

ALFA-SPEKTROSKÓPIA FÉLVEZETŐ DETEKTORRAL

BEVEZETÉS

A Si vagy Ge alapanyagú félvezető detektorokat - amelyeket szilárd ionizációs kamráknak is neveznek - széles körben alkalmazzák a nukleáris mérés technikában. Használhatók kb. 20 keV-es elektronenergiától 200 MeV-es nehéz ion (pl. alfa részecskék) energiáig spektrometriai célokra.

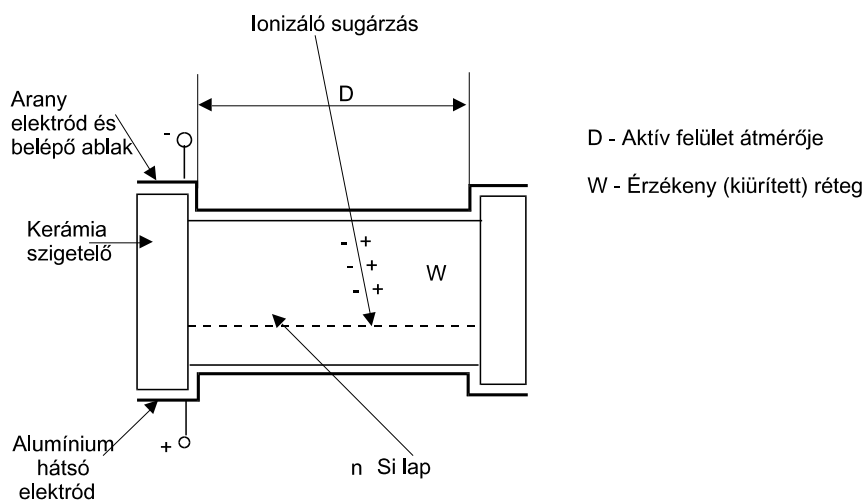
A félvezető detektorok számos típusát fejlesztették ki. Egyik fajtájuk az ún. felületi záróréteges Si detektor. Ez igen jó energia felbontással, gyors felfutású impulzus alakú (kb. 1 ns) rendelkezik, ezért jól alkalmazható spektrometriában, valamint koincidencia mérésekben.

Ezen detektorok megszólalási valószínűsége (azaz elektromos jel kiadása) azon töltött részecskékre, amelyek bejutottak a detektor érzékeny térfogatába, 100%, energia felbontásuk széles tartományban állandó. Kis méretük miatt jól illeszthetők különböző mérési geometriákhoz.

FELÜLETI ZÁRÓRÉTEGES DETEKTOROK

Alfa spektrometriai célokra leggyakrabban az ún. *felületi záróréteges detektorokat* alkalmazzák (1. ábra). Ezek alapanyaga nagytisztaságú **n** típusú Si egykristályból készült lap. Ezt savas maratás után oxidációnak vetik alá. A felületen kialakuló igen vékony oxid réteg **p** típusként szerepel. Így jön létre a *p - n átmenet*. Ezt követően a kristály egyik oldali sík felületére nagyon vékony (kb. 50 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) arany réteget visznek fel vákuum párologtatással. Az arany réteg egyrészt elektromos kontaktusul szolgál, másrészt fényzáróként szerepel. Ez a detektor belépő ablaka. Az arany rétegnek azért kell minél vékonyabbnak lenni, hogy a kis hatótávolságú (erősen ionizáló) alfa részecskék minél kisebb energiavesztéssel léphessenek be a detektorba. A Si lap másik síkoldalára - rendszerint Al-ból készült elektród kerül. Az arany és alumínium elektródák közé *záróirányú feszültséget* kapcsolnak, mely tovább szélesíti a *p - n átmenetnél* kialakult kiürített réteget. Ez a detektor *érzékeny térfogata*. Ennek olyan vastagságúnak kell lenni, hogy a mérendő alfa-részecskék teljesen abszorbeálódjanak benne, létrehozva elektron - pozitív lyuk töltéshordozó párokat. Az így keletkezett töltéshordozókat a detektorra kapcsolt feszültség összegyűjti és a kimeneten elektromos impulzusok jelennek meg. Az impulzus amplitúdója arányos az abszorbeált alfa részecske energiájával (energia mérés).

Az újabb technológiával készült detektorokat PIPS (**P**assivated **I**mplanted **P**lanar **S**ilicon) típusúaknak nevezik. Az ilyen detektor felülete implantált réteggel van ellátva és ezért sokkal ellenállóbb mechanikus behatásokkal (pl. dekontaminálás) szemben, mint az előző típus.



1. ábra Felületi záróréteges detektor szerkezete.

A felületi záróréteges detektorokat három - a mérés technika szempontjából fontos - paraméterrel szokás jellemezni:

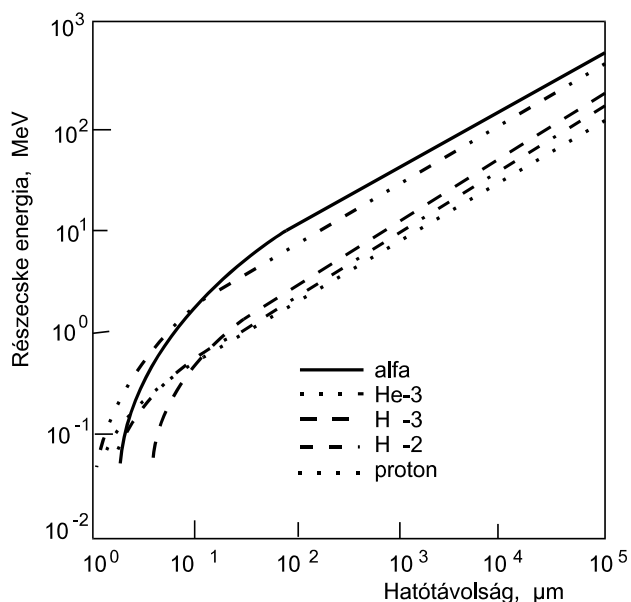
- energia felbontó képesség;
- aktív felület és
- kiürített réteg vastagság.

Általában az energia felbontás 20 keV körüli érték (5,5 MeV-es alfa részecskékre) és adott detektor esetén elsősorban a detektor és sugárforrás közötti távolságtól, valamint a forrás vastagságától függ. Az aktív felület általában 100 - 1000 mm² közötti. Ennek nagysága elsősorban a detektor hatásfokát szabja meg, de kihatással van az energia felbontásra is (elektronikus okokból). A kiürített réteg vastagsága 100 - 5000 μ m szokott lenni. Mint fentebb említettük, ez utóbbinak elégnek kell lenni a detektálni kívánt töltött részecskék teljes lefélékezéséhez, ami nyilván részecske fajta és energia függő. Erről ad tájékoztatást a 2. ábra.

Az 1. táblázat néhány „közismert” alfa-sugárzó izotóp nukleáris adatait tartalmazza.

1. táblázat

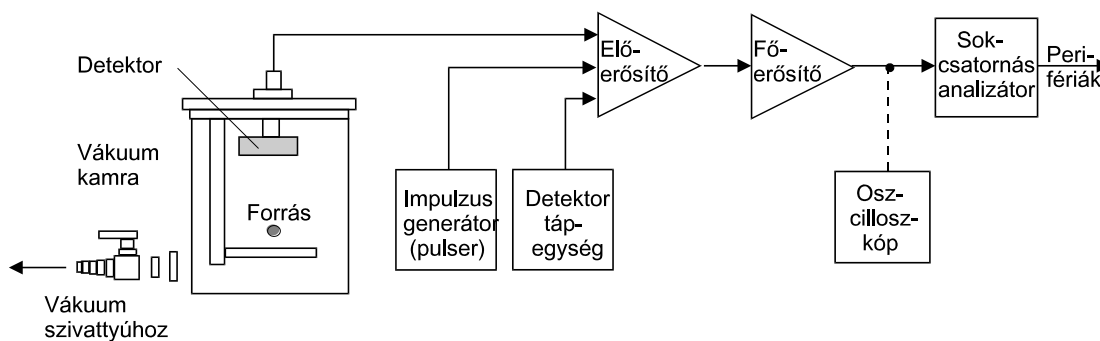
Z	izotóp	$t_{1/2}$	E_{α} (MeV)	k_{α} (%)
86	Rn-222	3,82 d	5,49	100
88	Ra-226	1600 y	4,79; 4,6	94,5; 5,6
90	Th-232	$1,41 \cdot 10^{10}$ y	4,01; 3,96	77; 23
92	U-235	$7,04 \cdot 10^8$ y	4,6; 4,56; 4,39; 4,37; 4,22;	4,6; 3,7; 57 74; 5,7
92	U-238	$4,47 \cdot 10^9$ y	4,2; 4,15	77; 23
94	Pu-239	$2,41 \cdot 10^4$ y	5,126; 5,14; 5,1	73,3; 15,1; 11,5
95	Am-241	432 y	5,49; 5,44; 5,39	86; 12,7; 1,3



2.ábra. Energia - hatótávolság görbék különböző töltött részecskékre Si-ban.

MÉRŐBERENDEZÉS (ALFA-SPEKTROMÉTER) BLOKKVÁZLATA

Egy alfa-spektrométer blokkvázlatát szemlélteti a 3.ábra.



3.ábra. Alfa-spektrométer blokkvázlata.

Tekintettel az alfa részecskék nagy fajlagos ionizáló képességére (kis hatótávolság), a detektort és a sugárforrást közös vákuum térbe kell helyezni, továbbá, a sugárforrásnak minél vékonyabbnak kell lenni, hogy benne az alfa részecskék abszorpciója - így energia szórásuk - minél kisebb legyen.

Figyelmeztetések:

- Az alfa sugárforrások aktív oldalát (de bármilyen más radioaktív sugárforrást sem) soha ne érintsük kézzel. Mindig a forrás tartó lemez szélét fogjuk meg csipesszel.
- A félvezető detektorok érzékeny felületét óvjuk a mechanikus hatásoktól, mert a felület megsérülhet és a detektor tönkremehet.

A detektor által szolgáltatott elektromos impulzusok jelformálás és erősítés céljából erősítő rendszerre kerülnek. Az erősítővel kapcsolatos szigorú kívánalom az igen jó jel/zaj viszony és a nagyfokú linearitás. Az erősítőkből kilépő elektromos jelsorozatot sokcsatornás analízátor (MCA: multichannel analyzer) dolgozza fel. A félvezető-detektoros alfa-spektrométerek MCA - ja - a detektor jó energia felbontása miatt - 1 - 2 ezer csatornás.

A spektrum kiértékelés általában számítógéppel (PC) és megfelelő software felhasználásával történik. A kiértékelés főbb lépései: csúskeresés, az energia kalibráció alapján energia meghatározás, izotóp azonosítás, határfok alapján aktivitás, vagy aktivitás koncentráció meghatározás.

Az impulzus generátor (pulser) és az oszcilloszkóp nem szoros tartozékai a spektrométernek, elsősorban a rendszer elektronikus vizsgálatához használatosak.

ALFA-SPEKTROMÉTEREK FŐBB JELLEMZŐI

Az alfa-spektrométerek legfontosabb jellemzői: az energia felbontó képesség és a hatásfok.

Az ENERGIAFELBONTÓ KÉPESSÉG az a két legközelebbi energia, amit a berendezés még szét tud választani. Ennek mérőszáma az ún. félérték szélesség (ld. később). Ezt egyrészt a detektor, másrészt az erősítők zaja határozza meg, de mint fentebb említettük, alfa-spektrometriában függ még a detektor - sugárforrás távolságtól is, valamint nagyban befolyásolja a sugárforrás "vékonysága" is. Megfelelő vékonyságú alfa-sugárforrás készítése általában igen bonyolult feladat és az alfa-spektrometria fontos tényezője.

A HATÁSFOK azt adja meg, hogy a sugárforrásból a 4π térszögbe emittált alfa részecskékből mennyi ad impulzust a spektrum energia csúcsaiba. Ezt a detektor belépő ablakának mérete, másrészt mérési geometria (sugárforrás detektor távolság, forrás alak) határozzák meg.

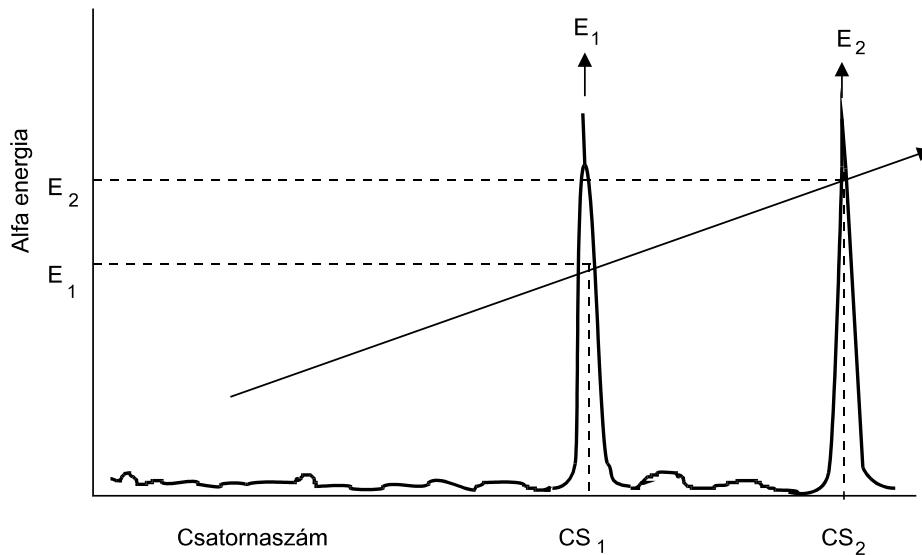
MÉRÉSI FELADATOK

1. ENERGIA KALIBRÁCIÓ

Ismert energiájú alfa részecskéket kibocsátó sugárforrást (etalon) helyezzen a detektor elé. A vákuumszivattyú bekapcsolása és a szükséges vákuum (néhány Pa) elérése után kapcsolja rá a detektorra az üzemi feszültséget (30-100 V - a gyakorlatvezető utasítása szerint). Vegyen fel alfa-spektrumot a sokcsatornás analizátorral. Az etalonhoz megadott energiák és az analizátorból kiolvasott, a csúcsok maximum helyeihez tartozó csatornaszámok ismeretében végezze el az energia kalibrációt az adott erősítő beállítás mellett (4.ábra), azaz határozza meg az energia kalibrációs egyenes paramétereit: meredekség, tengelymetszet, más szóval írja fel egyenletét:

$$E = mCS + b \quad (1)$$

ahol E = az alfa energia [keV],
 m = az energia kalibrációs egyenes meredeksége [keV/csatorna],
 b = a tengelymetszet (keV),
 CS = csatornaszám.



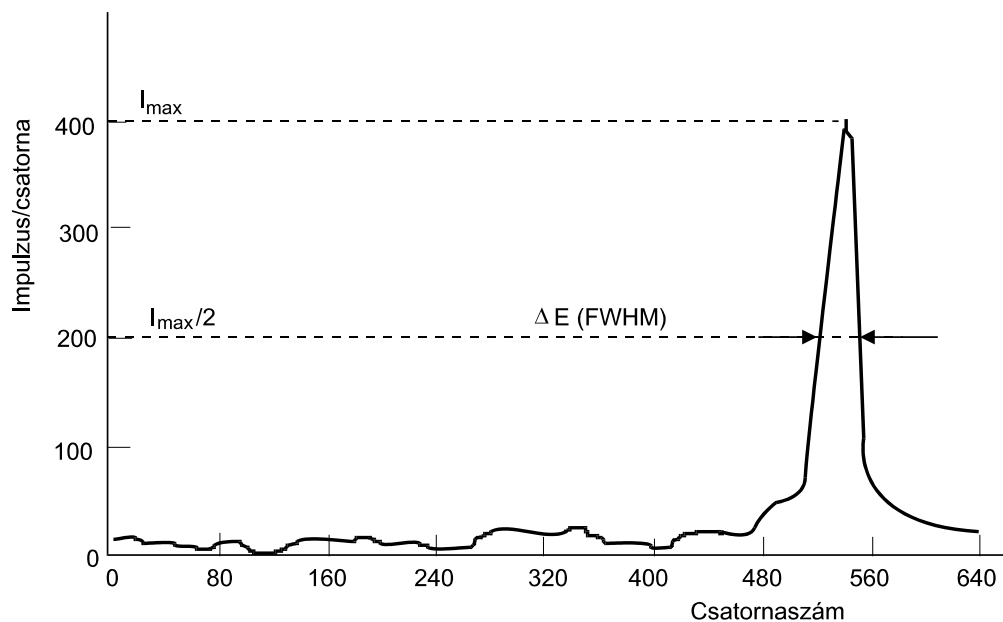
4.ábra. Energia kalibráció.

2. ENERGIA FELBONTÓKÉPESSÉG MÉRÉS

Helyezzen el ismert energiájú alfa részecskéket kibocsátó sugárforrást(okat) a detektor elé, egy közelebbi (kb. 5 mm) távolságra és vegyen fel spektrumot. A mérési idő megválasztásánál vegye figyelembe a statisztikus hibát! Határozza meg a spektrumban található energia csúcsok félértékszélességeit ΔE (FWHM = full width at half maximum) az 5.ábrának megfelelően.

A berendezés energia felbontására jellemző:

$FWHM [keV] = \Delta CS [csatornaszám] \cdot m [keV/csatornaszám]$ alapon számítható.



5.ábra. Energia felbontáshoz

Végezze el a fenti mérést és számítást úgy is, hogy a sugárforrás a detektortól távolabb (kb. 40 mm) van.

Hasonlítsa össze a két mérésből kapott eredményeket és magyarázza meg azokat.

3. ISMERETLEN ALFA SUGÁRZÓ IZOTÓP(OK) AZONOSÍTÁSA

Ismeretlen összetételű alfa sugárzó preparátummal vegyen fel spektrumot. Az energia csúcsok maximum helyeinek (csatornaszám) kiolvasása és az energia kalibráció alapján számítsa ki az alfa-energiákat. Izotóp táblázat segítségével a kapott energia értékek ismeretében állapítsa meg a minta izotóp összetételét és jegyezze fel az izotópok főbb nukleáris adatát (pl. felezési idő, "valódi" alfa-energiák és alfa gyakoriságok).

4. HATÁSFOK MEGHATÁROZÁS

Határozza meg a spektrométer hatásfokát abban a mérési geometriában, amelyben az ismeretlen mintát mérte. A hatásfok kétféle módon nyerhető:

- az egyik egy durvább közelítés, amely olyan esetben is alkalmazható, amikor nem áll rendelkezésre etalon kalibráló sugárforrás. Ez a módszer azon a feltételezésen alapszik, hogy minden a detektorba jutó alfa részecske hozzájárul a csúcs területhez. A sugárforrás - detektor távolság (H), valamint a detektor belépő ablak felszínének (F) ismeretében a hatásfok a következő módon becsülhető:

$$\eta = \frac{F}{4H^2\pi} \quad (2)$$

- a másik, lényegesen pontosabb eljárás ismert aktivitású etalon sugárforrás alkalmazásával végezhető el. Ekkor az etalont ugyan abba a mérési pozícióba kell helyezni, amelyben az ismeretlen minta volt és felvenni az alfa-spektrumot. Az energia csúcsok területeiből (N) alapján:

$$\eta = \frac{N}{k_\alpha t_m A} \quad (3)$$

ahol t_m = a mérési idő [s] és

A = az etalon aktivitása [Bq] a mérés időpontjában,

k_α = az adott energiájú alfa-sugárzás gyakorisága (nukleáris állandó).

5. ISMERETLEN IZOTÓP(OK) AKTIVITÁSÁNAK MEGHATÁROZÁSA

Vegyen fel alfa spektrumot az ismeretlen izotópról. A forrást olyan pozícióba helyezze a detektor elé, ahol ismert a hatásfok (akár előzetes meghatározásból, akár a gyakorlatvezetőtől). A spektrumban észlelt csúcsterület(ek) kiszámításából határozza meg a minta alfa sugárzó izotópjának (izotópjainak) aktivitását és annak relatív statisztikus szórását σ_A/A a (4) és (5) összefüggések alapján:

$$A[\text{Bq}] = \frac{N}{k_{\alpha} t_m \eta} \quad (4) \quad \text{és}$$

$$\frac{\sigma_A}{A} \approx \frac{\sigma_N}{N} = \pm \frac{(N + 2B)^{1/2}}{N} \quad (5)$$

ahol N = a csúcsterület [imp], (a háttér tiszta detektor esetén elhanyagolható),
 t_m = a mérés időtartama [s],
 η = a hatásfok az adott mérési elrendezésben,
 σ_N = a csúcsterület statisztikus hibája és
 B = a csúcs alatti háttér,
 σ_A = az aktivitás statisztikus hibája.

Az aktivitást számítsa ki mindkét, a 4. pontban ismertetett hatásfok meghatározás alapján.

Disszkutálja a kapott eredményeket és azok pontosságát.

6. A MÉRÉSHEZ SZÜKSÉGES ESZKÖZÖK ÉS ANYAGOK

- félvezető-detektorral ellátott alfa-spektrométer,
- etalon (standard) sugárforrás,
- ismeretlen összetételű alfa sugárforrás,
- csipesz, tolómérő, stb.

7. ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK

1. Az alfa sugárzás és az anyag közötti kölcsönhatások jellemzői.
2. Alfa sugárzás mérésére alkalmazható félvezető-detektor felépítése, működési elve.
3. Alfa-spektrométer felépítése, az egyes egységek funkciója, jellemzői.
4. Miért szükséges a mérés kezdetekor az energia kalibráció elvégzése és ez hogyan történik?
5. Energia felbontóképesség az alfa-spektrometriában.
6. Mi a különbség és hasonlóság az alfa-, béta-, és gamma-spektrumok között?

8. IRODALOM

- Deme S.: Félvezető detektorok magsugárzás mérésére
Műszaki Könyvkiadó Budapest, 1968
- Nagy L.Gy.: Radiokémia és izotóptechnika (bizonyos fejezetei)
Tankönyvkiadó Budapest, 1983
- Bódizs D.: Atommagugárzások mérés technikái (bizonyos fejezetei)
Typotex kiadó, Budapest, 2006
- C.M. Lederer, J.M. Hollander, I. Perlman: Table of Isotopes,
Wiley, New York, 1984
- Applied Radiation and Isotopes Vol. 35 No. 4, 1984 Alpha - Particle - Spectrometry
Techniques and Applications