

ZGODOVINA TEHNOLOGIJE TANKIH PLASTI

Stanislav Južnič*

History of thin film technology

ABSTRACT

The history of the thin film technology in the past hundred years is described. The special concern is put on the work done in Slovenia.

POVZETEK

Povzemamo sto let razvoja tehnologije vakuumskih tankih plasti. Posebna pozornost je posvečena raziskavam v Sloveniji.

1. UVOD

"Tanke plasti" so najprej izdelovali s kovanjem. Egipčanski mojstri iz Luxorja so znali že v XVIII dinastiji (1567-1320 p.n.š.) kovati zlato v 0,3 mikrometra debele lističe. Danes znamo skovati 0,1 do 0,05 mikrometra debele lističe, kar je skoraj nevidno pri pogledu od strani.

Sodobni naziv za specializirano tehnologijo "tankih plasti" se uporablja le za plasti, ki jih izdelamo s procesi nalaganja atoma na atom in ne s tanjšanjem razmeroma velikega kosa snovi.

Najstarejši tehniki nanašanja tankih plasti sta kemijska redukcija, ki je omogočala pripravo srebrne plasti za zrcala, in posrebevanje z električnim postopkom. Obe tehniki so iznašli pred več kot 150 leti.

V tej razpravi se bomo omejili na tanke plasti, ki jih izdelujemo v vakuumu. Zanje uporabljamo tri vrste tehnik: vakuumsko naprevanje, katodno razprševanje in kemijsko nanašanje.

XIX. STOLETJE

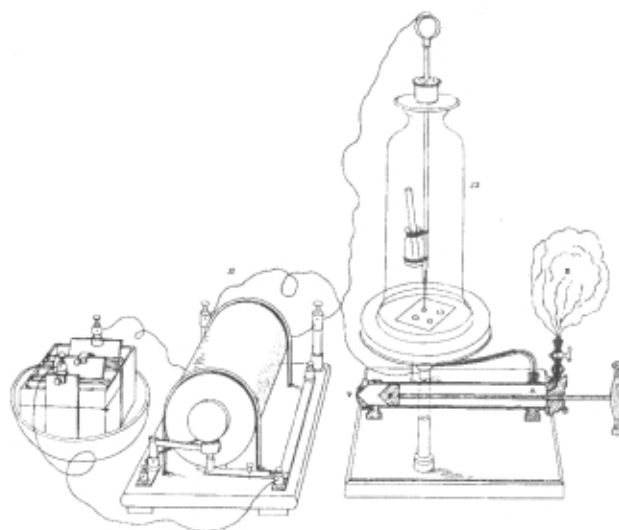
Prve vakuumske tanke plasti so opazili med raziskovanjem "katodnih žarkov" v Londonu in Bonnu. Že od Plückerjevega obiska pri Faradayu leta 1848 so Nemci in Angleži tesno sodelovali, saj so eksperimentalne naprave Angleža Gassiota uporabljali tudi v Bonnu in Münstru, razprave pa so sproti prevajali (Martin, 1944, 30, 33; Hittorf, 1869, 5, 202).

"Naprevanje" tanke plasti na stenah izpraznjene cevi sta prva opazila William R. Grove (1811-1896) leta 1853 in samostojno Plücker leta 1857 po električnem praznjenju ter Faraday leta 1857 med eksplozijo kovinske žice v vakuumu. Prve raziskave so dajale predvsem kvalitativne ugotovitve o trajanju "naprevanja" in legi "naparitve" glede na elektrodi (Južnič, 1994, 24-25). Tanke plasti so opazovali med raziskovanjem "katodnih žarkov" kot spremljevalni, večkrat moteči pojav.

Meritve na Angleškem

Gassiot je nadaljeval Faradayevo raziskovanje "katodnih žarkov". Ugotavljal je, da "naprevanje" katode iz platine ne more povzročati svetlobnih pojavov pri

praznjenju cevi, saj nima enake smeri v prostoru (1863, 134, 137; Plücker, 1857, 67). Preprečil je nastajanje kovinske usedline na stekleni steni okrog katode v izpraznjeni cevi, pred katero je postavil dodatno odprto cev z manjšim premerom. Katoda je potem ostala mrzla in nepoškodovana (Hittorf, 1869, 197-198, 210-211).



Slika 1. Shema naprave, s katero je W.R. Grove raziskoval razelektritve v plinih in leta 1853 prvič opazil pojav razprševanja katode

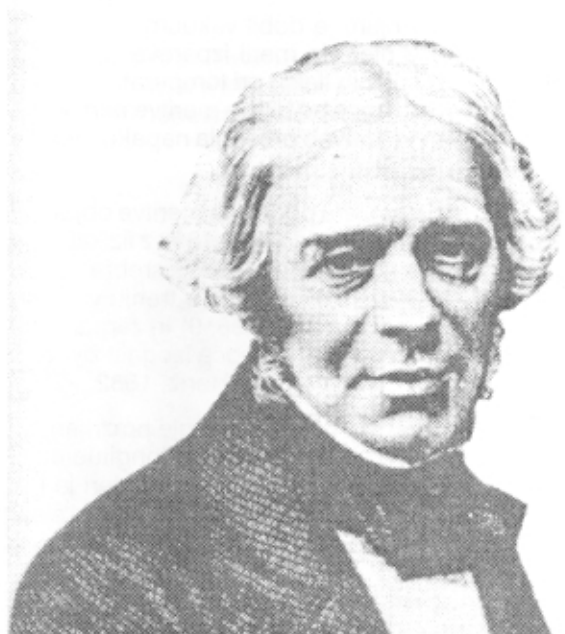
Meritve na Nemškem: Bonn

Plücker je v svoja eksperimentalna raziskovanja vnesel matematičnega duha, saj je opisoval vakuum kot nedosegljivo limbo (1858, 518). V svoji prvi razpravi o praznjenju električnega naboja skozi razredčene pline je 27.12.1857 objavil, da je mogoče med praznjenjem pozlatiti, posrebiti ali pobakriti stene cevi.

30.3.1858 je opazil, da se iz segrete katode iz platine razpršujejo delci proti anodi. Zato se notranjost dovolj majhne izpraznjene cevi prekrije z lepim zrcalom, na katerem lahko kemijsko dokažemo platino. Menjaval je primesi plinov v izpraznjeni cevi in ugotavljal, da npr. s fluorom in borom ne dobimo tankih plasti.

Nemški matematik Julius Plücker (1801-1868) se je začel ukvarjati z eksperimentalno fiziko kot začasni direktor fizikalnega kabineta univerze v Bonnu leta 1836 in predavatelj eksperimentalne fizike leta 1842 (Jungnickel, 1986, I/235). Po obisku pri Faradayu v Londonu leta 1848 je nadaljeval s kvalitativnimi poskusi tam, kjer so Faradayeva dela zaradi bolezni obstala. V Plückerjevem opusu si izmenoma sledijo pomembne raziskave v geometriji in eksperimentalni fiziki, kar je izjemen pojav v zgodovini znanosti. Po njegovi smrti je katedro in laboratorij za fiziko v Bonnu prevzel Rudolph Clausius (1822-1888).

* Stanislav Južnič je profesor fizike in računalništva na srednji šoli v Kočevju. Leta 1980 je diplomiral iz tehnične fizike na Fakulteti za naravoslovje in tehnologijo, magistriral pa leta 1984 iz zgodovine fizike na Filozofski fakulteti v Ljubljani.



Slika 2. Michael Faraday (1791-1867)

25.8.1858 je opazoval zelo tanko plast platine modre barve, zelo podobno tankim plastem zlata, ki jih je pred letom opisal Faraday. Lepa zrcala je dobil tudi s cinkovo elektrodo. Raziskoval je potek napajanja spreminjajoč debelino in dolžino elektrode v cevi (Plücker, 1858, 105, 113, 117, 68; Južnič, 1994, 25).

Nabit "izparjeni" delci so se čisti ali pomešani z delci plina odlagali na stene posode. Zato jih je lahko odklanjaj z magnetom tako, da je počrnil le posamezne dele cevi. Poročal je tudi o posebno lepim zrcalim iz platine na ravni podlagi (Plücker, 1859, 602, 614; 1862, 651).

Münster

Plücker je raziskoval predvsem spektre razredčenih plinov, njegovega učenca Hittorfa v Münstru pa je zanimala električna prevodnost. 9.10.1869 je raziskoval prevodnost plinov pri nizkih tlakih in visokih temperaturah. Pri razdalji med elektrodama 1 do 2 mm je zažarela elektroda iz platine, debela 1/2 mm. Kovina iz katere je bila katoda, je "naparila" zrcalo na steklo (1869, 210-211).

"Napajanje" platine z elektrode na steklo je manj motilo meritve pri uporabi večjih cevi, kot je bila Ruhmkorffova s 40 cm dolgo iskro na razstavi v Parizu leta 1867. Tam je spomladi 1867 eksperimentalno Plücker, septembra pa Hittorf (Hittorf, 1869, 202, 210).

Leta 1884 je Hittorf ugotavljal, da večina kovin "izpareva" iz katode že pred tališčem. Platina "izpareva", ko dobi spirala zaradi električnega toka v cevi barvo rumelega žara. Za 2 mm debele katode iz aluminija je potreboval kar 1000 med seboj povezanih Bunsenovih baterij, tlak v cevi pa je bil 2-3 mm Hg. "Napajanje" ob lepi, morsko zeleni barvi tlivne razelektritve je trajalo le nekaj sekund, med katerimi so se steklene stene pokrile z debelim sivim zrcalom.

V primeru ko katoda iz aluminija ni "izparila" do konca, je njena površina postala hrapava, polna tankih konic. Anoda je ostala nespremenjena. Hittorf je opisal tudi

"napajanje" praktičnih zrcal iz bakra (1884, 125-127, 130).

Pri nanašanju materiala katode na stene izpraznjene posode, v kateri so raziskovalci opazovali razelektritev, seveda ni šlo za napajanje, ampak za pojav, ki so ga že takrat poimenovali ionsko napajanje (angleško "sputtering", nemško "zerstäubung", rusko "raspilenie" in francosko "pulverisation"). Katoda izpostavljena obstreljevanju z visokoenergijskimi ioni iz plazme, se razpršuje. Vsak ion izbije določeno število atomov iz katode, ki se potem nalagajo na stene posode. Mehanizem razprševanja so razložili približno petdeset let po tistem, ko so ga prvič opazili, šele sto let pozneje pa so bili narejeni prvi kvantitativni modeli razprševanja (Behrisch, 1964, 297-300, Behrisch, 1981, 1-2).

Dunaj

V fizikalnem inštitutu Jožefa Stefana na Dunaju so se v sedemdesetih letih ukvarjali s plini, najprej z difuzijo nato pa s toplotno prevodnostjo. Z okoli 6 cm dolgo iskro so v izpraznjeni cevi dobili v pol ure lepo zrcalo iz platine. Niso pa še znali napaniti aluminija (Puluj, 1880, 870; Južnič, 1994, 25-26).

Strassburg: optične lastnosti tankih plasti

Presojnost tankih lističev zlata je preučeval že Thomas Young (1773-1829). Raziskovanja je nadaljeval britanski astronom Waren de la Rue (1815-1889) v sodelovanju s Faradayem, ki je leta 1857 preučeval presojnost tankih lističev cele vrste kovin, dobljenih s kemijskimi in elektrokemijskimi metodami. Zlate lističe je dobil tako, da je s praznjenjem leydenske steklenice napanil vodnik iz zlata na steklo (Faraday, 1857, 320; Quincke, 1863, 369; Martin, 1944, 34).

Quincke je v Berlinu preučeval presojnost tankih plasti na zraku in v vakuumu (1863, 384). Pomembne raziskave optičnih lastnosti interferenčnih kolobarjev tankih lističev sljude so bile objavljene tudi v Avstriji (Stefan, 1864).

Nahrwold je marca 1888 v Helmholtzovem fizikalnem inštitutu preučeval naelektritev razžarjene katode iz platine v evakuirani cevi. Opazil je, da se katoda iz platine veliko manj razpršuje v vodikcu kot na zraku (1888, 119, 121; Bunshah, 1994, 939).

Kundt je novembra 1885 uporabil napravo, podobno tisti, s katero je septembra 1877 Američan A.W.Wright opazil interferenčne kolobarje v plasteh različnih kovin, razpršenih iz katode. Deset cm dolg navpični stekleni valj je na obeh straneh zaprl z gladkima steklenima ploščama. S spodnje strani je zatalil elektrodo iz aluminija, od zgoraj pa katodo iz kovine, namenjene za razprševanje, ki jo je pritrdil s kavčukom na cev, tako

Nemški fizik Avgust Adolph Kundt (1839-1894) je leta 1886 kot profesor fizike v Strassburgu objavil prvo razpravo, ki je bila v celoti posvečena vakuumskim tankim plastem. Tesno je sodeloval s svojim učencem Wilhelmom Konradom Röntgenom (1845-1923), tedaj že profesorjem v Würzburgu, ki se je v tem Kundtovem delu srečal s "katodnimi žarki", ki so mu deset let pozneje prinesli svetovno slavo.

da jo je lahko med meritvami menjaval. Veliki indukcijski aparat je vzbujal z 3-6 Bunsenovimi elementi. Uporabil je različne kovine, vendar so se mu poskusi najbolj posrečili s platino. Pri katodi dolgi 2 cm, premera 0,2-0,5 mm je postavil vodoravno ploščo na razdaljo 2-12 mm. Iz posode je pazljivo odstranil kisik in vodno paro. Tudi z mikroskopom ni bilo mogoče najti nehomogenosti na tako dobljenih zrcalih v obliki stožca s povprečno debelino 10 nm in največjo debelino tik pod katodo.

Kundta je presenetilo odkritje dvojnega loma svetlobe odbite na meji med kovino in stekleno podlago zrcala. Tanko plast je opisal kot kristalno elastično membrano, ki je neenakomerno napeta zaradi naboja razpršenih delcev in zato povzroča dvojni lom. Leta 1888 je izmeril tudi lomni količnik zrcala iz platine (Kundt, 1886, 60-61, 65, 70; 1888, 473-474; Bunshah, 1994, 939).

Berlin: kondenzacija in izparevanje

J. Celestin Jamin (1818-1886) v Parizu in Heinrich Gustav Magnus (1802-1870) v Berlinu sta raziskovala kondenzacijo par in plinov na površinah trdih teles in pokazala pomembnost adsorbiranih plasti in povezavo s kemijskimi procesi na površini, kot je kataliza.



Slika 3. Heinrich Hertz (1857-1894)

Heinrich Hertz (1857-1894) je leta 1882 kot asistent Hermana von Helmholtza (1821-1894) v Berlinu v dveh delih raziskoval hitrost nalaganja snovi pri destilaciji kovinskega živega srebra v vakuumu. Dognal je, da je hitrost izparevanja sorazmerna razliki ravnotežnega tlaka živega srebra pri določeni temperaturi in hidrostatičnega tlaka na površini snovi, ki izpareva. Živo srebro je bilo pripravnejše za meritev od vode zaradi velike prevodnosti. S sočasnim črpanjem z živosrebno

črpalko in s segrevanjem je dobil vakuum z manj kot tisočinko mm Hg. V njem je meril izparevanje živega srebra pri devetih različnih tlakih pri temperaturah med 100°C in 200°C. Uporabne so bile le meritve nad 80°C, kjer je velikost tlaka zaznavno preseгла napako meritve 0,02 mm Hg.

Poleg Hertza so v istem letu podobne meritve objavljali tudi G.Hagen ter Ronker in Black leta 1883 z fizikalnega instituta v Berlinu. Meritve lastnosti živega srebra so bile zanimive zaradi Helmholtzove teorije o trenju v fluidih (Hittorf, 1883, 721; Jungnickel, 1986, 9) in zaradi uporabe v črpalkah, saj se ni bilo mogoče izogniti živosrebrenim param v izpraznjenih ceveh (Hertz, 1882, 222).

Helmholtz si je obetal, da bo raziskovanje praznjenja v vakuumu potrdilo njegovo domnevo o longitudinalni komponenti transverzalnega valovanja, h kateri je usmerjal vse Hertzove meritve, vključno z odkritjem elektromagnetnih valov leta 1888 (Južnič, 1994, 24).

Hertz je iz svojih meritev izpeljal temeljno enačbo za hitrost izparevanja, ki jo po poznejših dopolnitvah imenujemo Hertz-Knudsenova. Leta 1909 je Danec Knudsen dokazal veljavnost kosinusnega zakona za izparevanje S, Zn, Ag, in SbS₃. 24.6.1915 je dokazal, da je Hertz zaradi nečistoč na površini živega srebra dobil manjše vrednosti od napovedi teorije.

Leta 1913 je Irving Langmuir (1881-1957) ugotovil, da se Hertz-Knudsenova enačba nanaša na izparevanje iz prostih površin. Pri General Electricu je najprej preučeval vezi med atomi v tanki plasti plina na kovinskih vodnikih, ki je zanimala že Humphryja Davyja (1778-1829) leta 1822, saj je plin po segrevanju katode pokvaril vakuum (Hittorf, 1883, 735, 741). Pozneje je Langmuir raziskoval enomolekulske tanke plasti na vodi in na steklu, za katere se je zanimal že Lord Rayleigh (1842-1919). Za teorijo adsorpcije zaradi nenasičenih valentnih vezi atomov na površini plasti je Langmuir dobil leta 1932 Nobelovo nagrado za kemijo.

TANKE PLASTI V XX. STOLETJU

Tlivna razelektritev je v XX. stoletju ostala le še zanimiv svetlobni pojav. Raziskovanje se je usmerilo v dotlej manj pomembni spremljevalni pojav naprševanja tankih plasti (Hippel, 1926, 1043).

Tanke plasti na steklu

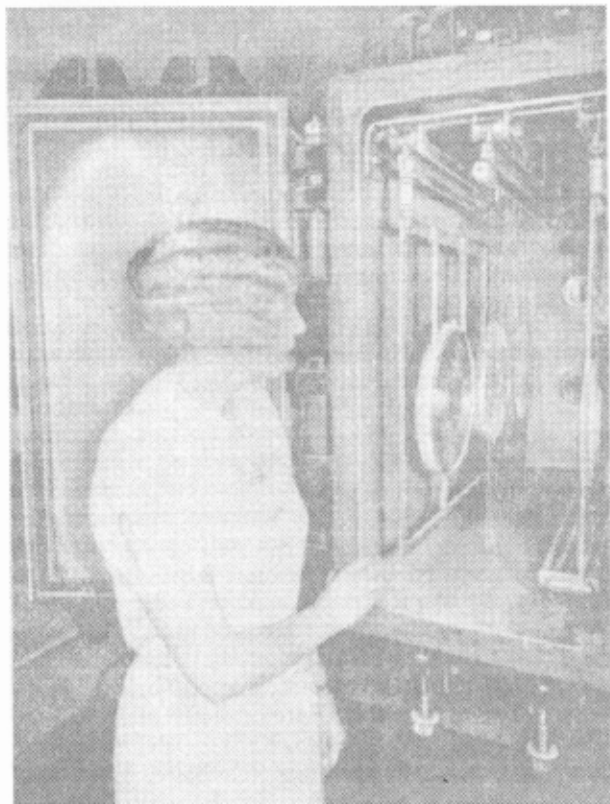
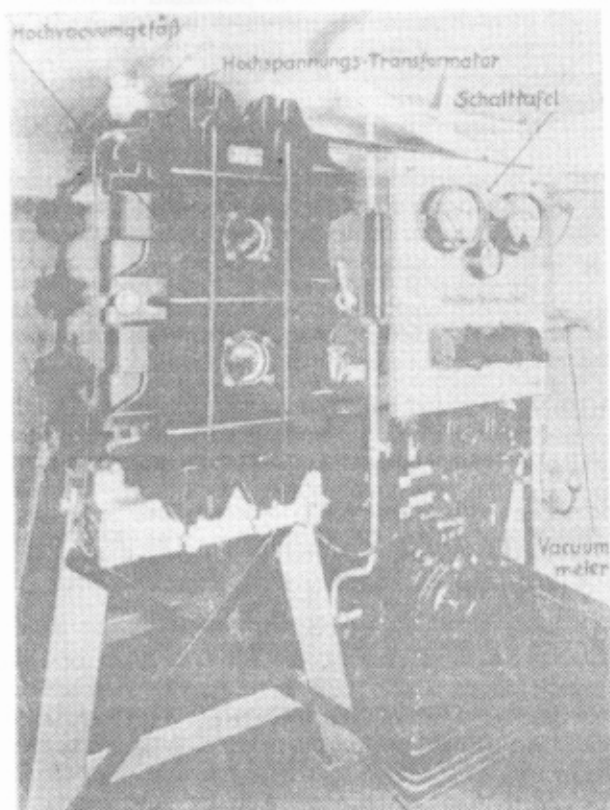
a) Antirefleksijske plasti

Joseph von Fraunhofer je leta 1817 prvi izdelal antirefleksijsko plast na steklu, ki ga je slučajno namakal v koncentrirano žvepleno ali dušikovo kislino. Večdar odkritja tedaj niso poskusili tehnično uporabiti. Šele desetletja pozneje so pojasnili, da interferenca zmanjša odboj na stekleni podlagi, če nanjo nanese tanko plast z manjšim lomnim količnikom.

Bauer z univerze v Göttingenu je 27.11.1933 izmeril absolutne vrednosti absorpcijskih konstant nekaterih kristalov alkalihalogenidov. V vakuumu je neparil plasti do debeline okoli 1000 nm, ki so bile najbolj primerne za meritev (Bauer, 1934, 434-435).

Leta 1935 sta John Strong s California Institute of Tehnology in Smakula iz Zeissa s kondenzacijo kalcijevega fluorida v vakuumu dobila enoplastno antirefleksijsko prevleko na steklu (Zinsmeister, 1984, 112-113;

Kansky, 1993, 8). Leta 1939 sta C.Hawlet Cartwright in A.Francis Turner z MIT objavila, da je s plastjo debeline 125 nm in lomnim količnikom 1,2 do 1,3 mogoče



Slika 4. (zgoraj) Zunanji izgled naprave za katodno naprševanje iz leta 1935, ki jo je neznano podjetje iz Hanau-a v Nemčiji uporabljalo za metalizacijo matric za izdelavo gramofonskih plošč; (spodaj) notranjost iste naprave - v sredini se vidi katoda iz srebrne žice.

praktično odpraviti odbojnost stekla. Lomni indeks materiala je bilo mogoče približati dani vrednosti s kontrolo okoliščin pri njegovem naprejanju. Vendar se je zato znižala gostota in s tem tudi mehanska žilavost, kar je močno omejilo seznam uporabnih snovi. Predlagala sta tudi uporabo večplastnih prevlek in praktično odpravila odboj z naprejanjem Al_2O_3 in SiO_2 .

Vrsta drugih predlaganih snovi je imela odlične optične lastnosti, vendar ni bila odporna proti mehanskim in drugim vplivom okolice. Izjema je bil magnezijev fluorid, ki je postal voodoporen po nanašanju na vroče podlage iz stekla. Leta 1942 je Lyon v ZDA izdelal prvo stabilno antirefleksijsko enoplastno prevleko iz magnezijevega fluorida (MgF_2) na prej segretem steklu.

Poskuse z večplastnimi prevlekami so delali v ZDA in v Evropi že leta 1938. Prvo tehnično zadovoljivo rešitev je dal dvoplastni sistem Auwärterja leta 1949 pri podjetju Balzers, ki je bilo ustanovljeno na njegovo pobudo (Zinsmeister, 1984, 113).

b) Kovinska zrcala

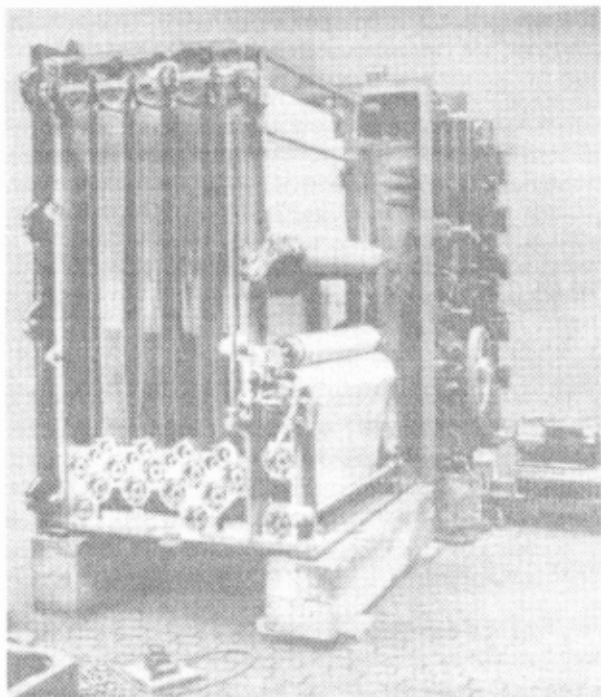
Visoko odbojne plasti so začeli industrijsko izdelovati veliko prej kot antirefleksijske. J. Liebig je že leta 1835 poročal o srebrnih zrcalnih plasteh, dobljenih z mokrim kemijskim postopkom. Prvi postopek metalizacije s katodnim naprševanjem je leta 1903 patentiral T.A. Edison (US-Patent Nr. 767 216). R.W. Pohl in Pringsheim sta leta 1912 poskusila dobiti tanko plast na zrcalu z naprejanjem Ag, Al in drugih kovin v vakuumu. Naprevala sta iz keramičnih (MgO) talilnih lončkov.

Leta 1926 je Jakov Iljič Frenkel (1894-1952) s Fizikalno-tehničnega instituta v Leningradu objavil domnevo o obstoju kritične temperature odboja kovinskih atomov od podlage. Njegovo teorijo sta istega leta eksperimentalno potrdila Khartinov in Nikolaj Nikolajevič Semenov (r.1896) na isti ustanovi. Dve leti pozneje sta Shalnikov in Semenov raziskovala nastajanje spojine pri hkratni kondenzaciji kadmija in žvepla. Leta 1956 je Semenov dobil Nobelovo nagrado za kemijo. Leta 1928 je Ritschl objavil metodo za sočasno posrebrevanje dveh interferometrijskih zrcal z naprejanjem. Debelino posrebrene plasti je kontroliral s fotometričnim merjenjem njene prepustnosti. Optično in mehansko kvaliteto zrcal je izboljšal z obdelavo s parami solne in solitne kisline (Ritschl, 1931, 578).

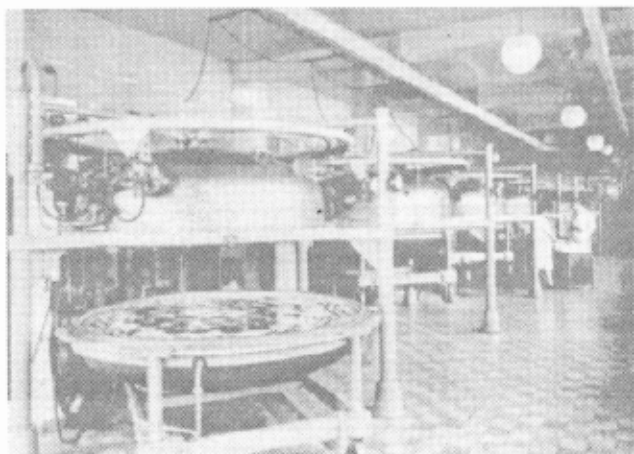
Leta 1930 sta W.W. Coblenz in R. Stair odkrila visoko odbojnost ultraviolečnih žarkov od površine aluminija in opisala tehniko izparevanja kovin v vakuumu (Zinsmeister, 1984, 112). Njuno odkritje je dopolnil John Strong s California Institute of Technology skupaj s Cartwrightom leta 1931 in samostojno 8.3.1933 v Physical Review, kjer je objavil dobro tehnično rešitev za naprejanje aluminija iz volframove spirale, kot jo pogosto uporabljamo še danes.

Aluminij je primeren za zrcala, saj skoraj tako dobro odbija zeleno svetlobo kot srebro, mnogo bolje pa ultraviolečno. Aluminij se tudi bolje prime stekla, zato ga je bilo mogoče prati z vodo in milom, kar ni puščalo vidnih poškodb tudi po treh mesecih. Tudi po šestih mesecih aluminijevo zrcalo ni izgubilo leska na atmosferi. Zato je Strong predvideval uspešno uporabo aluminijevih zrcal v UV optiki in za prekrivanje interferometričnih plošč.

Strong je uporabil volframovo spiralo, na katero je natopil čisti aluminij in ga potem izpareval v vakuumu. Izrabil je omejeno topnost volframa v tekočem aluminiju.



Slika 5. Naprava iste firme, ki so jo sredi tridesetih let uporabljali za metalizacijo papirja in tekstila; delovala je na principu katodnega naprševanja.



Slika 6. Tankoplastna proizvodnja podjetja HERAEUS iz Hanaua v letih 1940-1944.

Ožbrian in Skinner sta leta 1933 naparevala odbojne materiale za proizvodnjo tarč rentgenskih žarkov. Material sta postavila v grafitni talini lonček, ki sta ga segrevala z vročo spiralo iz volframa.

G. Hass je leta 1940 patentiral postopek zaščite Al zrcal s SiO_2 (BRD - Patent 943 314). Skupaj s sodelavci je v letih 1955-1965 vpeljal tehnologijo zaščite Al-plasti z MgF_2 oz. LiF zaščitnimi plastmi (za UV področje) in $\text{MgF}_2 + \text{CeO}_2$ (za vidno področje).

Tanke plasti v elektroniki

Leo Graetz (r.1856) z Univerze v Münchnu in Pollak sta odkrila usmerjevalni efekt aluminijaste elektrode, prekrite s tanko plastjo oksida, in pokazala na možnost uporabe v elektroniki. V Münchnu je tudi Wilhelm Beetz (1822-1886) na Politehniku uporabljal tanke plasti za raziskovanje magnetnih pojavov.

Taljenje kovin v vakuumu je prvi uporabil W. von Bolton (u.1912) za pridelavo tantala pri Siemensu leta 1902. Postal je zelo pomembno za proizvodnjo magnetnih snovi in posebno kvalitetnih uporov, pa tudi za topljenje kovin na steklu pri proizvodnji raznovrstnih elektronk (Siemens, 1957, I/287; II/255).

Fotoelektronske komponente, presojne in električno prevodne plasti SnO_2 , so začeli uporabljati za grelne elemente pri letalskih oknih v 2. svetovni vojni.

Druge vrste tankih plasti so našle uporabo pri uporih, kondenzatorjih in magnetnih plasteh, tako da je elektronika in mikroelektronika še danes najpomembnejše področje uporabe tankih plasti.

RAZISKOVANJE TANKIH PLASTI V SLOVENIJI

Raziskovanje tankih plasti v galvanoplastiki ima v Ljubljani že dolgo tradicijo. Gimnazijski profesor fizike Henrich Mitteis (1822-1888) je 18.3.1856, manj kot dve desetletji po prvih uporabah Mortitza Hermana Jakobija (1801-1874), podrobno poročal pred muzejskim društvom o zgodovini in razvoju galvanoplastike. Pokazal je zelo posrečene galvanoplastične odtise v bakru, poročal o pozlačevanju z galvanoplastiko in ponazoril povedano s poskusi (Dežman, 1858, 91). 11.2.1857 je podrobno pojasnil dotlej znane metode za oblikovanje aluminija in razložil vlogo, ki jo bo lahko po obsežni proizvodnji imela ta kovina v prihodnje v različnih obrtih in umetnostih (ibid. 105).

V naslednjih desetletjih Slovenija ni imela akademskega okolja, ki bi lahko sledilo razvoju eksaktnih znanosti v svetu. Še sredi XX stoletja smo Slovenci zasledovali raziskovanje tankih plasti v ZDA le s pomočjo dosegljive literature.

Sistematične raziskave in uporaba tankih plasti so se pri nas pričele v šestdesetih letih. Že prej, leta 1955, pa so v tovarni Saturnus pričeli s proizvodnjo parabol za avtomobilske žaromete, ki so jih naredili s postopkom vakuumskega naparevanja. Njihova prva naprava za naparevanje aluminija je bila kupljena pri angleški firmi Edwards. Leta 1960 je bila ustanovljena Iskra-Elektrooptika (danes Fotona), ki je začela z proizvodnjo optičnih naprav in tankoplastnih komponent. V letih 1974-1977 so na Institutu za elektroniko in vakuumsko tehniko pod vodstvom dr. Evgena Kanskega razvili tehnologijo izdelave miniaturnega potenciometra; proizvodnjo le-teh so prenesli v zamejsko tovarno Mipot v Krminu pri Gorici. Tankoplastne tehnologije so (ali so bile) tudi osnova proizvodnje kondenzatorjev v Iskrini tovarni kondenzatorjev v Semiču, Iskrni polprevodniki (danes Semicon) v Trbovljah, kovinoplastnih uporov in tekočokristalnih prikazalnikov v bivši Iskrini tovarni Upori v Šentjernejju in seveda v bivši Iskrini tovarni Mikroelektronika. V Laboratoriju za mikroelektroniko na Fakulteti za elektrotehniko se 25 let ukvarjajo z razvojem mikroelektronskih tehnologij in sončnih celic. Z bazičnimi raziskavami tankih plasti pa se že

trideset let ukvarjajo na Institutu "Jožef Stefan", v Odseku za tanke plasti in površine. Pred desetimi leti so ustanovili Center za trde prevleke, v katerem za industrijske potrebe nanašajo trde zaščitne prevleke.

LITERATURA

Bauer Gerhard, Absolutwerte der optischen Absorptionkonstanten von Alkalogenidkristallen im Gebiet ihrer ultravioletten Eigenfrequenzen, Ann. Phys. 19 (1934) 434-464
 Berisch Rainer, Festkörperzerstäubung durch Ionenbeschuss, Springer Verlag, Berlin, 1964; Sputtering by Ion Bombardment, Springer Verlag, Berlin, 1981
 Bunshah Roitan F., History and current status of vacuum metallurgy, J.Vac.Sci.Technolog. A 12 (4) (Jul/Aug 1994) 936-946
 Cartwright C.Hawley in A.Francis Turner, Reducing the Reflection from Glass by Multilayer Films, Phys.rev. 55 (1939) 675
 Dežman Karel (1821-1889), Bericht über die bei den monatl. Versammlungen der Mitglieder des Museal Vereins gehaltenen Vorträge in den J. 1856 und 1857, Jahresheft. Krain. Museum, 2 (1858), str.88-142
 Faraday Michael (1791-1867), Experimental Relations of Gold to Light, Phil. Trans. 1857 s. 145. Prevod v Ann. Phys. 101 (1857) 313-320
 Gassiot John Pieter (1798-1877), Proc. of the Roy. Soc. London 11 s. 329. Prevod Über die Wärme-Entwicklung an der Polen einer Voltaschen Batterie während des Durchganges leuchtender Entladungen durch Luft oder ein Vacuum, Ann. Phys. 119 1, 31-137
 Hertz Heinrich Rudolf (1857-1894), Über die Verdunstung der Flüssigkeiten, insbesondere Quecksilbers, im luftleeren Raume, Ann. Phys. 1882, ponatis v Schriften vermischten Inhalts, Leipzig 1895, str.199-214; Über den Druck des gesättigten Quecksilberdampfes, Ann. Phys. 1882, ponatis v Schriften vermischten Inhalts, Leipzig 1895, str.215-222
 Hippel Artur von, Zur Theorie der Kathodenzerstäubung, Ann. Phys. 81 (1926) 1043-
 Hittorf Johann Wilhelm (1824-1914), Über die Elektrizitäts-leitung der Gase, Ann. Phys. 136 (1869) 1-31 in 197-234, Ann.Phys. 20 (1883) in 21 (1884) 90

Hoover David S., Diamond Thin Film: Applications in Electronics Packaging, SST, Feb.1991, 89-92
 Jungnickel Christa in Russell McCormach, Intellectual Mastery of Nature, I in II, The University of Chicago Press, 1986
 Južnič Stanislav, Zgodovina raziskovanja "katodnih žarkov" in (katodnega) razprševanja kovin, Vakuumist, 14/3 (1994) 22-28
 Kansky Evgen (1926-1987), Nastajanje in rast vakuumskih tankih plasti, Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije, Ljubljana, 1990
 Knudsen Martin (1871-1949), Die maximale Verdampfungsgeschwindigkeit des Quecksilbers, Ann. Phys. 47 (1916) 697-708
 Kundt August (1839-1894), Über Doppelbrechung des Lichtes in Metallschichten, welche durch Zerstäuben einer Kathode hergestellt sind, Ann. Phys. 27 (1886) 59-71; Über die Brechungsexponenten der Metalle, Ann. Phys. 34 (1888) 469-489
 Martin Thomas, The Royal Institution, Longmans Green & Company, 1944
 Navinšek Boris, Razvoj in uporaba domačih tankoplastnih tehnologij, Elektrotehniški vestnik 5 (1984), 141-145
 Nahrwold R., Über die Electricitätsentwicklung an einen glühenden Platindrahtre, Ann. Phys. 35 (1888) 107-121
 Plücker Julius (1801-1868), Über die Einwirkung des Magnetes auf die elektrischen Entladungen in verdünnten Gasen, Ann. Phys. 103 (1858) 88-106; Fortgesetzte, 103 113-128 in 105 (1858) 67-84
 Puluj Johann (1845-1918), Strahlende Elektrodenmaterie, Wien. Ber. II 81 (1880) 864-923
 Quincke Georg German (1834-1924), Über die optischen Eigenschaften der Metalle, Ann. Phys. 119 (1863) 368-388
 Ritschl Rudolf, Über ein Verfahren zur halbdurchlässiger Versilberung von Interferometerspiegeln durch Verdampfen im Hochvakuum, Zeitschrift für Physik, Berlin, 69 (1931) 578-585
 Siemens Georg, History of the house of Siemens, Karl Alber, Freiburg/Munich, 1957 (v dveh delih)
 Stefan Jožef (1835-1893), Über eine Erscheinung am Newtonschen Farbengläse, Wien. Ber. II 50 (1864) str.135-137; Über Nebeninge an Newtonschen Farbengläse, Wien. Ber. II 50 (1865) 394-396
 Strong John, Evaporation Technique of Aluminium, Phys. Rev. 4 (1833) 498
 Zinsmeister G.J., Die Entwicklung der industriellen Dünnschicht-Technik, Vakuum-Technik, 33 (1984) 109-117

Tabela: Razvoj industrijske uporabe tankih plasti (Navinšek, 1984, 143)

Elektronika	<ul style="list-style-type: none"> × diskretni plastni upori <ul style="list-style-type: none"> × selenski usmerniki <ul style="list-style-type: none"> × diskretni kondenzatorji <ul style="list-style-type: none"> × galvanometrične plasti × mono-epitaksialne plasti × supra prevodne plasti × pasivna TP vezja <ul style="list-style-type: none"> × integrirana vezja s polprevodnimi diel. in prevodnimi plastmi ○ Si na safirju IC 			
	<ul style="list-style-type: none"> × antirefleksne prevleke <ul style="list-style-type: none"> × selenske fotocelice <ul style="list-style-type: none"> × interferenčni filtri-ogledala × fotoprevodniki × Vidicon TV elektronke <ul style="list-style-type: none"> ○ sončne celice × svetleče diode <ul style="list-style-type: none"> ○ elektroluminescenčni zasloni <ul style="list-style-type: none"> × zasloni s tekočimi kristali × elektro-kromski prikazalniki 			
Površinska obdelava	<ul style="list-style-type: none"> × metalizacija plastike × cenen nakit <ul style="list-style-type: none"> × toplotno reflektirajoče prevleke <ul style="list-style-type: none"> × korozijsko zaščitne plasti × toplotno absorpcijski filmi ○ filmi za mazanje (lubricant) <ul style="list-style-type: none"> × filmi proti obrabi × toplotno obstojni filmi 			
Leto	1930	1950	1970	1990

× - že v uporabi, ○ - razvoj v teku, delna uporaba