

Fémezési technológia és lézeres furatkészítés furatfémezett flexibilis hordozók előállítására

BERÉNYI RICHÁRD

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Elektronikai Technológia Tanszék

berenyi@ett.bme.hu

Reviewed

Kulcsszavak:

A rajzolatfinomság folyamatos növelése megköveteli újfajta áramköri hordozók előállítását melyek képesek követni a mikrochipek fejlődését. A cikkben beszámolunk a lézeres fúrás optimalizálásáról és a flexibilis polimer hordozók rézzel történő bevonására vonatkozó kutatásunkról. Az alkalmazott nagysebességű lézerrendszer használata lehetővé teszi, hogy költség-hatékony módon állítsunk elő mikroviákat polimer hordozóban. Szabadalmaztatott eljárásunk keretében a furatfémezési és a polimer rétegre történő fémlévasztást egy lépésben végezzük el. A kialakult réz összefüggő, jól tapadó alapréteget biztosít a galván réz növesztéséhez.

Bevezetés

Az elektronikai ipar fejlődése következtében már nem csak az elektronikus eszközök, például chipek fejlesztése nélkülözhetetlen, hanem az ehhez a technológiához illeszkedő áramköri hordozóké is. Ezek közül már jelenleg is nagy jelentőségűek a flexibilis hordozók, melyek a chipek beültetési helyén túl összeköttetéseként is szolgálnak. Polimer áramköri hordozók használata szigetelő és védő rétegeként előnyös mind teljesítmény mind költség szempontjából. Az átmenő furatok nélkülözhetetlenek a nagy huzalozás-sűrűségű összeköttetések, a tokozás, vagy a méretcsökkentés eléréséhez. Ehhez azonban már 10-30 μm átmérőjű mikrofuratok kialakítására van szükség, hiszen a chip-kivezetések és kontaktuspadek is ebbe a mérettartományba esnek. Mechanikus fúrók használatánál az elérhető legkisebb furatátmérő megközelítőleg 100 μm , következőképpen szükséges egy precízebb eszköz használata, mint például a lézer. [3]

Három különböző hullámhosszt (9600, 355, 248 nm) használtunk kísérleteinkben, hogy megtaláljuk az optimális megmunkálási paramétereket. A jól fókuszálható UV sugár használatával lehetőség nyílt 10-25 μm átmérőjű átmenő furatok készítésére 25-50 μm vastag polimer hordozóban. A nagy energiájú és nagy ismétlési frekvenciájú (100 kHz) Nd:YAG lézerrel a minőségsebesség optimalizálása esetén a vizsgálataink szerint kb. 1500 furat készíthető másodpercenként.

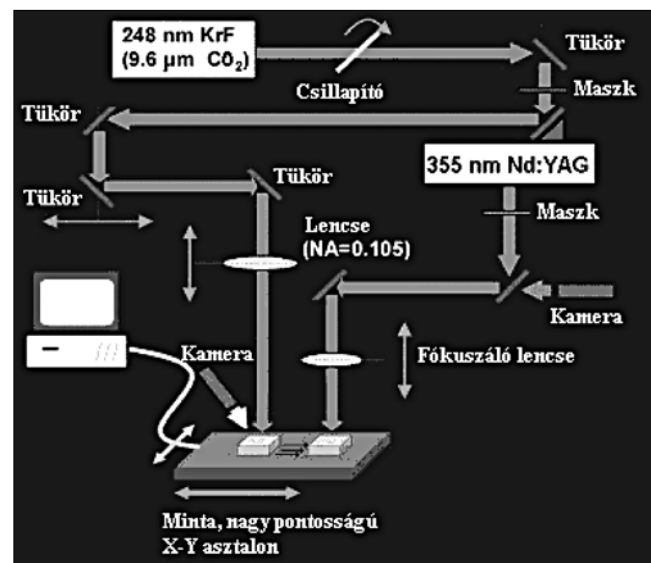
A gyártási idő és ár csökkentésére, és a rajzolatfinomság növelésére kifejlesztettünk egy egyedülálló technológiát flexibilis hordozók rézzel történő bevonására. A technológia használatával a polimer fólia mindkét oldalára, illetve a már elkészített furatok falára egyszerre készítünk fémbevonatot (a szabadalomban leírtaknak megfelelően [1]). Ez nem csak meggyorsítja az eljárást, hanem szükségtelemmé is teszi a nehezen beszerezhető ragasztóanyagok használatát.

A rendszer összeállítása [4]

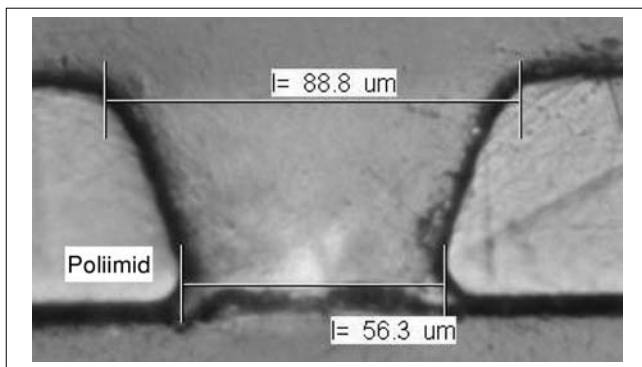
A lézeres furatkészítés új lehetőségeket kínál a huzalozási sűrűség növeléséhez, anélkül, hogy finomabb felbontású huzalozás kialakítására lenne szükség. A gyakorlatban a lézeres viakészítést két fázisban oldják meg. Első lépés a viafúrás, majd következhet az elektromos összeköttetés készítése furatfémezéssel, vagy a furat vezető anyaggal való teljes feltöltésével.

A felhasznált lézeres megmunkáló állomás három különböző, a mikroelektronikában leginkább használatos lézerforrást tartalmaz. Tervezésében arra törekedtek, hogy minél szélesebb tartományban lehessen a felszerelt optikai elemeket és maszkokat hangolni. A három lézerforrás egy közös fókuszáló mechanizmussal van ellátva, így pontos beállítás után egyszerű vezérléssel alkalmazkodhatunk az aktuális mintadarab vastagságához.

1. ábra A rendszer összeállítása



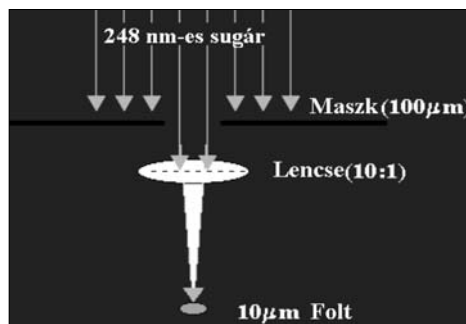
Előkészítésként az impulzus üzemű **CO₂** lézeres megmunkáló állomást teszteltük, mely optimálisnak tűnt nagy számú mintadarab előállítására. A megmunkáló állomás egy 60 W teljesítményű, Impact 2150T (Lumonics Company) típusú pulzus üzemű CO₂ lézerre épül. Az emittált fényt egy kb. 100-200 µm átmérőjűre fókuszálhatjuk. Ezt a 9600 nm hullámhosszú sugarat a fémek visszatükrözik, viszont nagyon jól elnyelődik a polimer anyagok nagy többségében, hatékony, lokalizált melegedést okozva. A polimerek az érintett zónában megolvadnak és elpárolognak. Ezek a lézerek így eredményesen használhatóak nyomtatott huzalozású lemezek polimer anyagának, a fényvezető erősítésnek és fóliák, rendszerint kapton, parylen anyagának szelektív eltávolítására. A 2. ábra egy 50 µm vastag poliimidbe készített 90 µm átmérőjű furatot mutat.



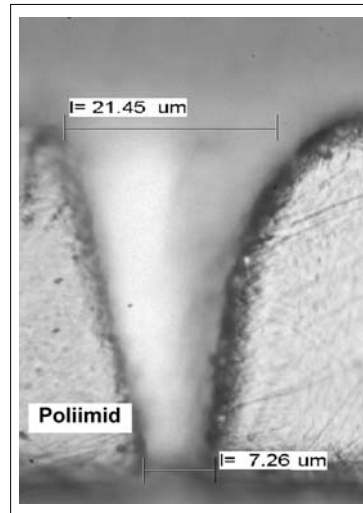
2. ábra CO₂ lézerral készített furat

A 9600 nm-es CO₂ lézersugár használata elfogadhatatlanul nagy átmérőjű furatokat eredményezett. Kutatási célunk az volt, hogy kis átmérőjű furatok használatával nagy rajzolatfinomságot érjünk el. A furattal megfelelően függőleges, szenesedéstől mentes és furatfémezhető volt, azonban a 60 µm-es legkisebb átmérő miatt eltekintettünk a további kísérletezésektől [5].

Második választásunk az **excimer** lézert volt, mely max. 300 Hz-es frekvencián 15 mJ energiájú, 248 nm UV hullámhosszú lézersugár-impulzusokat bocsát ki. Ez a hullámhossz nagy hatásfokkal nyelődik el, de csak néhány anyagban. A nagyenergiájú fotonok becsapódásának hatására a polimerek molekuláiban a kötések felszakadnak és csak kis hőhatást fejtenek ki, minek köszönhetően a sorjaképződés minimális lesz. A lézer egy kb. 3×6 mm keresztmetszetű, téglalap alakú sugarat bocsát ki, melyet maszkon keresztül egy 10-500 µm-es felületre koncentrálnak képvetítési eljárással.



3. ábra Maszkolás és vetítés



4. ábra Excimer lézerral készített furat

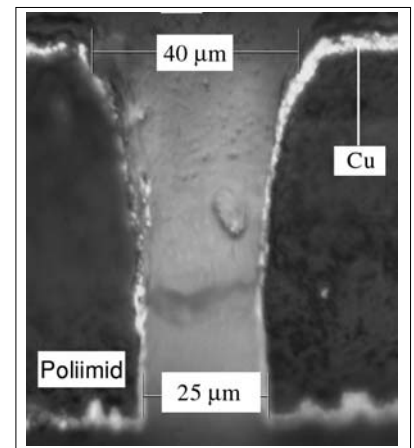
A 4. ábrán egy excimer lézerral készített furatot láthatunk. A sugár foltátmérője 10 µm körül van a fókuszbán, így ennek megfelelő furatátmért várunk.

Ez a típusú mikrofurat ugyan elfogadható az ipari termelésben, de a lézer fúrási sebessége nem

megfelelően gyors, több mint száz lövés kellene átmenő furat készítéséhez. Ez abból adódik, hogy a nagyenergiájú, téglalap alakú sugárnak 10 µm átmérőre való vetítéséhez 100 µm-es maszk használatára van szükség (3. ábra), így a maszkolás után a kezdeti 15 mJ helyett már csak 6,5 µJ energia marad impulzusonként. A maximum 300 Hz-es működési frekvencián ezzel is csak 2-3 furat készíthető másodpercenként, ami a termelékenység szempontjából nem elégséges.

Az általános ipari használat ösztönzött bennünket arra, hogy kipróbáljuk az UV **Nd:YAG** lézer használhatóságát. Ezek egyre elterjedtebbek a mikroelektronikában, mivel sugaruk jól elnyelődik az alkalmazott merev vagy flexibilis hordozók anyagaiban. Ez a lézerforrás 3-7 ns hosszúságú impulzusokat generál legfeljebb 100 kHz ismétlési frekvenciáig, maximum 520 µJ impulzusenergiával. A 1064 nm-es sugár harmadik felharmonikusa elnyelődik a legtöbb anyagban, a magas csúcsteljesítménynek és a rövid impulzushossznak köszönhetően, viszonylag minimális hőhatással. Fémek, polimerek, kerámiák könnyen vághatóak, fúrhatóak, habár a lézerimpulzusok kontrollált használatával szelektív anyageltávolítás is lehetséges, például eltemetett kontaktusfelülethez ablak nyitása a polimer eltávolításával.

Saját kísérleteink is bizonyították, hogy a 355 nm-es lézersugár megfelelő eszköz mikrofuratok készítésére; nagy energiával a rézréteg teljes átfúrása, míg kisebb energiával a rézréteg tisztítása lehetséges. Megfelelő optika használatával és fókuszlással 20-150 mm átmérőjű furatok készíthetők [5].



5. ábra UV Nd:YAG lézerral készített furat 50 µm vastag poliimidbe

Anyag	Optimális Paraméter beállítások		
	Frekvencia	Lövesszám	Energia [mJ/pulzus]
25 mm PI	10 kHz	12	520
	10 kHz	25	168
	100 kHz	40	6.2
50 mm PI	10 kHz	20	520
	10 kHz	35	168
	100 kHz	50	6.2

1. táblázat Optimális paraméterek

A furat átmérője 25-40 μm , valamint vékony (1-2 μm) rézréteget is kialakítottunk már a felületen.

Az 1. táblázatban láthatók a lehetséges, optimális fúrási paraméterek. A vastagon szedett paramétereket használtuk a végleges mintadarabok előállítására. A paraméterek kiválasztásánál törekedtünk a sebesség maximalizálására, ezért választottuk a 100 kHz-es frekvenciát.

Meg kell azonban jegyezni, hogy frekvencia növelésével az impulzusenergia csökken, tehát több lövésre van szükség. (Kísérletek útján az is bebizonyosodott, hogy a furat minősége nagyobb frekvencia használatával jobb lesz).

Cu leválasztás

A poliiimid hordozók rendkívül jó fizikai és kémiai jellemzőkkel bírnak, tehát kiválóan használhatók dielektrikumként. Ennek köszönhető, hogy széles körben elterjedtek az elektronikai iparban nyomtatott áramköri hordozóként, hibrid áramkörökben, valamint félvezetők (chipek, multi-chip modulok) hordozójaként. A poliiimidek a magasabb hőmérsékletnek és legtöbb vegyszernek is ellenállnak. Ez azonban megnehezíti, hogy az eddig használatos eljárásokkal válasszunk le fémet a felületükre.

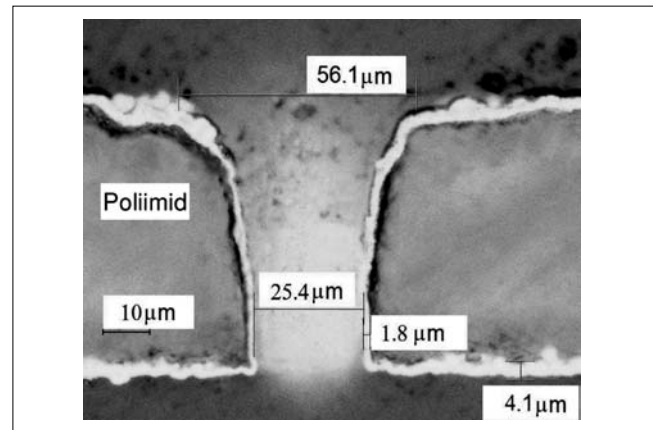
Az iparban a laminált rézréteg és a poliiimid közé ragasztó réteget visznek fel. Melegítéskor, például forrasztási technikáknál, vagy furatfémezéshez használt vegyszerek hatására ez azonban meglágyulhat, ezzel csökkentve a rétegstruktúra stabilitását.

Kutatási cél volt tehát egy olyan eljárás kidolgozása, ahol laminálási fázis és ragasztó nélkül, csupán kémiai eljárással lehet áramköri hordozót készíteni. További cél volt egy kb. 5-10 μm vastag, jól tapadó rézréteg egy lépéses leválasztása mind a poliiimid felületre, mind a furatokba. Egy ilyen eljárás sokban egyszerűsítheti, gyorsabbá és olcsóbbá teheti a flexibilis nyomtatott huzalozású lemezek készítését, hiszen lehetővé teszi a tekercsről tekercsre való gyártást, megőrizve a nagy rajzolatfinomság lehetőségét.

Ezt szem előtt tartva a feladat adott volt: kereskedelemben kapható anyagok felhasználásával nagyszűrűségű, finom rajzolatú, megbízható hordozó alacsony költségű gyártása. Fontos szempont volt, hogy ne használjunk környezetre ártalmas vegyszereket, mint példá-

ul a cianidok. Mindent összevetve választásunk az elterjedt FR4-es technológiára, a Shipley-féle fémleválasztásra esett [6]. Az első próbálkozásunk kétes eredménnyel zárult: ugyan egyenletes rézréteg keletkezett a poliiimid felületén, azonban minimális tapadással. A réz egyszerűen lemosható volt a felületről.

Két éves kutatás eredményeképpen kiemelkedő minőségű hordozót sikerült előállítani. A 6. ábrán látható 50 μm vastag poliiimid hordozónak mindkét oldalán és a furatokban is összefüggő rézréteg keletkezett.



6. ábra Furatfémezés

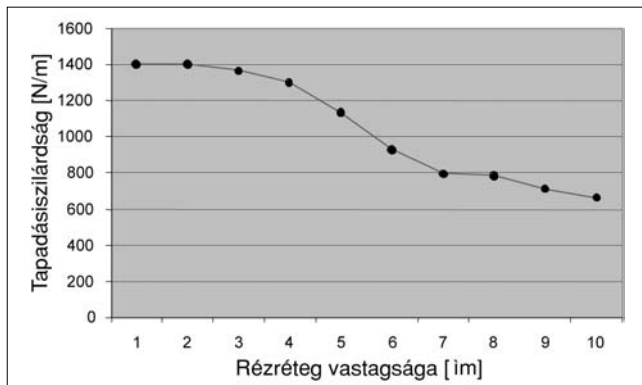
Kiindulásul az UBE gyár szabványos 25 és 50 μm vastag poliiimid hordozóit választottuk. A kívánt minőség eléréséhez jelentős átalakításokat kellett véghezvinni a vegyületek összetételében, új lépéseket kellett beiktatni és feleslegessé váltakat kivenni a sorból. A változtatások kiterjedtek a hőmérséklet, idő, mozgatás és adalékanyag módosításra. A hozzáadott lépések magára az árammentes rézleválasztásra vonatkozóan nagyon fontos változtatások, melyek nemzetközi szabadalom véd. A felhasznált új adalékanyag segíti a kötések létrehozását a polimer hordozón a kezdeti rézréteg kialakításához.

A folyamat

A lézeres fúrást követően kémiai tisztítás és előkezelő savas fürdő következik, hogy a fúrást, mozgatást során a hordozóra került szennyeződések eltávolítsuk. Ez a minta kerül a módosított Shipley féle, palládium katalizátor alapú, árammentes rézleválasztó sorra. Az előkészítő lépések után helyezük a mintát a szabadalomban tárgyalt adalékanyagot tartalmazó magas hőmérsékletű (50°C) fürdőbe. Ebben a lépésben az alkalmazott hosszuláncú molekulák erős, hálószerű kötések alkotnak a poliiimid felületén, melyhez már a fém atomok hozzákapcsolódhatnak. A második árammentes rézfürdőben egyenletes, jó tapadású, kb. 500-700 nm vastag rézréteg jön létre mind a felületeken, mind a furatokban. Ennél vastagabb árammentes réz kialakítása azonban már nem hatékony, viszont jó alap a galván rézrétegnek [2]. Ehhez szintén a Shipley cég elterjedt vegyületeit használjuk. Az elektromos úton felvitt rézréteg vas-

tagsága a folyamat idejének hosszával beállítható, mintáinkon az 5-10 μm vastagság elérésére törekedtünk, mivel a vastagság növelésével a tapadási szilárdság csökken (7. ábra).

Ezzel az eljárással sikerült a kezdetekben kitűzött céljainkat elérni: csak kereskedelmi forgalomban levő, nem agresszív, nem környezetszennyező vegyületeket használtunk, az FR4-es technológiával összeegyeztethetően. Mindamelllett, hogy sikerült a kitűzött 10 μm -es vastagságot elérni, a rézréteg tapadása kielégítő (min. 650 N/m), valamint a négyzetes ellenállása is megközelíti a hagyományosan laminált réteget.

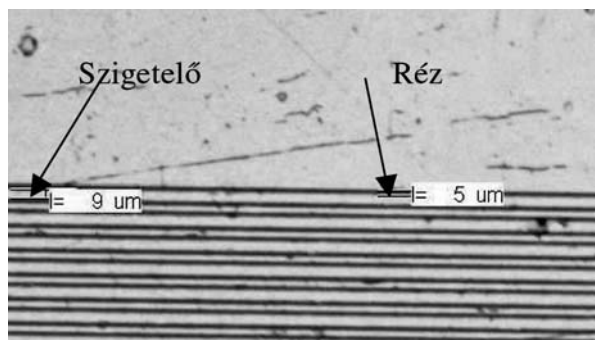


7. ábra Rézréteg tapadási szilárdsága

Pillanatnyilag a minták elektromos méréseit és azok kiértékelését végezzük. Legfőbb szándékunk poliimid fóliából flexibilis áramköri hordozók készítése, tehát a mintázatkialakítás még hátra van. Mint a fémleválasztásnál, itt is egy hagyományos eljárást alkalmazunk, így a fotolitográfias eljárást csak kis mértékben (koncentráció és idő) kellett módosítani a kívánt eredményhez.

Annak ellenére, hogy a keletkezett két réteg (500-700 nm kémiai és 5-10 μm galván réz) szerkezetileg eltérő, nem kell különböző összetételű, vagy adalékolású marószert használni. A mintázat kialakítása egy lépésben történt, azonban fontos a pontos maratási idő meghatározása a rézréteg vastagságának függvényében azonban a nem kívánt alamaródás elkerüléséhez. A szükséges marási idő táblázatok alapján határozható meg. A legjobb rajzolatfinomság, melyet kis hibaszalékkal, több egymás utáni mintán is el lehetett érni, kb. 14 μm volt (5 μm -es vonalak, 9 μm -es csíktávolsággal) melyet a 8. ábrán láthatunk.

8. ábra 14 μm -es rajzolat a poliimid hordozón



Ennél nagyobb felbontás már elfogadhatatlanul sok hibát okozott, tehát ilyen irányban már nem folytattuk a kísérleteinket.

Teszt áramkör

Az elsődleges ellenőrzéshez egyszerű furatláncot alkalmaztunk, melyen 50 μm vastag poliimid +7 μm vastag rézhordozón 100 μm széles huzalok és 500 db 20 μm átmérőjű furat volt láncba kapcsolva. A végső kiértékeléshez azonban erre a célra készített BGA chip-et és Flip chip-et fogunk használni, melyeket több száz fémezett furattal kötünk össze.

Konklúzió

Az elektronikai ipar fejlődése a miniatürizálással nem csak a chip méretét, hanem a kivezetéseik számát is növelte, megkövetelve a nagyobb rajzolatfinomságot. Ehhez azonban már újfajta hordozókra van szükség. Kézenfekvő lehetőség poliimid alapú flexibilis hordozók használata, azonban ezek még a mai napig is drágábbak a hagyományos merev hordozóknál. Kutatásunk eredményeképpen létrehozott és szabadalmaztatott, komplett flexibilis hordozó-technológia jó alternatívát jelenthet az ipar számára. Az eredményekből arra következtethetünk, hogy mind kis sorozatszámú prototípus készítésre, mind nagy számú minták előállítására alkalmas a kidolgozott technológia.

Köszönetnyilvánítás

A fent említett kísérletek zöme az ELIS-TFCG tanszéken (Genti Egyetem, Belgium) készült a Magyar-Flandriai kétoldalú együttműködés keretében. A szerzők külön köszönetet mondanak a partner intézet munkatársainak, kifejezetten Jan Vanfleterennek, Sam Siaunak és Johann de Baetsnek a szakszerű tanácsaikért és együttműködésükért.

Irodalom

- [1] „Fémezési eljárás”, bejegyzés alatt levő EU-US szabadalom.
- [2] Losonci, Pető, Tihanyi: Galvanotechnikai zsebkönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1992.
- [3] Illyefalvi-Vitéz Zsolt: Laser processing for microelectronics packaging applications, Microelectronics Reliability 41 (2001) pp.563-570.
- [4] Harry J. E.: „Ipari lézerek és alkalmazásuk”, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1995.
- [5] Gordon P., Berényi R.: Laser Processing of Flexible Substrates. IMAPS, Denver, USA, 3-6 Sept., 2002 pp.494-499.
- [6] <http://www.rodel.com/pwb/metallization/> Shipley Company

Hírek

Az elmúlt év végén harmadik alkalommal vehette át ünnepélyes keretek között a **Rátz Tanár Úr Életműdíjat** hat középiskolai tanár a pályafutása során nyújtott kiemelkedő teljesítményéért. A Graphisoft R&D Rt., az Ericsson Magyarország Kft., valamint a Richter Gedeon Rt. által létrehozott Alapítvány a Magyar Természettudományos Oktatásért kuratóriuma évente ítéli oda a díjat összesen 6 millió forint értékben. Az alapítvány díjazottjai azok a középiskolai tanárok, akik az alapítók tevékenységi köréhez szorosan kapcsolódó magyarországi matematika-, fizika- és kémiaoktatásban kimagasló szerepet töltenek be e tantárgyak népszerűsítésében és a tehetséggondozásban.

Az idei díjazottak:

Fizika – Kovács Mihály (Budapest)

1916-ban Szegeden született. Belépett a Piarista Rendbe, majd 1935-1941 között teológiai és egyetemi tanulmányokat folytatott. 1941-ben matematika-fizika szakos tanári diplomát szerzett. Tanári tevékenysége során igyekezett a legkorszerűbb fizikaoktatást kialakítani. Az iskolai atomfizika oktatást már az 1960-as években elkezdte. Több atomfizikai témájú, az oktatást segítő előadást tartott, szaklapokban publikált, több eszközét a tanszergyártó cég gyártja. 1958-tól kezdve a kibernetikai eredményeinek elterjesztése került tanári munkájának előterébe. Könyve jelent meg 1968-ban Kibernetikai játékok és modellek címmel. Diákjait megismertette a programozás alapjaival, a gépi nyelvekkel. Tanítványi közül sokan értek el értékes helyezéseket tanulmányi versenyeken. Tanári kisugárzása sok diákban keltette fel a fizika iránti érdeklődést.

Fizika – Dr. Wiedermann László (Budapest)

Budapesten született 1931-ben. Az ELTE-n 1953-ban szerzett matematika-fizika szakos tanári diplomát. 1964-ben egyetemi doktori címet szerzett. Négy évtizeden keresztül irányította a középiskolai tanárok szakmai továbbképzését. Sok tanulmányt publikált a Fizikai Szemlében és más kiadványokban. Tanári munkáját a biztos szaktudás, a precizitás jellemzi. Több tanulmányi verseny szervező munkájában vesz részt.

Matematika – Czapáry Endre (Győr)

1922-ben született, 1946-ban végzett az Eötvös Kollégiumban. Számos Arany Dániel és OKTV díjas tanítványt nevelt. Több volt diákja jelenleg is különböző magyarországi és külföldi egyetemeken oktat. Aktív szerepe volt regionális matematikaoktatási programokban. 33 alkotás (könyv, jegyzet, feladatgyűjtemény) szerzője vagy társszerzője. Szakmai munkája, elkötelezettsége, emberi nagysága, figyelmesége, bölcs gondolatai ma is példaértékűek. Életművével jelentősen hozzájárult a magyar matematikaoktatás eredményességéhez.

Matematika – Rábai Imre (Budapest)

1926-ban született, 1951-ben Szegeden főiskolai diplomát, majd 1954-ben az ELTE-n tanári oklevelet szerzett. 1962-ben kezdeményezte az első emelt szintű matematika-tantervű osztály létrehozását. Tanítványai szinte minden versenyt megnyertek, és részt vettek a Középiskolai Matematikai Lapok szerkesztésében. A Fazekas Gimnáziumban töltött évek alatt számos hírességet nevelt. Irodalmi tevékenysége számottevő, könyvei keresettek a középiskolások körében.

Kémia – Dr. Kovácsné dr. Csányi Csilla (Budapest)

1947-ben született. Az ELTE-TTK biológia-kémia szakán végzett 1972-ben. A Fővárosi Pedagógiai Intézet kémiai vezető szaktanácsadója, 1975-ben „summa cum laude” minősítéssel doktorált. A hazai kémiai szakdidaktika egyik meghatározó személyisége. Ezt tanúsítja sok publikációja és könyve, szereplése és rendezői tevékenysége hazai és nemzetközi szakdidaktikai rendezvényeken. Tanítványai eredményesen szerepeltek a Hevesy és Irinyi versenyeken.

Kémia – Dr. Velkey László

1955-ben született. Szegeden szerzett biológia-kémia tanári diplomát 1978-ban. Széleskörű kutatómunkát végzett, ennek eredményeként „summa cum laude” minősítéssel doktorált 1985-ben. Kutatómunkája nem ment a pedagógiai tevékenysége rovására. Eredményes szakdidaktikai oktató-szervező tevékenységének betetőzését jelentették az általa kezdeményezett és 1986 óta rendszeresen megszervezett „Sárospataki Diákvegyész Napok”.