

*Az MTA Műszaki Fizikai Kutatóintézet Optoelektronikai Főosztály
(igazgató: dr. Bartha László c. egyetemi tanár)
és a KLTE Szilárdtest Fizikai Tanszék
(tanszékegyetemi: dr. Kedves Ferenc egyetemi tanár) közleménye*

Ultraibolya sugárzás mérése

FERENCZI SÁNDOR, PATKÓ JÓZSEF dr.

Összefoglalás: A cikk a bőrgyógyászatban alkalmazott ultraibolya sugárforrások mérésének fizikai és kémiai módszereit foglalja össze. A fizikai módszerek elsősorban az UV-forrás teljesítményének mérésére és a berendezések élettartamának ellenőrzésére alkalmasak. A kémiai aktinometria a kísérleti fotodermatológiai vizsgálatok során a rendszerben abszorbeált fotonok számának meghatározását teszi lehetővé.

Kulcsszavak: *UV-sugárzás, kémiai aktinometria, termikus detektor, optikai sugárzásérzékelők*

Az ultraibolya sugárzás az optikai sugárzás rövidhullámú tartománya, ahol a sugárzás fotonjainak legnagyobb az energiája és így a sugárzás fotokémiai—fotobiológiai szempontból a legaktívabb.

Az ultraibolya tartományt szokásos hullámhosszszávokra osztani biológiai hatása alapján:

UV-C tartomány: 100—280 nm

UV-B tartomány: 280—320 nm

UV-A tartomány: 320—380 nm

Az UV-C sáv 200—220 nm-nél rövidebb hullámhosszú sugarait a levegő erősen elnyeli, így a 100—220 nm-es sávot szokásos vákuum ultraibolya zónának (VUV) nevezni. A fototerápiában és fotobiológiában használatos UV-sugárforrások intenzitásának mérésére fizikai és kémiai módszerek használhatók fel. Jelen cikk röviden ismerteti az e célra szolgáló fizikai és kémiai módszereket.

1. Fizikai elven működő ultraibolya sugárérzékelők

Az ultraibolya sugárzás intenzitásának fizikai elven történő mérésére leggyakrabban az optikai érzékelők alábbi három csoportját használják:

- termikus detektorok
- vákuum fotodiódák és fotoelektronsokszorozók
- fényelemek

A továbbiakban ezen eszközök működését, felhasználásuk előnyös és hátrányos oldalait ismertetjük.

Termikus detektorok

A termikus detektorok működésének lényege az, hogy a detektorra eső optikai sugárzást egy fekete abszorpciós bevonat nyeli el és ennek következtében az érzékelő hőmérséklete megnő. A létrejövő igen kis hőmérsékletváltozást érzékeljük és ebből következtetünk a detektorra jutó sugárzás intenzitására.

A termikus működésű mérőberendezések közül az egyik legkorszerűbb az elektromos kompenzáció elvén működő piroelektromos radiométer. A piroelektromos detektor szagatott fényt mér. A fűtőellenálláson átfolyó áram és a sarkain mérhető feszültségkülönbség pontos mérésével a radiométer szorzóáramköre a teljesítménnyel arányos jelet képez és így a kijelzőről az optikai teljesítmény közvetlenül μW , illetve mW egységekben leolvasható.

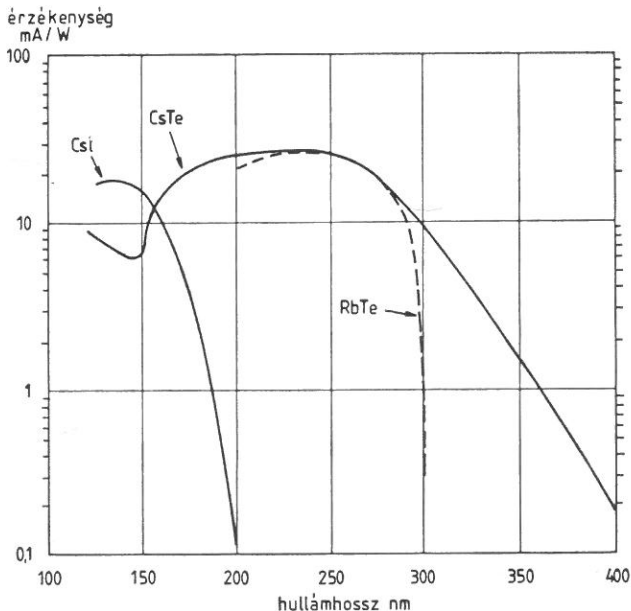
A detektor fekete bevonata hullámhosszfüggetlen spektrális érzékenységet biztosít a rövidhullámú ultraibolya tartománytól kezdve a távoli infravörös hullámhosszakig. A módszer széles körű elterjedését magyarázza, hogy más termikus sugárásmérőkhöz viszonyítva a mérés gyors és a változó áramú mérési elvből következően kevésbé érzékeny a külső zavarokra.

Piroelektromos radiométerrel az optikai sugárzás teljesítményét gyorsan és pontosan mérhetjük, de ultraibolya sugárzás mérésénél legtöbbször problémát jelent, hogy a sugárforrás a látható és az infravörös tartományban is bocsájt ki sugárzást, melyet a radiométer szintén érzékel, vagyis a műszer nem szelektív. Ebben az esetben a látható és infravörös sugarak zavaró hatását optikai szűrők alkalmazásával lehet kiküszöbölni.

Vákuum fotodiódák és fotoelektronsokszorozók

A vákuum fotodióda a fotoelektromos hatás elvén működő eszköz, mely egy vákuumtérben elhelyezett fotokatódból és -anódból épül fel. A katód és az anód közé a dióda típusától függően néhányszor 10 vagy 100 V feszültséget kapcsolunk. A fotokatódra jutó ultraibolya sugarak fotonjai a katód anyagából fotoelektronokat szabadítanak fel, melyeket az elektromos tér az anódra gyűjt és így a dióda sarkai között a sugárzás intenzitásával arányos áramot mérhetünk.

A dióda spektrális érzékenysége a fotokatód anyagától függ. Ultraibolya sugárzás mérésére cézium-jodid, cézium-tellurid, valamint rubídium-tellurid fotokatódot használhatunk. Az ilyen fotokatóddal rendelkező vákuum fotodiódák



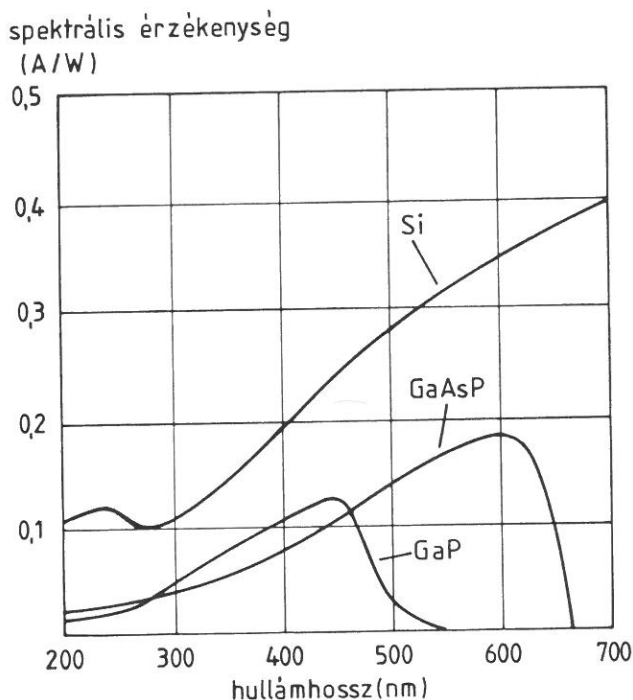
1. ábra

tipikus spektrális érzékenysége az 1. ábrán látható. Vákuum fotodiódát olyan mérési feladatnál alkalmazunk, ahol a sugárzás intenzitása viszonylag magas. Alacsony intenzitások mérésénél fotoelektronsokszorozók alkalmazása kerül előtérbe. A vákuum fotodiódák és a fotoelektronsokszorozók alkalmazásának közös hátránya, hogy ezek az eszközök hordozható, kézi mérőműszerekben csak korlátozottan alkalmazhatók, mivel ütdésre, rázkódásra érzékenyek. További hátrány, hogy a közép-, illetve nagyfeszültségű táplálás következtében érintésvédelmi problémák is jelentkezhetnek.

Fényelemek

A fényelem egy olyan félvezető anyagból készített eszköz, melyben az ultraibolya sugárzás fotonjai töltéshordozó párokat generálnak és a fényelem sarkain mérhető rövidzárási fotoáram széles tartományban lineárisan arányos a besugárzás intenzitásával.

Optikai sugárzás mérésére széles körben használnak szilícium alapú fényelemeket, amelyek a fejlett gyártási technológiák eredményeként igen nagy stabilitásúak, így a szilícium fényelemmel működő műszerek kalibrációs pontosságukat hosszú időn át képesek megőrizni. A fényelemek hordozható, kézi mérőműszerekben igen jól alkalmazhatók fényérzékelőként, mivel a mechanikai hatásokkal szemben ellenállóak. A fényelemek rövidzárási fotoáramának pontos mérésére igen kis fogyasztású és alacsony tápfeszültségről működő elektronikai eszközök állnak rendelkezésre, így a mérőműszerek elektromos hálózattól függetlenül, elemről működtethetők, amely a műszerek használhatóságát jelentősen kiterjeszti. Ultraibolya sugárzás mérésénél a szilícium fényelemek alkalmazásának hátránya, hogy a fényelem érzékenységének hullámhossz-



2. ábra

tartománya messze túlnyúlik az ultraibolya tartományon, valamint a látható és a közeli infravörös tartományban a fényelem érzékenysége lényegesen nagyobb, mint az ultraibolya sávban. Így a látható és közeli infravörös érzékenység kiküszöbölésére optikai szűrőzést kell alkalmazni. Ezt a hátrányt kiküszöbölik ki az utóbbi években megjelent félvezető alapú fényelemek, melyek a szilíciumnál nagyobb tiltott sáv szélességű anyagokból készülnek és így érzékenységük hullámhossztartománya a rövidebb hullámhosszak sávjára korlátozódik.

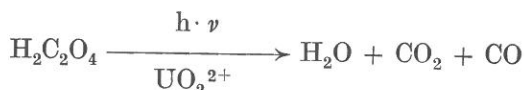
A 2. ábrán szilícium, gallium-arzeno-foszfid és gallium-foszfid fényelemek spektrális érzékenységgörbéjét mutatjuk be.

2. Kémiai aktinometria

Bár az UV-sugárzók intenzitását általában fizikai módszerekkel szokták meghatározni, sok esetben a rendszer által elnyelt energia ismerete fontos, amit a sugárzás által létrehozott fotokémiai reakciók alapján lehet meghatározni. Ezt az eljárást nevezik kémiai aktinometriának. Az eljárás lényegében a fotokémia törvényein alapul. Azaz fotokémiai reakciót csak a rendszer által elnyelt fény idézhet elő (*Grotthus* 1817, *Draper* 1841—43). Egy molekula csak egy fénykvantumot abszorbeál és ezáltal aktiválódik (*Stark* 1908—12, *Einstein* 1912—13). A fotokémiai reakcióban keletkező anyag mennyisége arányos a fényintenzitás és a besugárzási idő szorzatával (*Bunsen—Roscoe-törvény*).

Végül *Einstein—Planck* törvénye szerint a gerjesztett (instabilis) molekulák kémiai reakciókban vehetnek részt, vagy fizikai folyamatokban elvesztik energiájukat (deaktiválódnak). A fotokémiai folyamat hatásfokát az ún. kvantumhasznosítási tényező adja meg (Φ). A kémiai aktinometria ismert kvantumhasznosítási tényezőjű, egyszerű fotokémiai reakció segítségével határozza meg a besugárzó fény fotointenzitását.

A kémiai aktinometria lehet szilárd és folyékony fázisú. A leggyakrabban alkalmazott és egyik legrégebbi folyékony fázisú aktinometriai módszer az oxálsav uranilionokkal szenzibilizált fotokémiai bomlása. A bruttó fotokémiai reakció a következő kémiai egyenlettel adható meg:



Az oxálsav a közeli UV-tartományban nem abszorbeál fényt, viszont az oldatban lévő uranil-ionok a 440 nm-nél kisebb hullámhosszú fényt elnyelik és így szenzibilizálják az oxálsav bomlását.

Az oxálsav koncentrációjának változása titrálással követhető nyomon, amely az eljárást lassúvá teszi. A részleteket illetően az irodalomra utalunk [1]. Jelenlegi ismereteink szerint a legjobb folyadékfázisú kémiai aktinométer a kálium-ferrioxalát-rendszer, amelyet *Parker* [2] és *Hatchard és Parker* [3] fejlesztettek ki. E rendszernek előnye, hogy a kálium-ferrioxalát koncentrációjának 0,006 Mol-tól 0,15 Mol-ig történő változtatásával a 350 nm-től 580 nm-ig terjedő spektrumtartományban használható fel. A módszer előnye, hogy az aktinométer spektrofotometriás méréssel értékelhető ki, így gyors. A módszer részletes leírását és rutinmérésre való alkalmazhatóságát *Getoff* közleményében találhatjuk meg [4]. Ha olyan sugárforrást mérünk, amely több vonalat emittál, az együttes intenzitást határozzuk meg. A jelenleg ismert nagyszámú szilárd fázisú kémiai aktinométer közül megemlítjük a Medicor Művek Kutató és Fejlesztő Intézete megbízásából 1975-ben kifejlesztett higany-oxalátos és higany-jodidos rendszereket. A higany-oxalátos emulzió alapszíne tejfehér, amelyen

UV-sugárzás hatására barnás elszíneződés jön létre. A higany-jodidos emulzió alapszíne sárga, fény hatására barnás—sötétbarnás színeződés keletkezik. A higany-oxalátos emulzió az UV-C és az UV-B tartományban, a higany-jodidos 250—550 nm-es tartományban érzékeny.

Ezek a szilárd fázisú aktinométerek alkalmasak UV-sugárzók intenzitásának és élettartamának gyors vizuális kiértékelésére [5].

A fent ismertetett fizikai és kémiai módszerek alkalmasak a bőrgyógyászatban használatos UV-sugárzók teljesítményének mérésére, a berendezés élettartamának ellenőrzésére. A kémiai aktinometria ezenkívül lehetővé teszi kísérletes vizsgálatoknál a rendszer által elnyelt fotonok számának meghatározását is.

I R O D A L O M: 1. Tanszéki Munkaközösség: Fizikai—kémiai laboratóriumi gyakorlatok, Bp., Tankönyvkiadó, 1988. 170. — 2. *Parker, C. A.*: Proc. Roy. Soc. (London) *A220*, 104 (1953). — 3. *Hatchard, C. G., Parker, C. A.*: Proc. Roy. Soc. (London) *A235*, 518 (1956). — 4. *Getoff, N.*: Max Planck Inst. für Kohlenforschung, Abl. Stahlenchemie, 1967. — 5. Kutatási Zárójelentés, Medicor Kutató és Fejlesztő Intézet, Debrecen, 1975.

Érkezett: 1989. XI. 24.

Közlésre elfogadva: 1990. IV. 04.

F e r e n c z i, S., P a t k ó, J.: *Measurement of ultraviolet light*

The physical and chemical methods of measurement of UV-sources applied in dermatology is summarized. The physical methods are first of all suitable for measuring the power of UV-sources and for checking the life-time of equipments. The chemical actinometry allows furthermore the determination of the number of absorbed photons in the system during experimental photodermatological investigation.