hogy több kristályt és diódát helyeznek el különféle (mátrix, soros) geometriában. Ezek mind optikailag elszigeteltek egymástól, illetve külön feldolgozó elektronika kapcsolódik hozzájuk. Az összes elektronika jelét egyetlen áramkör fogadja, és továbbítja feldolgozásra. Ezzel az elrendezéssel megnövelhető az érzékeny felület.



11. ábra. Tömbös felépítés

BEFEJEZÉS

A szcintillátor és PIN dióda összekapcsolva egy intelligens feldolgozó és kiértékelő elektronikai egységgel (mikrokontroller, DSP) egy komplett, γ -spektrometriára alkalmas detektor rendszert kapunk.

Egy ilyen rendszerrel felszerelt pilóta nélküli repülő képes a különféle nukleáris balesetek következtében kialakult sugárszennyezett terepszakasz, illetve pontszerű sugárforrások felderítésére. Mindezt úgy, hogy képesek vagyunk a talajra kihullott alacsony szintű, de az élő erők egészségét már veszélyeztető gammasugárzó radioaktív izotópok gyors, helyszíni detektálására.

Későbbiekben az elektronika finomításával, illetve a kiértékelő szoftver fejlesztésével tovább növelhetjük a rendszer hatékonyságát. Például a szoftvert felkészítve a különféle scenáriókra és a megfelelő feldolgozó algoritmust alkalmazva pontosabb képet kapnánk a szennyezett terepszakaszról.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] SOLYMOSI József: Korszerű sugárvédelmi mérőrendszerek I.-II. – Haditechnika 1994/2, 1994/3. sz.
- [2] SOLYMOSI József, BÄUMLER Ede, NAGY Lajos György, GUJGICZER Árpád, GRESITS Iván, ZAGYVAI Péter, DOROGI László, VODICSKA Miklós, VAJDA Nóra, TAKÁCS Márta: Eljárás és berendezés ismeretlen összetételű és/vagy többkomponensű főként hasadási termékekkel kontaminált terepszakaszok sugárszintjének légi felderítésére, HU 201161 B Szolgálati találmány, 1987.
- [3] ERDŐS József, PINTÉR István, SOLYMOSI József: Magyar ABV védelmi technikai almanach, ZMNE egyetemi kiadó, Budapest, 2003.
- [4] BÄUMLER Ede, ZELENÁK János, GYULAI Gábor, PINTÉR István, CSURGAI József, SVENDOR György, SOLYMOSI József: Az MH egységes sugárfelderítő rendszerének kifejlesztése, XXXII. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam, Hajdúszoboszló, 2007.
- [5] BÄUMLER Ede, PINTÉR István, ZELENÁK János: A légi sugárfelderítés elvei és gyakorlati megvalósításuk a pellérdi zagytározónál I-II. rész, Haditechnika, Budapest, 2003/4-2004/1.
- [6] BÄUMLER Ede, PINTÉR István, ZELENÁK János: A légi sugárfelderítés új eszközei, Bolyai Szemle különszám, Bp, 2004.
- [7] ZELENÁK János, PINTÉR István, CSURGAI József, GYULAI Gábor, BÄUMLER Ede, SOLYMOSI József: Az MH sugárfelderítő rendszerének elméleti alapjai és a gyakorlati megvalósítás, XXXII. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam, Hajdúszoboszló, 2007.
- [8] KOVÁCS László, VÁNYA László: Pilóta nélküli repülőgépek kutatás-fejlesztési tapasztalatai Magyarországon, Hadtudomány, XVII. évfolyam 2.szám, Budapest, 2007.
- [9] KOVÁCS László, VÁNYA László: Az Európai Unió polgári célú pilóta nélküli repülőgépeknek kutatás – fejlesztési programja: Az UAVNET, Repüléstudományi közlemények különszám konferencia kiadvány, Szolnok, 2005.
- [10] NAGY Gábor, VINCZE Árpád: Félvezető eszközök, mint sugárzásérzékelő detektorok. Hadmérnök, Budapest, 2007.
- [11] NAGY Gábor, KOVÁCS Tibor: A szcintillációs detektorok jelene és jövője, Kard és Toll, Budapest, 2005.
- [12] T. Nakamoto, Y. Fukazawa, T. Ohsugi, T. Kamae, J. Kataoka: BGO readout with photodiodes as a soft gamma-ray detector at -30°C, Nuclear Instruments & Methods In Physics Research Section A 536: 136-145, 2005.