

150-letnica napršenih vakuumskih tankih plasti *

Dr. Stanislav Južnič

Letos mineva 150 let od prvega objavljenega opisa naprševanja tankih plasti. V počastitev pomembne obletnice opisujemo razvoj raziskovanja tankih plasti v svetu in pri nas.

Sodobni naziv za specializirano tehnologijo tankih plasti se uporablja le za plasti, ki jih zgradimo s procesi nalaganja atoma na atom in ne s tanjšanjem razmeroma velikega kosa snovi. Tanke plasti uporabljamo v optiki kot odbojne plasti, filtre in antirefleksne plasti. V elektroniki jih uporabljamo za uporovne plasti, kondenzatorje in številne komponente v mikroelektroniki. V strojništvu jih uporabljamo za zaščito orodij in strojnih delov pred obrabo. Tanke plasti nam med drugim pridejo prav tudi kot funkcionalne in dekorativne plasti, kot elektrokromne plasti na pametnih oknih, ki prepuščajo infrardečo svetlobo samo v eno smer.

Tanke plasti lahko pripravimo z elektrokemijskimi postopki (galvanski nanos, kemijski nanos, anodna oksidacija), termičnimi in plazemskimi pršilnimi (sprej) postopki, kemijskimi postopki iz parne faze (CVD) ter fizikalnimi (vakuumskimi) postopki (PVD, naparevanje, naprševanje). Zaradi slabih vakuumskih materialov in sistemov so fizikalni postopki ostali predvsem laboratorijska posebnost vse do srede tridesetih let 20. stoletja.

Omejili se bomo na odkritje naprševanja. Ta netermični način uparitve snovi so prvič opazili pred poldrugim stoletjem po obstreljevanju kovinske katode z ioni visokih energij. Sprva je motilo raziskovalce katodnih elektronk. Danes je razmerje povsem obrnjeno, kot se v življenju rado zgodi. Tivna razelektritev je le še zanimiv svetlobni pojav. Raziskovanje nekoč motečega pojava naprševanja tankih plasti se je razvilo v eno najbolj donosnih sodobnih tehnologij.

Odkritje ionskega naprševanja v Londonu

Leta 1848 sta pravnik William Robert Grove (1811-1896) in bogati trgovec z vinom John Peter Gassiot (1798-1877) skupaj raziskovala taljenje platinastih elektrod. Pariški akademik in profesor na Sorbonni César Mansuète Despretz (1792-1863) je Groveja opozoril na močne induktorje, ki jih je Henrich Daniel Ruhmkorff (1803-1877) iz Hannovera začel prodajati v svoji pariški delavnici. Z izpopolnjeno opremo se je Groveju 27. 12. 1851 v Londonu posrečil znameniti poskus, o katerem je deset dni pozneje pisal Kraljevi družbi. Poročilo so prebrali, brez šale, na prvega aprila dan leta 1852.

Grove je prvi opazil in opisal nabiranje kovine na stenah izpraznjene cevi po razelektritvi Ruhmkorffovega induktorja. Madež kovinskega oksida je bil podobne barve kot pri fotografskem postopku pravkar umrlega Francoza Louisa Daguerreja (1789-1851). Ko je Grove elektrodi zamenjal, je lahko madež povsem odstranil.

V zaprti cevi ni bilo drugih kovin. Zato je domneval, da katodni žarki razpršujejo delce kovine iz elektrode, ki

se potem nabirajo na steklu ob strani. Madež je opazoval tudi z mikroskopom pri dvestokratni povečavi. Temperatura v elektronki je bila prenizka za izparevanje kovine, zato ga je pripisal razprševanju po trkih ionov. Vedel je, da je odkril novo vrsto pojavov in pomembno podobnost med razelektritvami v vakuumu in elektrolizo.

V dodatku k razpravi je ponudil razlago podobno opisu tankih plasti pri elektrolizi, ki ga je objavil Leopold Nobili (1784-1835), profesor fizike v florentinskem Nadvojvodovem muzeju. Grove je preroško napovedal, da bodo nadaljnje raziskave prinesle številna zanimiva odkritja. Dokazoval je, da gre pri njegovem poskusu za dejanski prenos snovi platine med električnim praznjenjem.

S podobnimi poskusi se je dve leti pozneje ukvarjal Michael Faraday (1791-1867), ki je leta 1857 dobil tanko plast po eksploziji kovinske žice v vakuumu. Prve raziskave so dajale predvsem kvalitativne ugotovitve o časovnem poteku nalaganja tanke plasti in o njeni legi glede na elektrodi.

Naslednje leto je Faraday nagovoril Gassiota naj razišče vplive »katodnih žarkov« na kovine. Gassiot je dokazal, da razprševanja katode iz platine ne morejo povzročati svetlobni pojavi pri razelektritvi, ki potekajo v drugi smeri. Preprečil je nastajanje kovinske usedline na stekleni steni okrog katode izpraznjene cevi, pred katero je postavil dodatno odprto cev z manjšim premerom. Katoda je ostala mrzla in nepoškodovana.

Omeniti velja, da so ionsko naprševanje odkrili v londonski visoki družbi, kjer so se s poskusi ukvarjali ljubiteljsko. Podobno kot dve desetletji mlajši pivovarnar James Prescott Joule (1818-1889) v termodinamiki, je trgovec z vinom John Peter Gassiot (1798-1877) opravil pomembna raziskovanja po odkritju naprševanja tankih plasti. Tako se je tisti čas razvila neka vrsta tesnega sodelovanja med proizvajalci dobre kapljice in eksperimentalne fizike, ki jo seveda ne gre zavreči tudi v sodobnem času. Znameniti londonski gentleman-znanstvenik je bil tudi poznejši raziskovalec tankih plasti William Crookes (1832-1919).

Plücker v Bonnu

Pomembnejše razprave londonskih raziskovalcev so Nemci sproti prevajali, kmalu pa so začeli objavljati tudi svoja odkritja. Matematik Julius Plücker (1801-1868) je po smrti sodelavca na univerzi v Bonnu prevzel tudi pouk eksperimentalne fizike. Ob hkratnem eksperimentiranju in raziskovanju v matematiki je Plückerja postal ena najzanimivejših oseb v zgodovini znanosti. V eksperimentalna raziskovanja je vnesel matematičnega duha, saj je opisoval vakuum kot nedosegljivo limbo. Leta 1848 je obiskal Faradaya in začel z njim tesno sodelovati. V prvih razpravah o razelektritvah v razredčenih plinih je deset let pozneje opisal, kako je med razelektritvijo »pozlatil, posrebril ali pobakril steklene stene izpraznjene cevi«.

* Predavanje na 9. mednarodnem srečanju »Vakuumsko znanost in tehnika«, ki je bilo 15.5.2002 v Trakoščanu

Robida v Celovcu

Najpomembnejše raziskave katodnega razprševanja je med slovenskimi znanstveniki objavil Stefanov gimnazijski profesor in razrednik Karel Lucas Robida (1804-1877) v Celovcu. V času Robidove objave je Stefan ravno dobil prvo plačano namestitev na dunajski zasebni realki.

Robida je razpršil priostreno elektrodo iz platine in »napravil bel okrogli madež iz ogromnega števila zrn platine, ki so se pri visokih temperaturah nalagale na ploščo... Madež je tem bolj bel, čim tesneje ležijo delci platine drug na drugem in tem bolj vijoličen, čim bolj se razmahne svetlobno nihanje...« Robida je objavil svojo razpravo le pet let po Grovejevem odkritju razprševanja kovin in nekaj mesecev pred Plückerjevimi opisi. Robida je bil prvi slovenski raziskovalec ionskega naprševanja in predhodnik cele veje uporabne znanosti v sodobni Ljubljani, ki se je medtem razširila tudi na njegovo rojstno Malo vas pri Ježici.

Med prvimi raziskovalci tankih plasti na Hrvaškem moramo gotovo omeniti Johanna Puluja (1845-1918), ki je bil asistent na pomorski akademiji na Reki. Reška pomorska šola je tedaj že imela stoletno tradicijo, saj je tam med letoma 1773 in 1784 matematiko poučeval domačin Franc Ksaver Orlando (1723-1784), sodelavec ljubljanskega profesorja Gabrijela Gruberja. Puluj je pozneje habilitiral na Dunaju in na Stefanovem fizikalnem inštitutu raziskoval tanke plasti. V eksperimentiranju z vakuumom se je izpopolnil pri Kundtu u Strassburgu, ki je leta 1886 objavil prvo razpravo v celoti posvečeno tankim plastem. Puluj je končno odšel v Prago in sodeloval z Ernstom Machom. Tudi Mach je sodeloval z Rečani, ki so po njegovih navodilih fotografirali in merili gibanje hitrih izstrelkov v morju. Še tesneje je bil povezan s Kranjsko, kjer so živeli njegovi starši.

Uporaba tankih plasti v Sloveniji

Sredi tridesetih let 20. stoletja so pri nemškem podjetju Leybold razvili prve naprševalnike za uporabo v indu-

striji. Dve desetletji pozneje smo novosti začeli uporabljati tudi v Sloveniji. Naparevanje tankih plasti so začeli uporabljati v Ljubljani nekaj let pred naprševanjem. Leta 1955 so v tovarni Saturnus pričeli s proizvodnjo parabol za avtomobilske žaromete, ki so jih naredili s postopkom vakuumskega naparevanja. Prvo napravo za naparevanje aluminija, po lepi slovenski navadi preimenovano v »Janeza«, so kupili pri angleškemu podjetju Edwards iz Crawleyja. Leta 1960 ustanovljena Iskra-Elektrooptika je začela proizvajati optične naprave in tankoplastne komponente. Med letoma 1974 in 1977 so na Inštitutu za elektroniko in vakuumsko tehniko pod vodstvom dr. Evgena Kanskega (1926-1987) razvili tehnologijo izdelave miniaturnega potenciometra. Proizvodnjo so prenesli v zamejsko tovarno Mipot v Krmini pri Gorici.

Tankoplastne tehnologije uporabljajo v Iskrini tovarni kondenzatorjev v Semiču, Iskri polprevodniki (danes Semicon) v Trbovljah, pri proizvodnji kovinoplastnih uporov in tekočerkristalnih prikazalnikov v bivši Iskrini tovarni Upori v Šentjerneju in seveda v nekdanji Iskrini tovarni Mikroelektronika. V Laboratoriju za mikroelektroniko na Fakulteti za elektrotehniko že tri desetletja razvijajo mikroelektronske tehnologije in sončne celice.

S temeljnimi in aplikativnimi raziskavami tankih plasti se že več kot štirideset let ukvarjajo tudi na Odseku za tanke plasti in površine Inštituta »Jožef Stefan«.

Sklep

V desetletjih po Grovejevem odkritju so Robida, Puluj in drugi raziskovalci, povezani s slovenskimi in hrvaškimi deželami, veliko prispevali k pravilnemu opisu naprševanja tankih plasti. Zato ni presenetljivo, da so danes tanke plasti prestižno področje slovenske in hrvaške uporabne znanosti. Razprševanje kovin z ioni ni več le škodljiv pojav, ki uničuje katode in onesnažuje plazmo. Poldrugo stoletje po odkritju ga znamo med drugim uporabiti tudi za čiščenje in jedkanje površin trdnih snovi, za nanašanje tankih plasti in za analize površin, kot bomo na tem srečanju še slišali.