

ICONSISMUS XI



# VAKUUMIST

ČASOPIS ZA VAKUUMSKO ZNANOST, TEHNIKO IN TEHNOLOGIJE, VAKUUMSKO  
METALURGIJO, TANKE PLASTI, POVRŠINE IN FIZIKO PLAZME



53 let  
DVTS

LJUBLJANA, JULIJ 2012

ISSN 0351-9716

LETNIK 32, ŠT. 2

UDK 533.5.62:539.2:669-982



# Sporočilo za javnost



## MiniTest

**Portable Helium Leak Detector  
for industrial Use.**



**SCAN d.o.o. Preddvor**

Breg ob Kokri 7 · SI-4205 Preddvor · Phone +386-4-2750200  
Fax +386-4-2750420 · info@siol.net

Pfeiffer Vacuum je predstavil nov prenosni helijev merilnik netesnosti za industrijske aplikacije.

- Kompaktni vakuumski merilnik netesnosti z oknom iz kremenovega stekla za iskanje in merjenje majhnih netesnosti,
- zanesljivo delovanje pri visokih delovnih tlakih,
- majhni stroški vzdrževanja in velika učinkovitost.

**Asslar, Nemčija, 11. maj 2012.** Pfeiffer Vacuum je vpeljal prvi vakuumski merilnik netesnosti z oknom iz kremenovega stekla MiniTest 300. Posebnost te naprave je v tem, da helija ne zaznavamo z masnim spektrometrom kot navadno, temveč s senzorskim oknom iz kremenovega stekla. MiniTest 300 tehta le 5 kg, zato je idealen kot prenosni merilnik netesnosti, še posebej za servisiranje na klic. Kombinacija z brezžično krmilno enoto RC 500 WL omogoča, da testiranje netesnosti tudi velikih naprav in sistemov opravlja le ena oseba.

MiniTest 300 deluje pri delovnih tlakih do 200 mbar\*, brez potrebe po dodatnem zmanjšanju tlaka. V primerjavi s tradicionalnim merilnikom netesnosti z masnim spektrometrom kot senzorjem helija (delovni tlak okoli 20 mbar), je to precejšnja prednost pri stroških dela, uporabljenih materialih in siceršnji višini stroškov. Tudi stroški vzdrževanja so nižji v primerjavi s tradicionalnimi merilniki netesnosti, saj je MiniTest merilnik parcialnega tlaka helija, zato ne potrebuje lastnega črpalnega sistema.

Meja detekcije je  $5 \cdot 10^{-7}$  mbar L/s (pri črpalni hitrosti črpalke 1 L/s), kar omogoča uporabo za merjenje netesnosti v različnih industrijskih aplikacijah, kot so vakuumske naprave za nanos tankih prevlek, drugi vakuumski sistemi, vakuumske peči, cevovodi (v toplarnah in termoelektrarnah) itd.

Naprava ima dve različni funkciji merjenja netesnosti. Netesnost hitro poiščemo z iskalnim načinom, tj. kvalitativno iskanje netesnosti. Če pa nas poleg lociranja netesnosti zanima tudi njena velikost, uporabimo merilni način – kvantitativno zaznavanje netesnosti. Vse merilne podatke lahko preko daljinske krmilne enote shranimo na USB-ključ za nadaljnjo uporabo.

Več informacij na [www.pfeiffer-vacuum.com](http://www.pfeiffer-vacuum.com).



\* Za doseganje takega vakuuma potrebujemo vakuumsko črpalko, ki jo priključimo na detektor MiniTest 300, le-tega pa na napravo, ki jo evakuiramo in opihujemo s curkom helija.

# VAKUUMIST 32/2, julij 2012

## VSEBINA

### ČLANKI

<b>Reaktivno ionsko jedkanje (RIE) silicija na osnovi SF<sub>6</sub>/O<sub>2</sub>-kemije</b> Danilo Vrtačnik, Drago Resnik, Matej Možek, Borut Pečar, Tine Dolžan, Slavko Amon . . . . .	4
<b>Merjenje gostote nevtralnih atomov v porazelektrivnem območju plazme</b> Rok Zaplotnik, Alenka Vesel, Miran Mozetič . . . . .	8
<b>Pregled galvanske korozije</b> Matjaž Finšgar . . . . .	13
<b>Ljubljčanove knjige o vakuumu v Bruslju (ob tristoletnici rojstva Janeza Karla Filipa Kobencla v Ljubljani)</b> Stanislav Južnič . . . . .	16

### DRUŠTVENE NOVICE

<b>Vakuumska konferenca v Dubrovniku</b> Miran Mozetič . . . . .	26
<b>25. simpozij o fiziki plazme in plazemskih tehnologijah</b> Miran Mozetič . . . . .	29
<b>Pregled konferenc v letu 2012/2013</b> . . . . .	30
<b>Pregled člankov v Vakuumistu 2002–2011</b> . . . . .	32

#### VAKUUMIST

Časopis za vakuumsko znanost, tehniko in tehnologije, vakuumsko metalurgijo, tanke plasti, površine in fiziko plazme

Izid publikacije je finančno podprla Javna agencija za knjigo Republike Slovenije iz naslova razpisa za sofinanciranje domačih znanstvenih periodičnih publikacij

**Glavni in odgovorni urednik:** doc. dr. Miha Čekada

**Uredniški odbor:** dr. Matjaž Finšgar, dr. Jože Gasperič, prof. dr. Monika Jenko, dr. Stanislav Južnič, doc. dr. Marta Klanjšek Gunde, doc. dr. Janez Kovač, prof. dr. Urška Lavrenčič Štangar, dr. Peter Panjan, mag. Andrej Pregelj, dr. Drago Resnik, doc. dr. Alenka Vesel, prof. dr. Franc Zupanič

**Tehnični urednik:** Miro Pečar

**Lektor:** dr. Jože Gasperič

**Korektor:** dr. Matjaž Finšgar

**Oblikovanje naslovnice:** Ignac Kofol

**Tisk:** Littera picta, d. o. o., Rožna dolina, c. IV/32–36, 1000 Ljubljana

**Naklada:** 320 izvodov

Vakuumist on-line: <http://www.dvts.si/arhiv>

Letna naročnina: 25 EUR

ISSN 0351-9716

UDK 533.5.62:539.2:669-982

Izdaja Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije

Teslova 30

1000 Ljubljana

Tel. (01) 477 66 00

E-pošta: [info@dvts.si](mailto:info@dvts.si)

Domača stran društva: <http://www.dvts.si>

Številka transakcijskega računa pri NLB: 02083-0014712647

#### Uredništvo Vakuumista

doc. dr. Miha Čekada

glavni in odgovorni urednik Vakuumista

Institut »Jožef Stefan«

Jamova 39

1000 Ljubljana

e-pošta: [miha.cekada@ijs.si](mailto:miha.cekada@ijs.si)

tel.: (01) 477 37 96

faks.: (01) 251 93 85

# REAKTIVNO IONSKO JEDKANJE (RIE) SILICIJA NA OSNOVI SF<sub>6</sub>/O<sub>2</sub>-KEMIJE

Danilo Vrtačnik<sup>1,2</sup>, Drago Resnik<sup>1,2</sup>, Matej Možek<sup>1,2</sup>, Borut Pečar<sup>1</sup>, Tine Dolžan<sup>1</sup>, Slavko Amon<sup>1,2</sup>  
 ZNANSTVENI ČLANEK

<sup>1</sup>Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana

<sup>2</sup>CO NAMASTE, Jamova 39, 1000 Ljubljana

## POVZETEK

Opisan je sistem reaktivnega ionskega jedkanja silicija in mehanizem usmerjenega jedkanja s SF<sub>6</sub>/O<sub>2</sub>-kemijsko. Raziskana je odvisnost osnovnih lastnosti jedkanja od ključnih procesnih parametrov ter prikazana implementacija jedkanja pri izdelavi silicijevih mikrostruktur.

**Ključne besede:** MEMS, RIE, hitrost jedkanja, profil jedkanja, selektivnost jedkanja

## RIE etching of silicon based on SF<sub>6</sub>/O<sub>2</sub> chemistry

### Abstract

The system for reactive ion etching and mechanism of directional etching with SF<sub>6</sub>/O<sub>2</sub> chemistry are described. Investigation of basic process parameters was investigated and results of etching were implemented into fabrication of silicon microstructures.

**Keywords:** MEMS, RIE, etch rate, etch profile, selectivity of etching

## 1 UVOD

Pri izdelavi naprednih mikrostruktur, kot so npr. mikroelektromehanski in mikrooptoelektromehanski sistemi (angl. MEMS, MEOMS), je natančna kontrola mikroobdelave silicija in kompatibilnost jedkanja silicija s polprevodniškimi mikrotehnologijami ena od osnovnih zahtev. Reaktivno ionsko jedkanje (angl. *Reactive Ion Etching*, RIE) daje v primerjavi z mokrimi anizotropnimi jedkanji mnogo več možnosti realizacije različnih mikrostruktur, predvsem zaradi boljše kontrole profila jedkanja, večje anizotropije in neodvisnosti jedkanja od kristalografske orientacije. Zato jedkanje silicija po RIE-postopku postaja eno od osnovnih orodij za mikroobdelavo silicija.

Osnovni problem pri usmerjenem jedkanju silicija po RIE-postopku je v iskanju ravnovesja med istočasnim ščitjenjem (pasivacijo) stranskih sten pred jedkanjem in jedkanjem dna mikrostruktur. Ko znamo tak postopek ustrezno kontrolirati, je mogoče izdelovati mikrostrukture z odlično kontrolo profila jedkanja.

## 2 OSNOVNA ZGRADBA RIE-SISTEMA

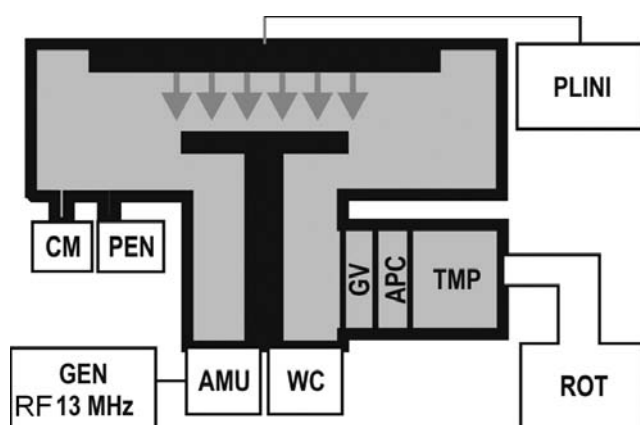
Schema uporabljenega RIE-sistema za suho jedkanje silicija je prikazano na **sliki 1**. V osnovi je to standardni sistem, ki se uporablja v mikroelektroniki za usmerjeno jedkanje tankih izolacijskih plasti, kot sta npr. silicijev oksid in silicijev nitrid. V našem

primeru smo sistem Plasmalab  $\mu$ P 80 proizvajalca Oxford Instruments, Plasma Technology, prilagodili tudi za usmerjeno jedkanje silicija.

Sistem sestavlja aluminijasta vakuumsko komora, gornja elektroda, ki je na ozemljitvenem potencialu in ki hkrati zagotavlja homogen dovod plinov v komoro, ter električno izolirana spodnja elektroda premera 240 mm, ki je priključena na RF-generator in ki se hkrati tudi rabi kot nosilec podlag. Medelektrodna razdalja je 50 mm. RF-generator frekvence 13,56 MHz in moči 300 W je kapacitivno povezan s plazmo. Tlak in pretoki plinov v komori so kontrolirani z avtomatsko kontrolo tlaka (angl. *Automatic Pressure Control*, APC) ter z masnimi merilniki pretoka (angl. *Mass Flow Controller*, MFC). Dobro odvajanje toplote od vzorca in nosilca vzorca na vodno hlajeno elektrodo na podlagi se zagotavlja s tankim premazom visokovakuumske masti.

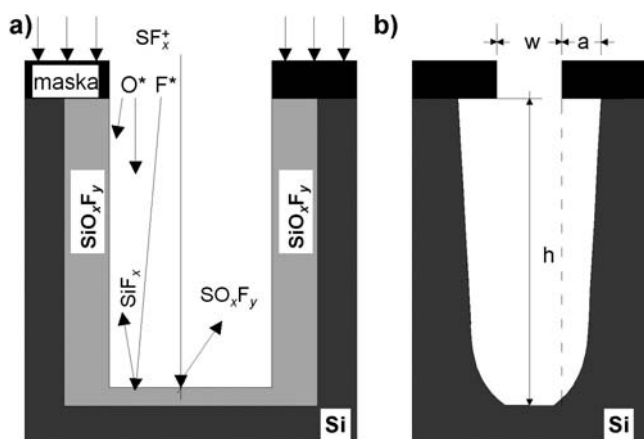
## 3 OSNOVE REAKTIVNEGA IONSKEGA JEDKANJA (RIE) SILICIJA S SF<sub>6</sub>/O<sub>2</sub>-KEMIJO PRI SOBNI TEMPERATURI

Najpogosteje uporabljena kemija za suho jedkanje silicija temelji na fluorovi plazmi. V prvi vrsti je to zato, ker so ti plini nestrupeni in ker se jedka silicij z visoko hitrostjo. Shematski prikaz mehanizma usmer-



**Slika 1:** Shema RIE-sistema:

- gornja elektroda z distribucijo plinov
- elektroda na podlagi z RF-generatorjem (GEN) in avtomatsko prilagoditveno enoto (AMU)
- vodno hlajena elektroda (WC)
- turbo (TMP) z dvostopenjsko rotacijsko črpalko (ROT)
- zaporni ventil (GV) in avtomatska kontrola tlaka (APC)
- merilniki tlaka (CM) in (PEN)



**Slika 2:** Shematski prikaz mehanizma usmerjenega jedkanja z RIE in SF<sub>6</sub>/O<sub>2</sub>-kemijo: a) idealni usmerjeni profil in b) realni profil s prikazanim lateralnim spodjedkavanjem  $a$  in pozitivnim nagibom stranskih sten profila globine  $h$  ter širine odprtine  $w$ .

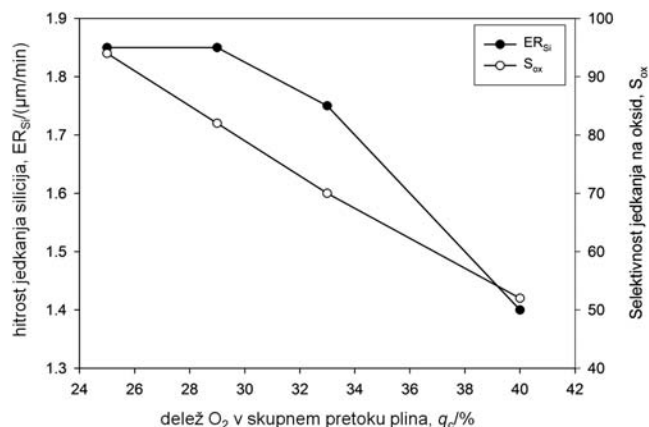
jenega jedkanja silicija z RIE in SF<sub>6</sub>/O<sub>2</sub>-kemijo je prikazan na **sliki 2**.

V plazmi molekule plina SF<sub>6</sub> razpadejo, proizvedejo fluorove radikale (F\*) in ti kemijsko jedkajo silicij. Produkt jedkanja je plin SiF<sub>x</sub>, najpogostejše sestave SiF<sub>4</sub>. Prav tako kisikove molekule v plazmi razpadejo v kisikove radikale (O\*), ki pasivirajo silicijevo površino s silicijevimi oksifluoridi (SiO<sub>x</sub>F<sub>y</sub>). Plin SF<sub>6</sub> je tudi izvir ionov SF<sub>x</sub><sup>+</sup>, ki odstranjujejo pasivacijsko plast z dna strukture preko formiranja hlapljivih produktov SO<sub>x</sub>F<sub>y</sub>. Takšno jedkanje je poznano iz literature pod imenom »ion-inhibitor« ali »desorption-controlled« RIE-jedkanje [1].

#### 4 REZULTATI JEDKANJA

Osnovni procesni parametri jedkanja so: tlak, skupni pretok in razmerje plinov ter RF-moč. Poleg procesnih parametrov je rezultat jedkanja odvisen tudi od izpostavljenosti površine, ki se jedka (silicijevega bremena, angl. *loading*) in geometrijskega razmerja med višino in širino struktur (angl. *Aspect Ratio*, AR). Na **sliki 2b** je to razmerje  $h/w$ .

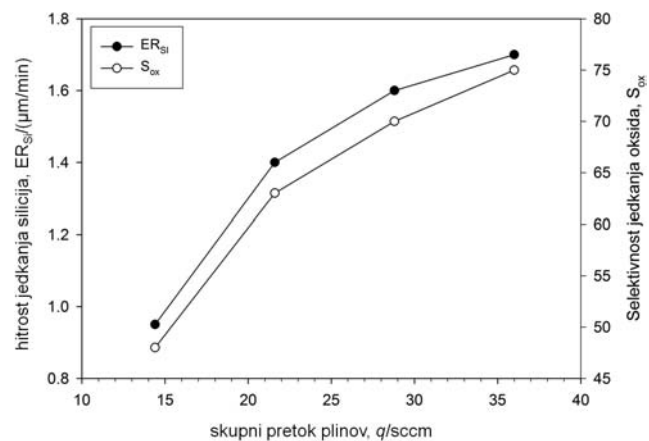
Prvi korak pri iskanju ustreznih procesnih parametrov jedkanja, ki dajejo usmerjen profil oziroma profil z vertikalnimi stenami, določimo s tako imenovano metodo črnega silicija (angl. *Black Silicon Method* – BSM), ki jo je razvil H. Jansen s sodelavci [2]. Metoda temelji na ugotovitvi, da se črni silicij pojavi takrat, ko je anizotropija jedkanja največja. Profil je tedaj vertikalni, površina dna strukture pa je tedaj hrapava, ker vsebuje mikrometrске ostanke nejedkanega silicija v obliki trave (angl. *grass*). Gladko površino dobimo, če pomaknemo jedkanje v režim, kjer so stene struktur rahlo obrnjene navznoter, to je v smeri negativnega konusa (angl. *negative tapering*).



**Slika 3:** Hitrost jedkanja silicija in selektivnost jedkanja oksidne maske v odvisnosti od deleža O<sub>2</sub> v skupnem pretoku plina

ing). Teoretično je anizotropni režim mogoče doseči za skoraj poljubno ustrezno kombinacijo tlaka in RF-moči ter drugih procesnih parametrov.

Na profil jedkanja je mogoče vplivati tudi z dodajanjem oziroma odvzemanjem silicijevega bremena. S tem vplivamo na pravilno razmerje med gostoto nevtralnih delcev in ionov, ki sodelujejo pri jedkanju. V osnovi je vpliv procesnih parametrov na lastnosti usmerjenega jedkanja naslednji: večji pretok plina povzroča, da je profil bolj izotropen, medtem ko večje silicijevo breme povzroča, da je profil bolj pozitivno konusen (angl. *positive tapered*). Pomembno je tudi plinsko razmerje med plinoma SF<sub>6</sub> in O<sub>2</sub>, ker preveliko ali premajhno razmerje dela profil bolj izotropen oziroma bolj pozitivno konusen (to je nagnjenega v smeri navzven). Podobno se na obliko profila odzivata tudi RF-moč in tlak, ki soodvisno vplivata na energijsko porazdelitev ionov ter gostoto nevtralnih delcev in ionov v plazmi. Nepravilna izbira le-teh povzroča poleg omenjenega še stranske efekte na obliko profila, kot so ukrivljenost (angl. *bowing*) in zasekanost (angl. *trenching*).



**Slika 4:** Hitrost jedkanja silicija in selektivnost jedkanja oksidne maske v odvisnosti od skupnega pretoka plina



Nanos plasti  $\text{SiO}_x\text{F}_y$  v glavnem določa vsebnost kisika v plinu  $\text{SF}_6$  in temperatura podlage. Eksperimenti so pokazali, da je zmes od 22 % do 28 % kisika v celotni zmesi plina tista, ki zagotavlja ustrezno pasivacijo stranskih sten, hkrati pa omogoča ustrezno odstranitev pasivacije z dna silicija [3].

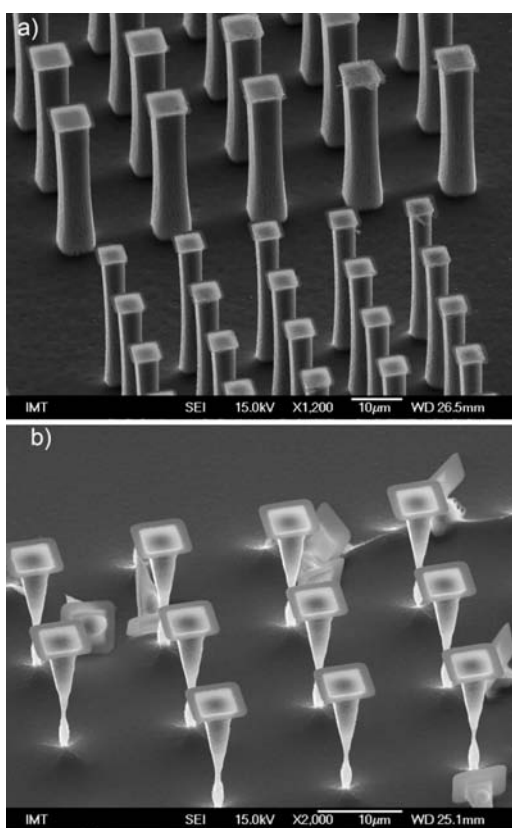
**Slika 3** prikazuje hitrost jedkanja silicija  $ER_{\text{Si}}$  in selektivnost jedkanja oksidne maske  $S_{\text{ox}}$  v odvisnosti od deleža  $\text{O}_2$  v skupnem pretoku plina za naslednje parametre jedkanja: sobna temperatura, RF-moč 150 W, skupni pretok plina pri standardnih razmerah  $36 \text{ cm}^3/\text{min}$  (tj.  $36 \text{ sccm}$ ), tlak  $0,16 \text{ mbar}$  in silicijevo breme  $80 \text{ cm}^2$ . Vidimo, da hitrost jedkanja silicija naglo upada, če koncentracija  $\text{O}_2$  narašča preko vrednosti 30 %. Takrat debelejša pasivacijska plast začne zavirati dostop nevtralnemu delcem do silicijevih površinskih vezi.

Na **sliki 4** je prikazana odvisnost hitrosti jedkanja silicija in selektivnost jedkanja oksidne maske od skupnega pretoka plina za enake parametre jedkanja, kot so bili uporabljeni na **sliki 3**, in za razmerje pretokov plinov  $\Phi(\text{SF}_6/\text{O}_2) = 3$ , to je 25 %  $\text{O}_2$  v skupnem pretoku. Hitrost jedkanja narašča s količino dovedenega plina, kar je razumljivo, saj večja količina plina generira bogatejšo plazmo z več delci, ki sodelujejo

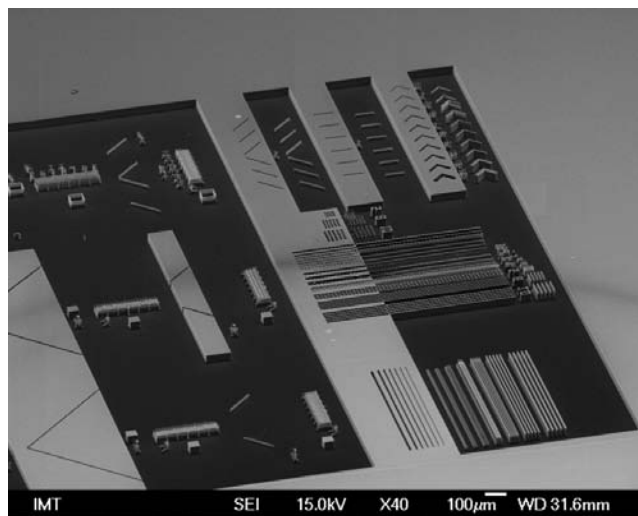
pri jedkanju. Naraščanje  $ER_{\text{Si}}$  s pretokom plina ni linearno, ker se pri konstantnem tlaku in pri večjem pretoku generira relativno manj delcev. To je posledica nižje ionizacijske proste poti elektronov.

Selektivnost jedkanja oksidne maske je definirana z razmerjem med hitrostjo jedkanja silicija in hitrostjo jedkanja oksida. Čim večja je ta, manj maskirnega oksida porabimo za to, da izjedkamo enako globino silicija. S **slik 3** in **4** je razvidno, da je selektivnost odvisna tako od deleža  $\text{O}_2$  v skupnem pretoku kakor tudi od velikosti skupnega pretoka plina in je v prvi vrsti funkcija hitrosti jedkanja silicija: čim večja je hitrost, tem večja je selektivnost. Vzrok je v dejstvu, da se hitrost jedkanja oksida s fluorovimi radikali znatno poveča, če so prisotni še ioni (angl. *ion-assisted etching*). Energija in gostota ionov sta v veliki meri funkciji RF-moči in tlaka, zato je pri konstantni RF-moči in tlaku hitrost jedkanja oksida bolj ali manj konstantna.

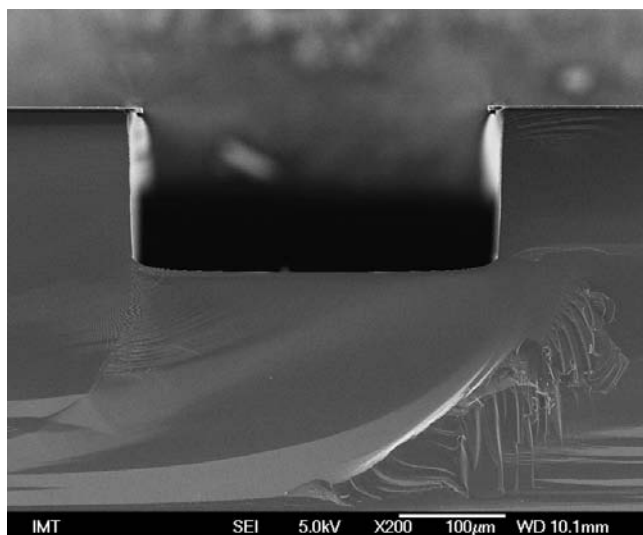
**Sliki 5a** in **5b** prikazujeta rezultat jedkanja stebričkov, maskiranih z oksidno masko dimenzij  $6,5 \mu\text{m} \times 6,5 \mu\text{m}$ . V prvem primeru je bil uporabljen optimalen set procesnih parametrov (RF-moč = 145 W, tlak  $0,13 \text{ mbar}$ , skupni pretok plinov  $36 \text{ sccm}$ , razmerje plinov  $\Phi(\text{SF}_6/\text{O}_2) 2,5$  in silicijevo breme  $40 \text{ cm}^2$ . Primer jedkanja, prikazanega na **sliki 5b**, se razlikuje od primera na **sliki 5a** v tem, da ni bilo uporabljenega dodatnega silicijevega bremena, RF-moč pa dvignjena iz 145 W na 180 W. Razvidno je, da manjše breme povzroča večje lateralno spodjedkavanje struktur in da večja energija ionov pri relativno visokem tlaku omogoča, da imajo razpršeni ioni v plazmi, ki bombardirajo silicijevo površino pod različnimi koti, zadostno energijo, da odstranjujejo pasivacijsko plast iz sten stebričkov.



**Slika 5:** Polje silicijevih stebričkov pod  $600 \text{ nm}$  debelo oksidno masko: a) skoraj vertikalni profil z rahlim lateralnim spodjedkavanjem silicija pod oksidno masko in profilom, ki kaže rahel efekt ukrivljenosti profila in b) močno spodjedkana struktura z močnim negativnim konusom



**Slika 6:** Jedkanje preizkusnih silicijevih mikrostruktur lateralnih dimenzij med  $3 \mu\text{m}$  in nekaj  $100 \mu\text{m}$  ter z višine okrog  $20 \mu\text{m}$



**Slika 7:** Realizacija mikrokanala v prerezu strukture, širine 300  $\mu\text{m}$  in višine 145  $\mu\text{m}$

Na **sliki 6** je prikazan primer optimiziranega jedkanja preizkusnih silicijevih mikrostruktur, kot so polni in votli stebrički ter okrogle in pravokotne votline. Mikrostrukture so izdelane na silicijevi ploščici premera 100 mm, s 40-odstotnim silicijevim bremenom. Hitrost jedkanja je v tem primeru 1,8  $\mu\text{m}/\text{min}$ , selektivnost jedkanja silicija glede na oksidno masko je 70 ter lateralno spodjedkavanje 4-odstotno. Zavedati se moramo, da zaradi kompleksnosti procesa jedkanja vsaka nova oblika zahteva individualno optimizacijo [4, 5].

**Slika 7** prikazuje primer 300  $\mu\text{m}$  širokega in 145  $\mu\text{m}$  visokega silicijevega mikrokanala v prerezu. Za masko je bil uporabljen fotorezist debeline 8  $\mu\text{m}$ . V tem primeru je imela silicijeva bremenska ploščina samo 2,75  $\text{cm}^2$ , zato je bila hitrost jedkanja silicija 1,8  $\mu\text{m}/\text{min}$  dosežena pri znižanih vrednostih parametrov jedkanja: pri pretoku plina  $\text{SF}_6$  15 sccm, tlaku 0,13 mbar in RF-moči 135 W [6].

## 5 SKLEP

Raziskan in razvit je bil postopek suhega jedkanja silicija v standardnem RIE-sistemu za suho jedkanje tankih izolacijskih plasti s  $\text{SF}_6/\text{O}_2$ -kemijo pri sobni temperaturi. Proces jedkanja je bil uporabljen pri razvoju različnih MEMS aplikacij, kot so izdelava mikrofluidnih kanalov za mikroprocesorje goriva, mikročrpalke, mikrokonice, itd. Glavna pomanjkljivost omenjenega načina pred namenski suhimi jedkalniki za globoko jedkanje silicija (ang. *Deep Reactive Ion Etching* – DRIE) je v omejeni hitrosti jedkanja, prevelikem spodjedkavanju (tipično 5–10 % glede na globino jedkanja), nizki selektivnosti in predvsem omejeni možnosti jedkanja struktur z velikim razmerjem med višino in širino struktur (AR). To razmerje je tipično omejeno na  $\text{AR} = 4\text{--}6$ , nasprotno od DRIE-jedkalnikov, kjer je mogoče doseči AR tudi večje od 20. Prav tako pri DRIE ni lateralnega spodjedkavanja, doseči pa je mogoče znatno večje hitrosti (tipično 5–10  $\mu\text{m}/\text{min}$ ) in večje selektivnosti jedkanja na oksidno masko (100–200).

## ZAHVALA

Raziskavo je sofinanciralo Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo Republike Slovenije.

## 6 LITERATURA

- [1] M. Elwenspoek and H. Jansen, *Silicon Micromachining*, Cambridge University Press, Cambridge CB2 1RP, 1998.
- [2] H. Jansen, H., M. De Boer, R., Legtenberg, M., Elwenspoek, J. *Micromech. Microeng.*, 5 (1995), 115–120
- [3] D. Vrtačnik, D. Resnik, U. Aljančič, M. Možek, S. Amon, *Microelectronics, MEMS, and Nanotechnology*, 11–14. 12. 2005, Brisbane, Avstralija, 11-14 December 2005. *Proceedings of SPIE on CD-ROM*, 2005, vol. 6037, 603720
- [4] K. P. Müller, K. Roithner, H.-J. Timme, *Microelectron. Eng.*, 27 (1995), 457–462
- [5] C. J. Mogab, *J. Electrochem. Soc.*, 124 (1977), 1262–1268
- [6] D. Vrtačnik, D. Resnik, U. Aljančič, M. Možek, S. Penič, S. Amon, 44<sup>th</sup> International Conference on Microelectronics, Devices and Materials and the Workshop on Advanced Plasma Technologies, 17.–19. 9. 2008, Fiesca, *Proceedings*, 2008, str. 93–98

# MERJENJE GOSTOTE NEVTRALNIH ATOMOV V PORAZELEKTRITVENEM OBMOČJU PLAZME

Rok Zaplotnik<sup>1,2</sup>, Alenka Vesel<sup>2</sup>, Miran Mozetič<sup>2</sup>

STROKOVNI ČLANEK

<sup>1</sup>Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Jamova 39, 1000 Ljubljana

<sup>2</sup>Institut »Jožef Stefan«, Jamova 39, 1000 Ljubljana

## POVZETEK

V članku predstavljamo nekaj v literaturi najpogostejših metod za merjenje gostote nevtralnih atomov v porazelektritvenem območju plazme. Metode smo opisali za primer merjenja nevtralnih kisikovih atomov, čeprav se večina opisanih metod lahko uporablja tudi za določanje gostote drugih nevtralnih atomov. Predstavljene so tudi primerjave med nekaterimi metodami. Rezultati teh primerjav nam razkrijejo določene prednosti in pomanjkljivosti metod.

**Ključne besede:** katalitične sonde, NO-titracija, TALIF, aktinometrija, FOCP, kisikova plazma

## Neutral atom density measurement in the plasma postglow region

### ABSTRACT

In this paper some of the most common methods for neutral atom density measurements in plasma postglow are presented. The methods are described for the case of neutral oxygen density measurement, although most of the described methods can be used to determine the density of several types of neutral atoms. A comparison of methods is presented. The results of these comparisons reveal certain advantages and disadvantages of the methods.

**Key words:** catalytic probes, NO titration, TALIF, actinometry, FOCP, oxygen plasma

## 1 UVOD

Pomembnost nevtralnih atomov kot reaktivnih delcev v sodobni znanosti narašča. Nevtralni atomi se uporabljajo npr. v nanoznanosti [1–3] za sintezo velikih količin nanožičk iz kovinskih oksidov, v biomedicinski znanosti [4, 5] za sterilizacijo delikantnih biokompatibilnih materialov in v znanosti o površinah [6, 7] za spreminjanje površinskih lastnosti.

Največje gostote nevtralnih atomov dobimo z elektromagnetnimi razelektritvami. Tipična gostota nevtralnih kisikovih atomov v nizkotlačnih kisikovih plazmah je okoli  $10^{21} \text{ m}^{-3}$  [8–10]. Gostote nevtralnih atomov pa, v odvisnosti od razelektritvenih parametrov, lahko variirajo za več redov velikosti.

Ker je za določeno uporabo potrebna točno določena gostota nevtralnih atomov, jo je treba kar se da natančno določiti. Za določitev gostote nevtralnih atomov obstaja več metod. Vsaka metoda določanja gostote nevtralnih atomov v porazelektritvenem območju plazme ima tako prednosti kot pomanjkljivosti. Nekatere metode so primernejše za določanje nizkih gostot, druge za določanje gostot z dobro časovno in prostorsko ločljivostjo, nekatere so enostavne in

preproste za uporabo, druge zahtevne in drage. Oglejmo si, kako nekatere od teh metod delujejo.

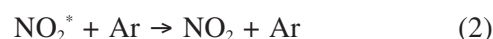
## 2 METODE MERJENJA GOSTOTE NEVTRALNIH KISIKOVIH ATOMOV

V tem poglavju so na kratko predstavljene v literaturi najpogostejše metode za merjenje gostote nevtralnih kisikovih atomov. Večina opisanih metod je uporabna tudi za merjenje drugih nevtralnih atomov (npr. dušikovih in vodikovih).

### 2.1 NO-titracija

NO-titracija je precej zanesljiva kemična metoda za določanje gostote nevtralnih kisikovih atomov. Metoda temelji na reakciji med atomi kisika, ki so nastali v plazmi, in dušikovega oksida, ki ga dovajamo v porazelektritveno komoro. Zaradi varnostnih razlogov se po navadi uporablja mešanico dušikovega oksida in argona.

V porazelektritveni komori potekajo naslednje reakcije [11]:



Pri reakciji (1) nastaja metastabilna molekula  $\text{NO}_2^*$ , ki pri prehodu v osnovno stanje (3) seva zeleno svetlobo z vrhom okoli  $\lambda = 575 \text{ nm}$ . Intenziteto te svetlobe merimo z optično emisijsko spektroskopijo.

Število nastalih metastabilnih molekul  $\text{NO}_2^*$  je odvisno od gostote nevtralnih kisikovih atomov, nastalih v plazmi, in od volumenskega pretoka NO. Sledi, da je intenziteta izsevane svetlobe  $I(\text{NO}_2^*)$  sorazmerna z gostoto kisikovih atomov  $n_{\text{O}}$  in gostoto dušikovega oksida  $n_{\text{NO}}$ . Zvezo lahko zapišemo kot:

$$I(\text{NO}_2^*) = K(\lambda) \cdot n_{\text{NO}} \cdot n_{\text{O}} \quad (4)$$

kjer je  $K(\lambda)$  konstanta, ki je odvisna od spektralne občutljivosti spektrometra, energije fotonov, verjetnosti emisije in od hitrosti potekanja reakcij (1) in (3). Enačbo (4) lahko enostavneje zapišemo kot:

$$I(\text{NO}_2^*) = r \cdot n_{\text{NO}} \quad (5)$$

kjer je  $r = K(\lambda) \cdot n_{\text{O}}$ . Enačba (4) pove, da je intenziteta izsevane svetlobe  $I(\text{NO}_2^*)$  linearno odvisna od gostote oziroma volumenskega pretoka dušikovega oksida.



Iz naklona premice  $r$ , ki ga dobimo z merjenjem intenzitete  $I(\text{NO}_2^*)$  v odvisnosti od volumenskega pretoka NO, lahko izračunamo gostoto nevtralnih kisikovih atomov  $n_o$ . Konstanto  $K(\lambda)$  se določi s kalibracijo z dušikom.

Pomanjkljivost te metode sta predvsem strupena plina NO in NO<sub>2</sub>. Poleg tega pa je metoda uporabna le v porazelektritvenem območju, saj se v razelektritvenem območju NO zaradi trkov z elektroni uniči. Gostota nevtralnih atomov v plazmi se lahko torej določi le z uporabo primernege modela in podatkov, izmerjenih v porazelektritvi.

## 2.2 Absorpcijske metode

Pri optično absorpcijskih tehnikah se pogosto uporablja opazovanje fluorescence, ki jo povzroči absorpcija fotona curka laserske svetlobe, s katero se selektivno vzbujata atome v osnovnem stanju. Vzbujen atom se nato deekscitira in izseva foton z valovno dolžino v vidnem spektru.

Za vzbujanje atomov iz osnovnega stanja se uporabijo fotoni s točno določeno energijo. Atom absorbira energijo in preide v višje vzbujeno stanje. Nato se s fluorescenco oziroma z izsevanjem svetlobe relaksira v nižje stanje. V primeru kisikovih atomov morajo fotoni imeti najmanj valovno dolžino 130 nm, kar ustreza prehodu med osnovnim stanjem  $2p^4\ ^3P$  in vzbujenim stanjem  $3s\ ^3S$  [12]. To je namreč dovoljen optični prehod z najmanjšo energijo (9,5 eV). Ker pa nastavljivih laserjev pri tako kratkih valovnih dolžinah ni, so razvili tako imenovano dvofotonsko absorpcijo.

Tehnika, ki za vzbujanje atomov iz osnovnega stanja uporablja dvofotonsko absorpcijo, se imenuje dvofotonska laserska fluorescenca oziroma TALIF (*Two Photon Laser-Induced Fluorescence*). Atom istočasno absorbira dva fotona z energijo enako polovici energije prehoda. Za kisikove atome je prvi tak prehod iz osnovnega stanja v stanje  $3p\ ^3P$ . Za ta prehod je potrebna energija okoli 11 eV, kar pomeni dva fotona z valovno dolžino 226 nm. Svetlobo pri tej valovni dolžini pa je že mogoče doseči z uporabo določenih nelinearnih optičnih procesov.

Gostota kisikovih atomov, vzbujenih iz osnovnega stanja v stanje  $3p\ ^3P$ , se torej določi z merjenjem fluorescence v stanje  $3s\ ^3S$  pri 845 nm.

Tehnika TALIF ima zelo dobro prostorsko in časovno ločljivost. Prostorska je določena z debelino laserskega curka, ki je tipično okoli 100 μm, časovna pa je reda velikosti 0,1 ms. Metoda ima tudi nekaj pomanjkljivosti. Zaradi bistveno manjšega preseka za dvofotonsko absorpcijo kot za enofotonsko je za to tehniko merjenja potreben zelo močan vir laserske svetlobe, kar pomeni, da je metoda zelo draga. Za določanje absolutne gostote atomov je metodo treba

tudi umeriti, za kar se je uporabljala NO-titracija, dokler niso Goehlich s sodel. [13] ponudili tehnično bolj preprosto kalibracijo z žlahtnimi plini. Poleg tega tehnika omogoča merjenje nevtralnih kisikovih atomov le v porazelektritvenem območju, kjer so atomi zopet v osnovnem stanju in ne v vzbujenem, kot so bili v območju razelektritve.

## 2.3 Aktinometrija

Aktinometrijo sta prvič, kot tehniko za določanje gostote fluorovih atomov, leta 1980 predstavila J. W. Coburn in M. Chen [14]. Pri tej tehniki določanja gostote prostih atomov v osnovnem stanju se uporablja optična emisijska spektroskopija in aktinometer. Slednji je plin, ki ga v majhnih a znanih koncentracijah dodamo v plinsko mešanico. Po navadi je to žlahtni plin, ki ima sevalni prehod blizu prehoda delcev, katerih gostoto želimo izmeriti. Pri meritvah nevtralnih kisikovih atomov se najpogosteje uporablja argon.

Ker je gostota argonovih atomov v plinski mešanici poznana, se z razmerjem med intenzitetami vrhov emisijskih črt argona in kisika lahko določi gostoto nevtralnih kisikovih atomov. Primerja se intenziteta kisikove emisijske črte 845 nm z intenziteto argonove črte pri 750 nm.

Razmerje med intenzitetama emisijskih črt opiše izraz [15]:

$$\frac{I_O}{I_{Ar}} \propto \frac{n_O}{n_{Ar}} \frac{\int_{\epsilon_O}^{\infty} \sigma_O(\epsilon) f(\epsilon) \sqrt{\epsilon} d\epsilon}{\int_{\epsilon_{Ar}}^{\infty} \sigma_{Ar}(\epsilon) f(\epsilon) \sqrt{\epsilon} d\epsilon} \quad (6)$$

kjer sta  $I_O$  in  $I_{Ar}$  intenziteti vrhov emisijskih črt,  $n_o$  in  $n_{Ar}$  številski gostoti atomov v osnovnem stanju,  $\sigma_o$  in  $\sigma_{Ar}$  preseka za elektronsko ekscitacijo atoma v osnovnem stanju,  $f(\epsilon)$  funkcija porazdelitve energije elektronov in  $\epsilon$  energija elektronov. Ker opazujemo razmerje intenzitet črt, se gostoti elektronov okrajšata in zato izraz ni odvisen od gostote elektronov  $n_e$ , še vedno pa je odvisen od  $f(\epsilon)$ . Če sta integrala konstantna, lahko izraz (6) zapišemo kot:

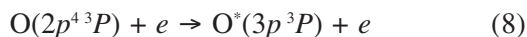
$$\frac{I_O}{I_{Ar}} = \frac{k_O}{k_{Ar}} \frac{n_O}{n_{Ar}} = k'_O \frac{n_O}{n_{Ar}} \quad (7)$$

kjer so  $k$  sorazmernostne konstante. Ta izraz je temelj aktinometrije kot tehnike za merjenje gostote atomov v osnovnem stanju.

V izrazu (7) je  $k'_O$  konstanta, le če sta odvisnosti od energije pri presekih  $\sigma_o(\epsilon)$  in  $\sigma_{Ar}(\epsilon)$  enaki ali če se v področju integriranja  $f(\epsilon)$  bistveno ne spremeni. V realnih sistemih pa je oblika presekov relativno nepomembna, saj  $f(\epsilon)$  hitro pada z večanjem energije

in je pomembna le gostota elektronov, ki imajo energijo večjo od obeh prehodov. Če sta energiji prehodov  $\varepsilon_O$  in  $\varepsilon_{Ar}$  podobni, je  $k'_0$  konstanten.

Največja pomanjkljivost te tehnike je v njenih dveh predpostavkah. Aktinometrija namreč temelji na predpostavkah, da se stanje  $O^*$  vzbudi zgolj z neposrednim trkom elektrona z atomom v osnovnem stanju:

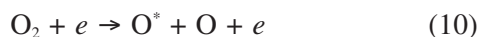


vzbujeno stanje  $O^*$  pa izgubi energijo le z izsevanjem karakterističnega fotona:



Iz (8) in (9) je torej razvidno, da je intenziteta vrha emisijske črte pri 845 nm direktno sorazmerna s koncentracijo vzbujenih atomov  $O^*$  oziroma kar z gostoto atomov v osnovnem stanju  $O$ .

Dejansko pa do stanja  $O^*$  lahko pride na več načinov. Poleg vzbujanja iz osnovnega stanja se stanje  $O^*$  lahko vzbudi z večstopenjsko ekscitacijo, z deekscitacijo z višjih vzbujenih stanj ali, v določenih okoliščinah, z disociativno ekscitacijo [16]:



K intenziteti emisijske črte torej ne prispevajo le prosti atomi v osnovnem stanju, pač pa tudi molekule, ki pri trku z elektronom doživijo disociativno ekscitacijo.

Poleg tega pa vzbujeno stanje  $O^*$  ne izgublja energije le pri deekscitaciji, ampak tudi pri trkih med atomi [15, 16].

Ti popravki tehniko aktinometrije precej zakomplirajo, saj je za točno določanje gostote nevtralnih kisikovih atomov treba upoštevati dokaj kompleksen kinetični model [17].

## 2.4 Katalitične sonde

Katalitične sonde so med omenjenimi metodami najstarejše. Prvič je katalitično sondo opisal W. V. Smith leta 1942 [18]. V omenjenem članku je uporabil platino, ki jo je kot katalitični material naparil na stekleno kapico. Temperaturo steklene kapice je meril s termočlenom. Za povezavo med temperaturo katalitičnega materiala in gostoto atomov je ponudil le preprosto kvalitativno razlago: ko je gostota atomov v okolici sonde večja, potem je tudi temperatura sonde višja.

Novo različico katalitične sonde, aktivno grelno sondo, sta leta 1961 predstavila Wood in Wise [19]. Za katalitični material sta uporabila greto katalitično žarilno nitko. Namesto merjenja temperature katalizatorja sta merila električno moč, ki je potrebna, da temperatura žarilne nitke ostaja nespremenjena, potem ko se na njeni površini pričnejo rekombinacije. Čeprav je merjenje z aktivno grelno katalitično sondo precej

bolj neposredno, pa zaradi preprostosti v literaturi še vedno večkrat najdemo navadno katalitično sondo.

Katalitične sonde se segrevajo zaradi disipacije energije, ki jo povzročajo heterogene rekombinacije atomov na površini katalizatorja. Iz temperaturne krivulje sonde pa lahko določimo gostoto nevtralnih atomov v okolici sonde ali pa rekombinacijski koeficient uporabljenega katalizatorja.

Sonde pri delovanju izkoriščajo eksotermno naravo rekombinacijske reakcije, ki je v našem primeru:



Na vsak par atomov, ki se rekombinira na površini sonde, se sprosti disociacijska energija  $W_D$ , ki je v primeru reakcije (11)  $W_D = 5,12$  eV [20]. Če je sonda izpostavljena gostoti atomov  $n$  in lahko zanemarimo usmerjen tok plina, je gostota toka atomov na sondo enaka  $j = n \cdot v/4$ , kjer je  $v$  termična hitrost atomov in se izračuna z enačbo:

$$v = \sqrt{8kT_0/\pi m_a} \quad (12)$$

kjer je  $T_0$  kinetična temperatura plina v bližini sonde,  $m_a$  je masa atomov in  $k$  Boltzmannova konstanta.

Gostota toplotnega toka, sproščenega na sondi z rekombinacijskim koeficientom  $\gamma$ , je potem:

$$J = \gamma \cdot \frac{1}{4} \cdot n \cdot v \cdot \frac{W_D}{2} \quad (13)$$

Kot je razvidno iz enačbe (13) je gostota toplotnega toka, ki se sprošča na sondi, odvisna ne le od okolice sonde, ampak tudi od rekombinacijskega koeficienta materiala, iz katerega je sonda narejena. Če torej želimo iz sonde dobiti čim boljši signal, se mora le-ta bolj segreti in mora zato biti narejena iz materiala, ki ima čim večji rekombinacijski koeficient. Če pa merimo v območju z zelo veliko gostoto atomov, mora biti rekombinacijski koeficient manjši, da se sonda ne stali.

Katalitične sonde imajo v primerjavi z drugimi opisanimi metodami kar nekaj prednosti. Zaradi enostavne izdelave so izredno dostopne in poceni, enostavne za uporabo, kvantitativne in se lahko uporabljajo za merjenje gostote nevtralnih atomov v območju razelektritve.

Metoda merjenja s katalitičnimi sondami ima tudi nekaj pomanjkljivosti. Med omenjenimi metodami ima namreč najslabšo časovno ločljivost, saj je za eno meritev treba počakati toliko, da se sonda segreje do ravnovesne temperature, kar navadno traja nekaj deset sekund. Pri sistematičnih meritvah karakteristik plazme sicer obstaja postopek meritev, ki ta čas bistveno zmanjša, a je časovna ločljivost še vedno reda velikosti sekunde.

Poleg tega je merjenje s katalitično sondo destruktivna metoda, saj je sonda ponor atomov in se gostota

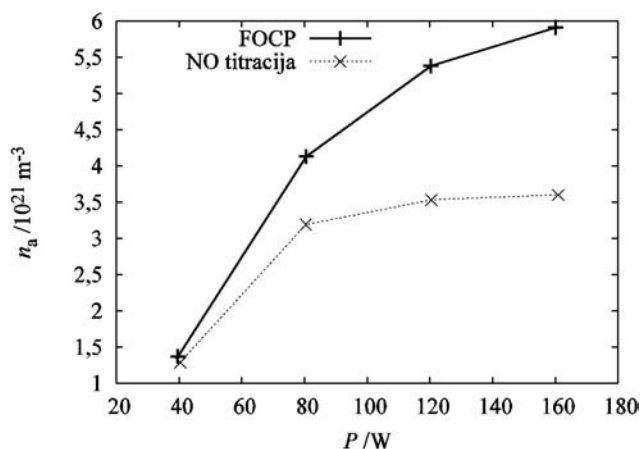
nevtralnih atomov v njeni okolici zaradi tega zmanjša, kar pa ni velika pomanjkljivost, saj se vpliv sonde na okolico preprosto upošteva pri obdelavi podatkov.

Glavna pomanjkljivost navadne katalitične sonde je naslednja: Pri eksperimentih, kjer se uporablja radiofrekvenčna razelektritev in meritve s katalitično sondo potekajo blizu razelektritvenega območja, so največji problem elektromagnetne interference. Električni signal, ki ga odčitavamo na katalitični sondi, je zelo šibek in zato že zaradi manjših radiofrekvenčnih motenj postane neuporaben. To pa je tudi glavni razlog, zakaj so razvili novo verzijo katalitične sonde, optično katalitično sondo [21]. Optična katalitična sonda (FOCP – *Fiber Optic Catalytic Probe*) za zajemanje signala uporablja optična vlakna in jo zato elektromagnetne interference ne motijo.

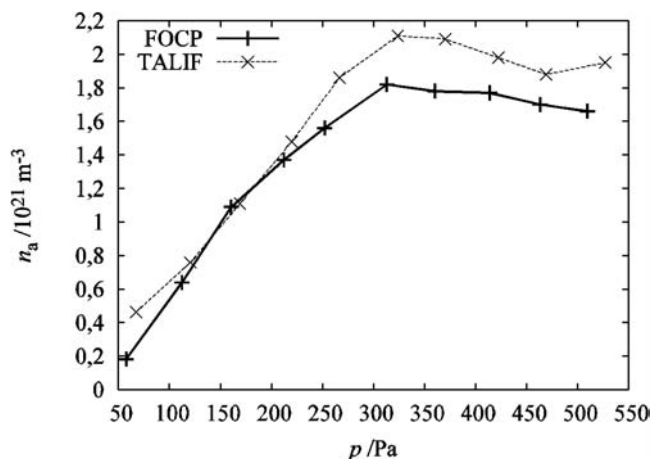
### 3 PRIMERJAVA METOD

V tem poglavju si bomo ogledali primerjave nekaterih prej omenjenih metod. Na **sliki 1** so predstavljeni rezultati primerjave NO-titracije in optične katalitične sonde (FOCP). Mozetič s sodel. [22] je ti dve metodi primerjal v porazelektritvi mikrovalovne plazme, ustvarjene v surfatronu v mešanici plinov kisika in argona, in prišel do sklepa, da sta obe metodi dali podobne rezultate. S **slike 1** je razvidno, da se izmerjene gostote razlikujejo največ do 1,7-krat. Primerjava je razkrila nekaj prednosti obeh metod. NO-titracija lahko meri gostoto nevtralnih kisikovih atomov pri zelo majhnih koncentracijah kisikovih atomov, tudi pod stopnjo disociacije  $10^{-3}$ , medtem ko je FOCP veliko hitrejša metoda, pri kateri se ne uporablja strupenih plinov.

Za primerjavo metode TALIF z optično katalitično sondo (FOCP) je Gaboriau s sodel. [23] uporabil dušikovo plazmo. Merili so dušikove atome v poraz-



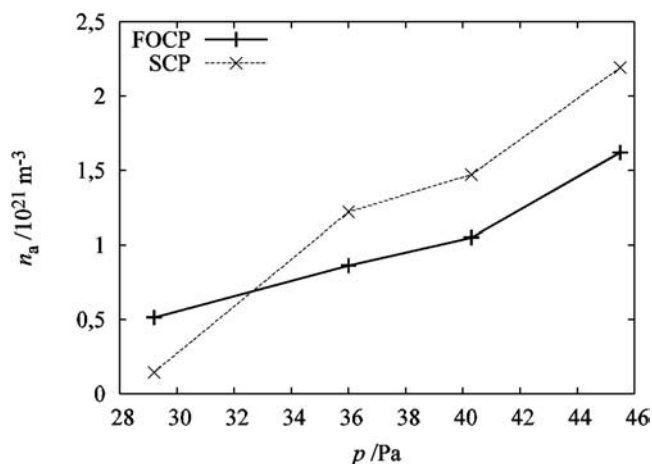
**Slika 1:** Gostota nevtralnih kisikovih atomov v porazelektritveni komori mikrovalovne plazme, v odvisnosti od moči mikrovalovnega generatorja, merjena z optično katalitično sondo (FOCP) in z NO-titracijo pri 16 Pa [22]



**Slika 2:** Gostota nevtralnih dušikovih atomov v porazelektritveni komori mikrovalovne plazme v odvisnosti od tlaka v porazelektritveni komori pri 270 W, merjena z optično katalitično sondo (FOCP) in metodo TALIF [23]

elektritvi dušikove plazme, ustvarjene s surfatronskim mikrovalovnim generatorjem. Na **sliki 2** so predstavljene gostote nevtralnih dušikovih atomov v odvisnosti od tlaka v porazelektritveni komori, kjer je bila mikrovalovna moč 270 W. Ugotovimo lahko, da se rezultati, izmerjeni z metodo TALIF, le do okoli 30 % razlikujejo od rezultatov, izmerjenih z optično katalitično sondo. Metodi sta torej primerljivi, saj so odmiki med rezultati v okviru natančnosti metod. Metoda TALIF ima boljše časovno in prostorsko ločljivost, optična katalitična sonda (FOCP) pa je preprostejša za uporabo, ne potrebuje zelo drage opreme in ne potrebuje umeritve.

Primerjavo med standardno katalitično sondo (SCP – *Standard Catalytic Probe*) in optično katalitično sondo (FOCP) pa je Poberaj s sodel. [24] opravil v induktivno sklopljeni radiofrekvenčni (27,12 MHz)



**Slika 3:** Gostota nevtralnih kisikovih atomov v porazelektritveni komori induktivno sklopljene radiofrekvenčne plazme v odvisnosti od tlaka v porazelektritveni komori pri 200 W, merjena z optično katalitično sondo (FOCP) in standardno katalitično sondo (SCP) [24]

kisikovi plazmi. Radiofrekvenčno moč na generatorju so nastavili na 200 W in spreminjali tlak v porazelektritivni komori. Na **sliki 3** so predstavljeni rezultati teh meritev.

Rezultati izmerjeni s katalitičnima sondama se razlikujejo le do okoli 30 %, kar je v okviru natančnosti sond. Sklepi, do katerih so prišli v omenjenem članku, pa so naslednji: Čeprav so rezultati, dobljeni z standardno (SCP) in optično (FOCP) katalitično sondo, zelo podobni, pa ima optična katalitična sonda le nekaj prednosti. Ponovljivost rezultatov z optično katalitično sondo je manjša od 1 %, medtem ko je ponovljivost rezultatov, izmerjenih s standardno katalitično sondo, nekaj odstotkov. Poleg tega so na natančnost meritev s standardno katalitično sondo vplivale tudi radiofrekvenčne motnje, medtem ko na optično katalitično sondo niso.

#### 4 SKLEPI

Za merjenje nevtralnih atomov v porazelektritivnih območjih plazem obstaja več metod. V literaturi najpogosteje uporabljene so: NO-titracija, absorpcijske metode, aktinometrija in katalitične sonde. Vsaka od njih ima določene dobre lastnosti in nekaj pomanjkljivosti, npr. za meritve gostote nevtralnih atomov s čim večjo prostorsko in časovno ločljivostjo je najprimernejša metoda TALIF, ki pa je dokaj zahtevna, zahteva zelo drago opremo in je neuporabna v območju razelektritve.

Z vidika uporabnosti in enostavnosti pa se odlikujeta standardna katalitična sonda (SCP) in optična katalitična sonda (FOCP). Katalitične sonde se lahko uporabljajo za merjenje različnih nevtralnih atomov. Za merjenje nevtralnih kisikovih atomov se največkrat uporablja nikljeva katalitična konica, za merjenje vodikovih atomov je najprimernejša katalitična konica iz zlata, za merjenje dušikovih atomov pa

železna katalitična konica. Katalitične sonde so zaradi enostavne izdelave izredno dostopne in poceni, poleg tega pa so zelo enostavne za uporabo. Uporabne so tudi pri meritvah nevtralnih atomov v območjih razelektritve.

#### 5 LITERATURA

- [1] U. Cvelbar, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 44 (2011), 174014
- [2] U. Cvelbar, Z. Chen, M. K. Sunkara, M. Mozetič, *Small*, 4 (2008), 1610–1614
- [3] M. Mozetič, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 44 (2011), 174028
- [4] A. Vesel, M. Mozetič, M. Jaganjac, L. Milkovič, A. Cipak, N. Zarkovič, *Eur. Phys. J.: Appl. Phys.*, 56 (2011), 24024
- [5] U. Cvelbar, M. Mozetič, N. Hauptman, M. Klanjšek-Gunde, *J. Appl. Phys.*, 106 (2009), 103303
- [6] A. Vesel, *Surf. Coat. Technol.*, 205 (2010), 490–497
- [7] T. Vrlinič, A. Vesel, U. Cvelbar, M. Krajnc, M. Mozetič, *Surf. Interface Anal.*, 39 (2007), 476–481
- [8] M. Balat-Pichelin, A. Vesel, *Chem. Phys.*, 327 (2007), 112–118
- [9] G. Primc, R. Zaplotnik, A. Vesel, M. Mozetič, *AIP Advances*, 1 (2011), 022129
- [10] R. Zaplotnik, A. Vesel, M. Mozetič, *Europhys. Lett.*, 95 (2011), 55001
- [11] A. Ricard, T. Czerwiec, T. Belmonte, S. Bockel, H. Michel, *Thin Solid Films*, 341 (1999), 1–8
- [12] L. Dimauro, R. Gottscho, T. Miller, *J. Appl. Phys.*, 56 (1984), 2007–2011
- [13] A. Goehlich, T. Kawetzki, H. Dobeles, *J. Chem. Phys.*, 108 (1998), 9362–9370
- [14] J. Coburn, M. Chen, *J. Appl. Phys.*, 51 (1980), 3134–3136
- [15] J. Booth, O. Joubert, J. Pelletier, N. Sadeghi, *J. Appl. Phys.*, 69 (1991), 618–626
- [16] R. Walkup, K. Saenger, G. Selwyn, *J. Chem. Phys.*, 84 (1986), 2668–2674
- [17] P. Macko, P. Veis, G. Cernogora, *Plasma Sources Sci. T.*, 13 (2004), 251–262
- [18] W. V. Smith, *The Journal of Chemical Physics*, 11 (1943), 110–125
- [19] B. J. Wood, H. Wise, *The Journal of Physical Chemistry*, 65 (1961), 1976–1983
- [20] P. Brix, G. Herzberg, *The Journal of Chemical Physics*, 21 (1953), 2240–2240
- [21] D. Babič, I. Poberaj, M. Mozetič, *Rev. Sci. Instrum.*, 72 (2001), 4110–4114
- [22] M. Mozetič, A. Ricard, D. Babič, I. Poberaj, J. Levaton, V. Monna, U. Cvelbar, *J. Vac. Sci. Technol. A*, 21 (2003), 369–374
- [23] F. Gaboriau, U. Cvelbar, M. Mozetič, A. Erradi, B. Rouffet, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 42 (2009), 055204
- [24] I. Poberaj, M. Mozetič, D. Babič, *J. Vac. Sci. Technol. A*, 20 (2002), 189–193



# PREGLED GALVANSKE KOROZIJE

Matjaž Finšgar

Institut »Jožef Stefan«, Jamova 39, 1000 Ljubljana

STROKOVNI ČLANEK

## POVZETEK

Galvanski tok nastane, kadar je kovinski material v istem elektrolitu in električnem stiku z drugim kovinskim materialom ali nekovinskim prevodnim materialom. Pogost primer galvanske korozije je stik bakrene in jeklene cevi. Galvanska korozija lahko povzroči hiter propad materiala. Po drugi strani pa izkoriščamo značilnosti te vrste korozije za katodno zaščito, kjer žrtvena elektroda skrbi za obnovo določene kovine.

**Ključne besede:** galvanska korozija, korozija, kovina, zlitina

## An overview of galvanic corrosion

### ABSTRACT

Galvanic corrosion occurs when a metallic material is in electrical contact to another metallic material or conducting nonmetal in the same electrolyte. A common case is coupling of a copper and a steel pipe. Galvanic corrosion can cause quick deterioration of the material. On the other hand, one metal can protect another attached metal from corrosion, which is the basis for cathodic protection by employing sacrificial electrodes.

**Keywords:** galvanic corrosion, corrosion, metal, alloy

## 1 UVOD

Glavni razlog za nastanek galvanske korozije je razlika potencialov na površini dveh kovin. Pri tem tipu korozije gre za naslednje pomembne vplive:

- lastnosti elektrokemijskih reakcij korozije na elektrodah: oksidacija kovine, redukcija kisika, sproščanje vodika;
- metalurški faktorji: tip zlitine, toplotna in mehanska obdelava;
- površina elektrode: ali je površinsko obdelana, ali je na površini pasivna tanka plast in ali so na površini korozijski produkti;
- geometrijski faktorji: velikost površine, razdalja med različnimi materiali, položaj in oblika materiala;
- okoljski atmosferski dejavniki;
- lastnosti elektrolita: prevodnost, tip ionske zvrsti, pH, temperatura, hitrost toka tekočine.

Kadar sta dve različni elektrodi sklopljeni, lahko iz vrednosti standardnega elektrodnega potenciala kovin predvidimo polariteto galvanskega člana, ampak to velja samo informativno. Dejanski potencial na elektrodi v elektrolitu (imenovan korozijski potencial) je odvisen od reakcij na površini elektrode, sestave materiala in sestave površinske plasti. Mnogokrat je korozijski potencial kovine zelo različen od svoje termodinamske vrednosti (standardnega elektrodnega potenciala). Tako je za določevanje polaritete bolj kot

standardna napetostna vrsta pomembna galvanska vrsta za določen elektrolit.

Galvanska korozija anodnega materiala lahko povzroči tako generalni (enakomerna oziroma splošna korozija) kot tudi lokalni (lokalna korozija) propad materiala. Na to, kateri tip korozije bo prevladal, vpliva postavitev materialov, sestava površinskih plasti in narava kovin ali zlitin v tem procesu.

Dodatek majhne količine določenega materiala zlitini ne prispeva pomembno k spremembi korozijskega potenciala. Po drugi strani pa lahko pomembno vpliva na elektrokemijske procese in tako na hitrost galvanske korozije. Prav tako na hitrost galvanske korozije v zlitinah vpliva mikrostruktura faz, kot na primer spremenjen delež feritne in martenzitne faze v dupleksnem nerjavnem jeklu [1].

Galvanska korozija pa ni samo posledica razlik korozijskih potencialov dveh kovinskih materialov. Lahko nastane tudi med kovinskim in nekovinskim materialom. Nekovinski minerali imajo po navadi višji potencial od kovin in lahko povzročijo galvansko korozijo le-teh. To je primer uporabe grafitne epoksidne strukture v letalski industriji. V tem primeru se z izolacijo te strukture od aluminija prepreči galvanski korozivni napad [2].

## 2 HITROST GALVANSKE KOROZIJE

Korozijska potenciala dveh kovinskih materialov nam povesta samo polariteto obeh elektrod (kjer bo nastala oksidacija in redukcija), razlika teh dveh potencialov pa ne da informacije o hitrosti galvanske korozije. Ta je poleg razlike korozijskih potencialov odvisna tudi od drugih faktorjev, kot so kinetična in koncentracijska polarizacija elektrod.

Hitrost galvanske korozije se lahko oceni s potopitvenimi preizkusi z merjenjem izgube mase. Najprej se določi hitrost korozije dveh sklopljenih kovinskih materialov, ki je posledica galvanske korozije, ter korozije posamezne kovine ali zlitine. Nato se določi hitrost korozije posameznega kovinskega materiala v enakem elektrolitu. Razlika hitrosti se rabi le kot ocena hitrosti galvanske korozije, kajti mnogokrat je hitrost korozije pri sklopljenih materialih višja v primerjavi z vsoto korozij nesklapljenih kovin in galvanske korozije (izmerjene z meritvami galvanskega toka). Razlika nastane zaradi povečanja hitrosti lokalne korozije kot posledice nastanka stika med dvema kovinama.

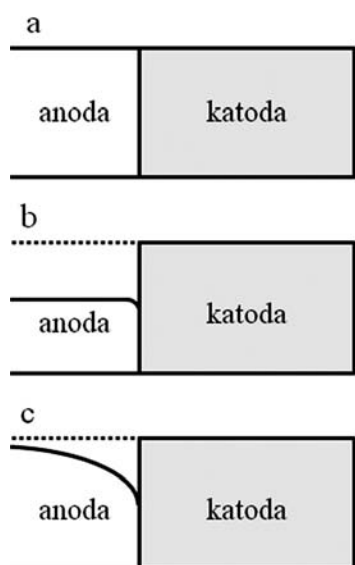
Na hitrost galvanske korozije vpliva tudi vrsta hitrosti odločujoče reakcije. V primeru, da je katodna reakcija tista, ki določa hitrost reakcije, potem sprememba površine anode ne vpliva pomembno na hitrost galvanske korozije. Po drugi strani pa ima zelo pomemben vpliv sprememba površine katode. Pri anodno kontroliranem procesu velja nasprotno.

Sestava plasti na površini elektrode v določenem elektrolitu je mnogokrat različna od materiala kovinske elektrode. Na površini se lahko tvori plast adsorbiranih snovi ali določena površinska plast (npr. oksidna plast). Korozijski potencial na takšni površini je drugačen od standardnega potenciala kovine in pomembno vpliva na elektrokemijske procese kovine pri procesu galvanske korozije. Na primer, titan ima relativno nizek standardni elektrodni potencial (pri bolj negativnih potencialih glede na nekatere kovine) v standardni napetostni vrsti, po drugi strani pa mnogo bolj pozitivno vrednost v galvanski vrsti mnogih elektrolitov, kar je posledica pasivacije površine [1].

Prav tako se hitrost redukcije kisika na železovi elektrodi poveča zaradi nastanka rje (železovih oksidov) na površini, ki je porozna in ima veliko specifično površino. Korodirano železo deluje kot zelo učinkovita katoda, kadar je sklopljeno s kovinami z bolj negativnim korozijskim potencialom, kot so cink, aluminij in magnezij [2].

### 3 VPLIV OKOLJA KOVIN

Elektrokemijske lastnosti reakcij posameznih kovin so značilne za določen elektrolit. Posledično je tudi galvanska korozija kovin značilna in odvisna od okolja kovin. Hitrost galvanske korozije je odvisna od



**Slika 1:** Vpliv prevodnosti elektrolita na porazdelitev galvanske korozije: a) začetno stanje pred nastankom galvanske korozije, b) visoka prevodnost raztopine in c) nizka prevodnost raztopine.

sestave elektrolita, predvsem zaradi vpliva na kinetiko elektrokemijskih reakcij. Zelo pomemben faktor je prevodnost elektrolita. Kadar je elektrolit zelo prevoden (npr. morska voda), je galvanska korozija na anodnem materialu enakomerna po vsej površini. Po drugi strani, kadar je elektrolit manj prevoden, je vpliv galvanske korozije opazen le na ozkem področju stika dveh materialov (**slika 1**).

Prav tako pa je hitrost galvanske korozije odvisna od prevodnosti. V bolj prevodnem elektrolitu je hitrost galvanske korozije višja kot v manj prevodnem. Na primer, problem nastanka galvanske korozije je prisoten predvsem v pomorski industriji zaradi visoke prevodnosti morske vode.

Galvansko korozijo lahko povzročijo tudi ioni kovin z višjim korozijskim potencialom na kovinah z nižjim korozijskim potencialom. To je posledica nastanka majhnih galvanskih celic pri redukciji in nalaganju kationov na kovino, ki deluje kot anoda.

### 4 SPREMEMBA POLARITETE

Polariteta galvanskega člena se lahko v določenih razmerah s časom tudi spremeni. Na spremembo polaritete lahko vpliva pH raztopine, temperatura in prisotnost določenih ionov. Ta primer je znan za člen cink-jeklo in aluminij-jeklo. Sprememba polaritete nastane zaradi spremembe na površini enega izmed sklopljenih kovinskih materialov. Ta sprememba je lahko hitra ali pa se zgodi po daljšem časovnem obdobju. Na primer, nastanek pasivne plasti na površini aluminija v karbonatni raztopini vodi do spremembe korozijskega potenciala proti bolj pozitivnim potencialom. Po drugi strani pa ima kloridna raztopina obraten učinek in povzroči premik korozijskega potenciala proti bolj negativnim potencialom.

Spremljanje polaritete galvanskih členov je izredno pomembno. Aluminij in cink se po navadi rabita kot žrtveni anodi za zaščito jekla, pri čemer lahko sprememba polaritete vodi do zmanjšanja efekta katodne zaščite in neželene smeri galvanske korozije, npr. da žrtvena anoda zaradi pasivacije postane katoda nekega galvanskega člena [1].

### 5 ZAŠČITA PRED GALVANSKO KOROZIJO

Bistvena okoliščina za nastanek galvanske korozije sta dva neenaka kovinska materiala (ali eden nekovinski prevoden material), ki sta električno in elektrolitsko povezana. Zato se je treba izogniti povezavam dveh kovin, kjer je razlika korozijskih potencialov v galvanski vrsti velika. Prav tako se je treba izogniti povezavam, kjer je površina anode majhna (material, ki bo predstavljal anodo glede na drug material), površina katode pa velika. Galvanski

koroziji se je mogoče izogniti tudi z izolacijo materialov. Eden od načinov je uporaba hidrofobnih površinskih prevlek. Prav tako je mogoče hitrost galvanske korozije zmanjšati z inhibicijo agresivnosti korozivnega medija z dodatkom korozijskih inhibitorjev. Pomembno vlogo ima tudi razdalja med anodo in katodo pri manj prevodnih raztopinah, saj se z večanjem razdalje upornost elektrolita povečuje in hitrost galvanske korozije zmanjšuje.

## 6 GALVANSKA ZAŠČITA

Zaradi zelo dobro poznanega efekta galvanske korozije lahko ta proces tudi izkoriščamo. Pri tem uporabimo tako imenovano žrtevno anodo (angl. *sacrificial anode*), s katero zmanjšamo oziroma zaustavimo korozijo določene kovine (ki po sklopitvi elektrod predstavlja katodo), saj na slednji poteče redukcija predhodno oksidiranih korozijskih produktov do kovine. Najpogosteje se za žrtevno elektrodo uporabi cink, aluminij in magnezij ali njihove zlitine. Tako se preprečuje korozijski propad cevodovodov, rezervoarjev, mostov in ladjevja. Pogost primer je uporaba galvaniziranega jekla, prevlečenega s cinkom, kjer je prevleka fizična ovira za korozivni napad jekla, prav tako pa kot žrtevna anoda na poškodovanih mestih materiala.

## 7 PRIPRAVA GALVANSKE VRSTE

Galvanska vrsta je lista korozijskih potencialov več kovin in zlitin v enakem mediju. S to vrsto je mogoče predvideti, kateri od dveh sklopljenih materialov bo predstavljal anodo in kateri katodo. Po drugi strani pa s to listo ne moremo predvideti hitrosti galvanske korozije.

Galvanska vrsta je veljavna samo za določen elektrolit in je ne moremo enačiti z drugimi podobni elektroliti, saj lahko majhna sprememba sestave elektrolita pomembno vpliva na spremembo korozijskega potenciala. Slabost galvanske vrste je v tem, da se lahko pri določenih materialih s časom spremeni

korozijski potencial. To je predvsem značilno za nekatera nerjavna jekla (npr. AISI 304), ki prehajajo iz korozijsko aktivnega stanja v pasivno. Tako je treba biti pri uporabi galvanske vrste za napoved galvanske korozije previden. Po navadi se uporablja le kot prva informacija pri napovedovanju te vrste korozije.

Izdelava galvanske vrste poteka tako, da izmerimo v enakem elektrolitu korozijske potenciale različnih kovin in zlitin glede na potencial referenčne elektrode. Nato se ta vrsta uredi glede na korozijske potenciale od bolj pozitivnih potencialov (žlahtno stanje) do bolj negativnih potencialov (aktivno stanje). Galvanska vrsta lahko navaja korozijske potenciale ali samo podaja relativni položaj materialov med seboj [3]. V literaturi je predvsem mogoče najti dobro izdelane galvanske vrste za morsko vodo. Pomembno je, da se galvanska vrsta ne zamenjuje s standardno napetostno vrsto kovin.

## 8 SKLEP

Zaradi galvanske korozije mnogokrat nastane zelo hiter propad kovinskih materialov. Galvanska korozija nastane zaradi razlik potencialov dveh kovinskih materialov ali enega nekovinskega prevodnega materiala. Na hitrost galvanske korozije vpliva predvsem sestava površinskih plasti na kovinskih materialih, lastnosti kinetike elektrokemijskih reakcij in prevodnost elektrolita. Za informacijo polaritete kovinskih materialov skrbijo izdelane galvanske vrste, ki pa imajo le informativni pomen. Znanje in lastnosti galvanske korozije se lahko izkorišča za katodno zaščito kovin z uporabo žrtvenih elektrod.

## Literatura

- [1] Uhlig's Corrosion Handbook, Second Edition, ur. R. Winston Revie, John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, 2006
- [2] Corrosion: understanding the basics, ur. J. R. Davis, ASM International, ZDA, 2000
- [3] ASTM G 82, Standard Guide for Development and Use of a Galvanic Series for Predicting Galvanic Corrosion Performance

# LJUBLJANČANOVE KNJIGE O VAKUUMU V BRUSLJU (ob tristoletnici rojstva Janeza Karla Filipa Kobencla v Ljubljani)

Stanislav Južnič

ZNA NSTVENI ČLANEK

Univerza v Oklahomi, Oddelek za zgodovino znanosti, Norman, Oklahoma, ZDA / Občina Kostel, 1336 Kostel

## POVZETEK

Opisana je pot od trnja k zvezdam kranjsko-goriške rodovine Kobenclov s posebnim poudarkom na njihovem prijateljevanju z Boškovičem in zbiranju knjig o vakuumskih tehnikah tedanjih let. Vse to in še več se je posrečilo predzadnji generaciji Kobenclov na čelu z bruseljskim pooblaščenim ministrom za Habsburško Nizozemsko, Ljubljančanom Janezom Karlom Filipom Kobenclo. Prvovrstna bruseljska knjižnica s tehniško-vakuumskimi priročniki in umetniška zbirka Ljubljančana Janeza Karla Filipa Kobencla so tlakovali uspeh njegovega rodu v srenji prostozidarskih svobodomislecev tedanje Evrope, ki so ji bile zagate vakuuma blizu, še posebno po balonskih poletih prostozidarjev Montgolfierjev. Čeprav Janez Karl Filip Kobencel svojih vakuumu posvečenih knjig ni bral, temveč si jih je dal raje prebirati in komentirati od svojih tajnikov, so le-te opredeljevale njegova dejanja in nehanja v času, ko je dobra in pravočasna obveščenenost vedno bolj pogojevala njegove pravilne gospodarske posege v vakuumске in druge tehnologije današnje Belgije z Luksemburgom, ki jo je Ljubljančan Kobencel upravljal več kot poldrugo desetletje pod imenom Habsburška Nizozemska.

**Glavne besede:** grof Janez Karl Filip Kobencel, Ljubljana, Bruselj, zgodovina vakuumskih tehnik, 18. stoletje

## Ljubljana native's books about vacuum in Brussels (on 300<sup>th</sup> anniversary of Johann Karl Philip Cobenzl's birth in Ljubljana)

## ABSTRACT

The path *per aspera ad astra* of the Carniola-Gorizia family Cobenzl is described with a special attention put on their friendly relations with Ruđer Bošković and their acquisitions of books related to modern vacuum techniques. All that and much more was achieved by in the next to last generation of Count Cobenzls headed by the minister plenipotentiary for Habsburg Netherlands Johann Karl Philip Cobenzl. The role of Johann Karl Philip Cobenzl's first rate Brussels library with technical-vacuum books and art collection proved to be decisive for the success of his family inside the freemasonic freethinkers of Europe of his era. Although Johann Karl Philip Cobenzl never read his vacuum-related and other books but preferred his secretaries to read and comment them for him, the new books and journals helped his work in the modern times when the good and timely news paved the way for the right economic activities in vacuum and other industries of the area of modern Belgium and Luxembourg which the native of Ljubljana Cobenzl managed under the name of Habsburg Netherlands for nearly two decades.

**Keywords:** count Johann Karl Philip Cobenzl, Ljubljana, Brussels, history of vacuum technologies, 18<sup>th</sup> century

## 1 UVOD

Med številnimi Ljubljančani, ki so se v različnih časih in v različnih okoliščinah uveljavljali v Bruslju, se je gotovo najbolj izkazal grof Janez Karl Filip Kobencel, ki je bil rojen sredi julijske vročine pred tremi stoletji v nedavno zgrajeni ljubljanski Kobenclovi palači; na Novem trgu 4 jo danes uporablja ZRC SAZU. Njegov uspeh bo vsekakor dobro služil zanam-

cem kot primer, kako naj se v velikem svetu uveljavi učeni pripadnik majhnega naroda iz razmeroma majhnega mesta. Kobencli so se namreč nasprotno od mnogih svojih kranjskih kolegov od nekdaj radi in s ponosom razglašali za – Slovence. Prijateljsko podporo mogočnih Kobenclov so uživali številni znanstveniki in raziskovalci vakuumskih tehnologij njihovega časa, predvsem Ruđer Bošković in Janez Krstnik Paccassi.

## 2 KOBENCLI IN CORONINIJI ZA BOŠKOVIČA

Družini Kobencel in Coronini sta bili tesno povezani. Nečak bruseljskega ministra grofa Janeza Karla Filipa Kobencla, sin njegove starejše polsestre Kasandre Kobencel, Goričan Rudolf Antonio Maria Coronini (\* 1731 Gorica; † 1781 Gorica), je do leta 1752 študiral na deset let prej ustanovljenem Terezijanišču pri matematiku Erasmusu Frölichu, ki ga je na položaju prefekta knjižnice po smrti nasledil fizik in vakuumist Joseph (Jacobus) Khell von Khellburg; Khellove knjige, polne skic vakuumskih poskusov, so bile izjemno priljubljene tudi v Ljubljani. Leta 1756 je Rudolf Coronini sodeloval pri geometrijskih meritvah za določitev meje med habsburško monarhijo in Benetkami po Boškovićevih metodah tik pred prvimi Boškovićevimi obiski v Gorici in Ljubljani; Rudolf Coronini je s sodelavci sestavil zemljevid z Gorico in Trstom, ki je bil ponatisnjen že po Boškovićevih obiskih, in sicer leta 1759.

Leta 1772 je študent iz Gradišča Girolamo Pisanelli privezal k svojim izpitnim tezam na višjih jezuitskih študijih v Gorici knjigo Rudolfa Coroninija, ki je prvič izšla na Dunaju leta 1769. Latinsko poezijo je za Coroninijevo dunajsko izdajo predelal učenec matematika Frölichu, nekdanji jezuit Johann Michael Denis ob pomoči izkušenega jezuita Andreasa Friza (\* 1711; † 1790 Gorica).

Rudolf Coronini je ob ustanovitvi goriške akademije *Accademia degli Arcadi Romano-Sonziaci* dne 8. 9. 1780 postal njen član z akademskim imenom *Libanio Crissanteo* skupaj s Petrom Antonom Codellijem, prednikom poznejšega ljubljanskega izumitelja vakuumskih elementov televizije, nekdanjim jezuitskim študentom in članom rimske *Arcadie* Giuseppejem Colettijem in predsednikom akademije, svojim stricem Gvidom Kobenclo. Seveda je starejši stric Rudolfa Coroninija, Gvidov brat Janez Karl Filip



Kobenzl, hranil Rudolfova dela v svoji bruseljski knjižnici.

Rudolfova sestra Ludovica Coronini se je poročila z Rudolfom Strassoldo de Villanova; njun brat Ernesto Felice Coronini je predaval filozofijo s fiziko in sodobnimi vakuumskimi tehnikami na jezuitskih visokih šolah v Gorici. Po legendi naj bi prednik Cipriano Coronini v Rimu spoznal Ignacija de Loyola in je že leta 1615 pomagal Kobenclovi pri naselitvi jezuitov v Gorici in drugih krajih.<sup>1</sup>

### 3 TEHNIKA GVIDA KOBENCLA, MLAJŠEGA BRATA BRUSELJSKEGA MINISTRA JANEZA KARLA FILIPA KOBENCLA

Leta 1747 se je Gvido Kobencl preselil iz Ljubljane v Gorico, kjer sta bili njegovi starejši polsestri Kasandra in Marija Elizabeta bogato poročeni z grofoma Coronini in Edling. Gvido je kot prvi predsednik pomagal leta 1780 ustanoviti *Accademia degli Arcadi Romano-Sonziaci*, ki je takoj postala uradna podružnica rimskih Arkadijcev, ustanovljenih stoletje prej v čast švedske kraljice Kristine; tajnik goriške veje akademije je bil Giuseppe de Coletti (\* 1744 Rim; † januar 1815 Trst) iz florentinske družine, nekdanji vojak in goriški tiskar. Coletti je začel 2. 7. 1784 izdajati *Osservatore Triestino*; pri



Slika 1: Gvido(n) Kobencl (Guodobald Cobenzl, \* 1716; † 1797), mlajši brat Janeza Karla Filipa Kobencla

urednikovanju je vztrajal vso Napoleonovo dobo, dokler ni omahnil za vekomaj. Brat pomočnika Gabrijela Gruberja jezuit Jožef Jakob Maffei, tržaški patricij Karel Maffei, je konec leta 1784 postal član tržaške veje *Accademia degli Arcadi Triestini* pod Colettijevim vodstvom.

Gvido Kobencl je imel zveze s številnimi izobraženci. Bianchini mu je leta 1753 pisal o podzemnem toku kraške reke Timave; vmes je nadvse upravičeno poudarjal »poznanje znanosti fizike in matematike« Gvida Kobencla.<sup>2</sup> V drugem pismu Gvidu Kobenclovi je Bianchini 4. 2. 1754 v Vidmu (Udine) opisal izvir in podzemni tok Timave, katerega povezavo z reko Reko (Recca) pod površjem je že leta 1702 devinski benediktinec Pietro Imperati opisal bolonjskemu naravoslovcu Ulissu Aldrovandu.

Bianchini je Gvidu Kobenclovi poročal o podzemnih prazninah, podobnih vakuumu; poleg jam okoli Timave je omenil še Nil in druge slavne reke. Bianchini je sprva menil, da je reka pod Kobenclovim Predjamskim gradom povezana s podzemnim tokom Timave; načrtno je preiskal kraške jame, da bi našel podzemno vodno povezavo s Cerkniškim jezerom. Obiskal je številne jame na Primorskem in končno ugotovil, da pod zemljo v Timavo teče le Reka (Recca), kar je privzel tudi Gruber.<sup>3</sup> Ta je dognal, da dovolj pitna voda Timave dobi čuden okus, ko se med podzemnimi potmi meša z zemljo in morjem;<sup>4</sup> tudi on je pismo poslal grofu Gvidu Kobenclovi v Gorico. Gruber je temeljito preučil vodni režim Planinskega polja in celotne Notranjske, saj je bil le-ta bistvenega pomena za ljubljanski prekop; osebno si je ogledal Cerknico in ob tej priložnosti opisal idrijski rudnik.<sup>5</sup>

Prijatelj Gvidovega brata Janeza Karla Filipa, Ruđer Bošković, je 3. 6. 1754 pisal Bianchiniju o svojem desetletnem raziskovanju riminijskega pristanišča. Obenem mu je poslal svojo lanskoletno 75 strani dolgo razpravo o ozračju Lune *De Lunae Atmosphaera*.<sup>6</sup> Med Bianchinijevimi prijatelji je bil tudi raziskovalec našega krasa Hervey, anglikanski škof v Derryu na Irskem.<sup>7</sup>

### 4 KOBENCL PODPIRA ZNANOST V BRUSLJU

Janez Karl Filip Kobencl je študiral na univerzi v Leydnu v času pozne slave tamkajšnjega rektorja Boerhaaveja; nasproti univerze je bila znamenita delavnica flamskih bratov Musschenbroekov, ki so tisti čas, morda z edino izjemo Londona, izdelovali

<sup>1</sup> Coronini, *Fasti goriziani*, str. 5–6, 9–10, 13, 20, 21, 34, 43, 44, 48, 63; Stipišič, *Pomočne povijesne znanosti*, str. 7

<sup>2</sup> Bianchini, *Osservazioni*, str. 81

<sup>3</sup> Tavagnutti, *Giovanni Fortunato Bianchini*; Gruber, *Briefe hydrographischen*, str. 157

<sup>4</sup> Gruber, *Briefe hydrographischen*, str. 157–158

<sup>5</sup> Gruber, *Briefe hydrographischen*, str. 35; Korošec, *Beseda dve o Steinbergovem*, str. 18

<sup>6</sup> Marković, *Rude Bošković*, str. 665

<sup>7</sup> Shaw, *Bishop Hervey*, str. 286

najboljše vakuumske črpalke in druge naprave na svetu: zvedavi Janez Karl Filip Kobencel si ni mogel pomagati, da ne bi pogosto zahajal na ogled k Musschenbroekovim.

Nato je Janez Karl Filip Kobencel obiskoval še univerzo Würzburg; seveda se mu je kot grofu zdelo za malo, da bi delal kakršne koli izpite, in je svoj študij v slogu tedanjih plemenitašev jemal bolj kot druženje, dokler ni leta 1730 postal komornik cesarja Karla VI. in se kot pravi *bon-vivant* izobrazil še na potovanjih do leta 1733. Svobodnjaško pohajanje je prekinila dunajska poroka z Marie-Thérèse de Palfy Erdödy (\* 1719; † 25. 12. 1771), hčerko grofice Marie Margarethe Stubenberg († 28. 5. 1724) in dne 5. 7. 1754 imenovanega feldmaršala, grofa Karla Paula Palfy Erdödy (\* 1697; † 1774).

Janez Karl Filip Kobencel je gospodaril z gradovi Prošek, Štanjel (sv. Danijel), Jama, Ribnica, Planina, Šteberg, Logatec, Lože (Leitenburg), Isernica, Siviliano in Flambruzzo pri Rivignanu, na pol poti med Trstom in Benetkami, in drugimi; zavljo tastovega ogrskega ugleda je nosil tudi veliki križ reda sv. Štefana (Saint Etienne). Po cesaričinem nalogu (1751/59) je postal vitez zlatega runa skupaj s pariškim veleposlanikom Georgom Adamom Star-



Slika 3: Janez Karl Filip Kobencel po doprsem kipu Mar-seillčana Jean-Philippe-Augustina Ollivierja (\* 1739; † 1788) v Bruslju



Slika 2: Janez Karl Filip Kobencel<sup>10</sup>

hembergom;<sup>8</sup> enaka prestižna argonavtska naslova sta pozneje nosila še sin Janeza Karla Filipa Kobencela od leta 1798 in nečak od leta 1792, podobno kot prvi knez Janez Vajkard Turjaški (1650), znameniti pionir Guerickejeve vakuumske tehnike, in njegovi dediči.

Janez Karl Filip Kobencel je leta 1738 postal pooblaščen minister za Loreno, dedno deželo soproga Marije Terezije Franca Lotarinškega, ki ga je svoj čas vzgajal oče Janeza Karla Filipa Kobencela. Janez Karl Filip Kobencel je postal prvi doslej znani slovenski prostožidar; pridružil se je loži *Zur Sonne* v Bayreuthu leta 1741,<sup>9</sup> desetletje po tem, ko so v Haagu v ložo sprejeli Franca Lotarinškega. Prostožidarstvo je bilo pomemben element vakuumskih raziskav, saj je bil vodilni prostožidar John Théophile Désaguliers (1683–1744) med najpomembnejšimi raziskovalci novih vakuumskih tehnik in obenem urednik vodilnega znanstvenega časopisa londonskih Philosophical Transactions.

Po očetu je Janez Karl Filip Kobencel gotovo podedoval nekaj knjig, večino svoje knjižnice pa je

<sup>8</sup> Sorgeloos, *Charles de Cobenzl*, str. 126; Villermont, *Le comte de Cobenzl*, str. 251, 252, 254, 277

<sup>9</sup> Košir, *Brat Vega*, str. 105

<sup>10</sup> Villermont, *Le comte de Cobenzl*



vendarle kupil, med drugim pri normandijskem knjigarnarju Charlesu Fontaineju (\* 1724; † 1802), ki je leta 1742 ustanovil knjigarno v Mannheimu, prav tako pa tudi pri Johannu-Franzu Varrentrappu (\* 1706; † 1786), ki je leta 1731 svojo knjigarno ustanovil v Frankfurtu na Maini; slednji je Kobenclu med 14. 1. 1747 in 18. 12. 1752 dostavil 291 knjig, med njimi 130 v nemškem jeziku.

Janez Karl Filip Kobencel je urno širil svoj vpliv med izobraženci v Bruslju, njegova beseda pa je nekaj veljala tudi na cesarskem Dunaju. Dne 29. 5. 1767 je Nény prenesel Kobenclu željo antwerpenskega tiskarja Jana Baptista Verdussena III. (\* 1698; † 1773), naj bi Kobencel ob pričakovani prepovedi jezuitov pridobil jezuitsko bruseljsko knjižnico, baje najlepšo na svetu, ki so jo krasile številne razprave o vakuumskih tehnikah. Verdussen je prav dobro vedel, o čem teče beseda, saj je ob številnih inkunabulah hranil slike Petra Paula Rubensa in Antoona van Dycka; bil je tudi član Kobenclove bruseljske literarne družbe, poznejše cesarsko-kraljeve akademije. Kobencel je takoj odpisal in ponudbo sprejel; še posebej si je zagotovil lepo sliko Antoona van Dycka.

## 5 BRUSELJSKE KNJIGE

Janez Karl Filip Kobencel je knjige za police svojega doma v bruseljskem hotelu Mastaing kupoval pri številnih knjigarnarjih od blizu in daleč. Michael Lambert je Kobenclu 22. 3. 1758 priporočil *Journal des Sçavants*, najstarejši evropski akademski časopis, ki je prinašal tudi nekaj znanstveno-tehniških novic. Kobencel je v Strasbourgu kupoval knjige pri Jean-Geoffroy Bauerju, na Dunaju pa pri cesarsko-kraljevem tiskarju prostozidarju Johannu-Thomasu Trattnerju. Kobencel se je s tekočimi objavami seznanjal z branjem *Journal Encyclopédique*, *Mercure de France*, *Gazette Britannique* in *Gazette de France*. Kanonik Pierre Wouters (\* 1702; † 1792), kraljevi knjižničar v Bruslju med letoma 1754 in 1768, je za Kobencla kupoval knjige na razprodajah, Kobencel pa se je sam udeležil pariških razprodaj knjig pokojne markize de Pompadour (Jeanne Antoinette Poisson, \* 1721; † 15. 4. 1764) in knjižnice jezuitov iz cerkve Saint-Paul-Saint-Louis na cesti Saint-Antoine v okraju Marais po izgonu jezuitov iz Francije novembra 1764. Leta 1760 je Kobencel nameraval za naravoslovni kabinet univerze v Leuvnu nabaviti knjige obubožanega škotsko-pariškega raziskovalca in člana pariške akademije od leta 1750 Michela Adansona (\* 1727 Aix-en-Provence; † 1806) po njegovi vrnitvi s petletnega raziskovanja v Senegalu.

Janezu Karlu Filipu Kobenclu je knjige prinašal tudi njegov nečak, Kasandrin sin Coronini. Janez Karl Filip Kobencel ni najel lastnega poklicnega knjižničarja, zato pa sta mu pri urejanju knjižnice pomagala nečak Janez Filip Kobencel in mladi tajnik Gottfried baron van Swieten (\* 29. 10. 1733; † 29. 3. 1803 Dunaj), sin zdravnika Marije Terezije Gerharda van Swietena, ki ga je nadomestil rojak Jan Ingenhousz, raziskovalec Fontanovega getranja vakuumskih posod in poletov z baloni. Gottfried je služboval v Bruslju med letoma 1755 in 1757, od oktobra 1757 pod nadzorom Janeza Karla Filipa Kobencla v skladu z dvornim ukazom; pozneje je kot vodilni habsburški diplomat podpiral glasbenike in znanstvenike, med drugim prostozidarja Mozarta, ki je učil eno od Kobenclovih hčera, ter ljubljanskega profesorja Balthasarja Hacqueta. Janez Karl Filip Kobencel ni imel navado pisati ali brati, temveč so to zanj raje opravljali mladi tajniki, njih vsakokrat štiri ali pet po številu.<sup>11</sup>

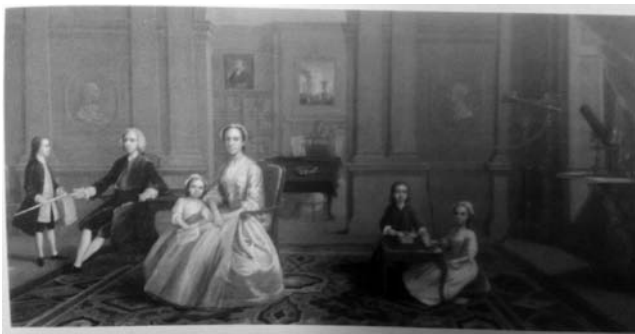
Karl Janez Filip Kobencel je pred letom 1739 sestavil prvi od obeh knjižničnih avtorskih katalogov, sestavljenih v času njegovega življenja, na 94 foliostaneh med danes izgubljenimi platnicami. Drugi avtorski katalog je nastal leta 1761/62 na 149 foliolistih; vsak naslov je imel arabsko številko med 1 in 2000;<sup>12</sup> le-te so se nanašale na tretji katalog s kronologijo nakupov, ki danes ni v evidenci. Janez Karl Filip Kobencel je restavriral knjižnico vojvod Burgundskih (Bourgogne) leta 1755, leta 1769 pa je v Bruslju gmotno podprl ustanovitev *Société littéraire*,



**Slika 4:** Joseph Wright of Derby (\* 1734; † 1797): Upodobitev poskusa z zadušitvijo ptice v vakuumski posodi iz leta 1768. O vrsti upodobljene črpalke se še dandanes lomijo kopja (olje na platnu, z dovoljenjem National Gallery, London). Slika v slogu industrijske revolucije, kot jo je Ljubljčan Janez Karl Filip Kobencel spodbujal v svoji domači galeriji, eni najboljših na svetu njega dni.

<sup>11</sup> Sorgeloos, *Charles de Cobenzl*, str. 125; Villermont, *Le comte de Cobenzl*, str. 7, 8, 22, 88–89, 186, 216–217, 221

<sup>12</sup> Sorgeloos, *Charles de Cobenzl*, str. 126–127; *Bibliothèque Royale, cabinet des Manuscrits*, rokopisa št. 20.922 in 20.919



**Slika 5:** Slika Arthurja Devisa (\* 1712; † 1787) Johna Bacona in družine z oljem na platnu iz leta 1742/43, ki v ozadju kaže vakuumsko črpalko Stephena Davenporta (\* 1701) (z dovoljenjem Yale Center for British Art v New Havenu, Conn.).



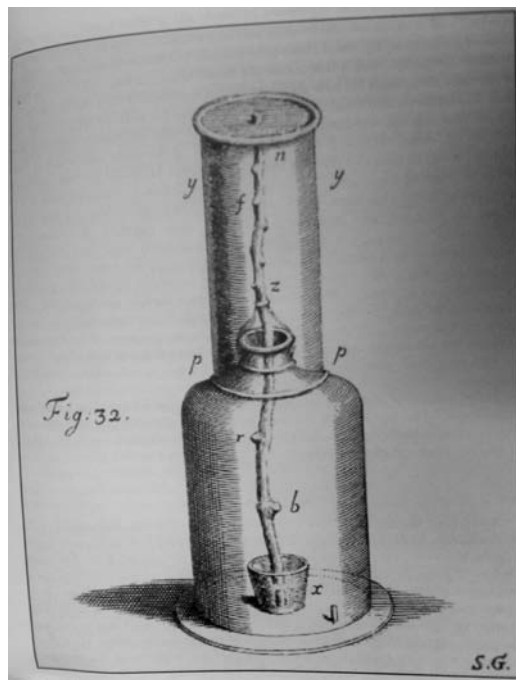
**Slika 6:** Poslovna izkaznica z vakuumsko črpalko v ospredju iz leta 1721 Stephena Davenporta

ki je po njegovi smrti postala Cesarsko-kraljeva akademija znanosti in umetnosti 16. 12. 1772 ob pomoči knjižničarja v Leuvnu in poznejšega škofa Antwerpna, Corneliusa Franciscusa Nelisa uit Mechelena (\* 1736; † 1798).

Po smrti Janeza Karla Filipa Kobencla je kustos njegove zapuščine Nicolas-Joseph Sanchez d'Aguilar, odvetnik sveta Brabanta, popisal pokojnikovo knjižnico skupaj s kletkami za ptice, barometrom, bota-

ničnim termoskopom, hidrometričnimi pripomočki, črpalko in 36 portreti angleške kraljeve družine. Prodaja Kobenclovih knjig je bila zaupana knjižničarju Josephu Ermensu (\* 1736; † 1805), ki je februarja 1770 sestavil prodajni katalog v petih strokovnih področjih teologije, prava, znanosti z umetnostmi, literaturo in zgodovino. Razprodajo so opravili 21. 6. 1771 pod vodstvom tiskarja Vlemincxa. Samuel Paterson (\* 1728; † 1802) je naslednje leto v Londonu objavil angleški prodajni katalog Kobenclovih knjig, pomešanih z zapuščinami drugih nizozemskih zbirateljev; to je bil le deloma angleški prevod bruseljske ponudbe, pozneje pa so v Patersonovo tiskano besedilo ročno vnesli cene posameznih knjig.

Ermens je 2 821 knjig razporedil v deset strokovnih skupin. Zbral je devet inkunabul in 80 izdaj iz 16. stoletja. Sto šest knjig Janeza Karla Filipa Kobencla ali 3,75 % celotne knjižnice je bilo posvečenih eksaktnim znanostim z vakuumskimi tehnikami vred. Triindvajset knjig je obravnavalo medicino; Kobencel je zbral šest knjig o matematiki, tri o astronomiji, sedem o fiziki, eno samo o alkimiji s kemijo, eno o antropologiji, sedem o splošnem naravoslovju, eno o botaniki, tri o zoologiji, 23 o medicini, štiri o mehaniki ali inženirstvu, 11 o poljedelstvu, štiri o domačem gospodarstvu in 28 o vojaških vedah.<sup>13</sup>



**Slika 7:** Vakuumska posoda angleškega pridigarja Stephena Halesa (\* 1677; † 1761). Na ploščo, ki ima priključek na vakuumsko črpalko, je postavljena steklena vakuumska posoda, v kateri je Hales preverjal prepustnost skorje neke rastline v vakuumu.

<sup>13</sup> Sorgeloos, *Charles de Cobenzl*, str. 192–193, 199



Bruseljski politični tekmeč Janeza Karla Filipa Kobencla, cesarjev brat Karl Lotarinški, se je nekoliko bolj poglobil v tehniške vede, saj je zbral 34 knjig o matematiki, 17 o astronomiji, 38 o fiziki, 60 o alkimiji-kemiji, 22 o geologiji, 25 o mehaničnih strojih in inženirstvu.<sup>14</sup> Karl Lotarinški je iz knjižnice Mariemonta leta 1777 dobil 36 knjig o znanosti, kar je bilo 7,37 %, ob smrti leta 1780 pa 47 knjig, torej 9,45 %. Imel je 10 ogrskih piscev, zgolj po enega pa ameriškega, češkega, kitajskega, perzijskega ali arabskega.<sup>15</sup> Karl Lotarinški je imel ob popisu po smrti leta 1780 knjige Sigaud de la Fonda, Jacquesa Rohaulta in Puliana o fiziki vakuuma; bral je kemijo Nicolasa Lemeryja in Pierre Joseph Macquera, dva izvoda Diderotove *Encyclopedije*, delo Valmont De Bomara o naravoslovju, dela Duhamela Du Monceauja, potopise de Condamineja, du Haldeja in podobnih, ki jih je prebiral tudi Žiga Zois v Ljubljani. Lemerya, Condamineja in Diderota se ni branil niti Janez Karl Filip Kobencl.

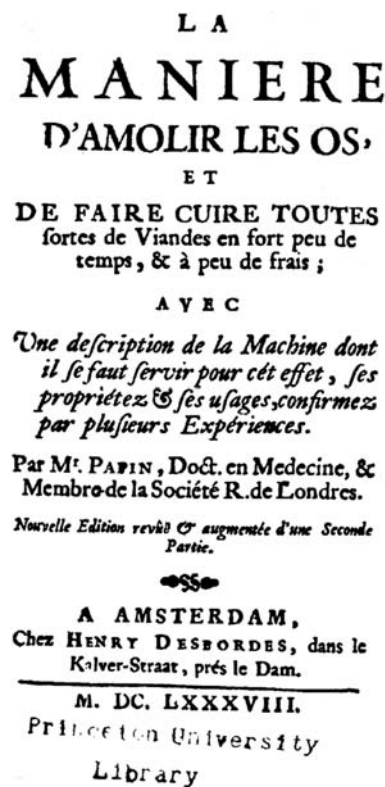
Karl Lotarinški je imel razmeroma številno zbirko 255 rokopisov, med njimi risbe naprav za elektriko v povezavi z vakuumskimi tehnikami, kemijo in proizvodnjo porcelana, razne skrivnostne spise in medicinsko-kemijske rokopise Paracelza.<sup>16</sup> Bral je nürnberško naravoslovje *Délices Physiques* (1766/67) izpod peresa Georga Wolfganga Knorra, ki ga je bral tudi Kobencl, južnoameriško *La Metallurgie* Alvareza Alonza Barbaja v pariški izdaji iz leta 1750 in spis jezuita Jeana Paulusa (\* 1710 Vergaville; † 1781) *Descriptio d'une machine astronomique*, natisnjene v Point-à Moussonu leta 1762.<sup>17</sup> Jean Paulus je leta 1763 prispel v Bruselj kot urar Karla Lotarinškega in strojnik, vaje sodobnih vakuumskih tehnik; sestavil mu je uro, drugo astronomsko pa je izdelal za potrebe mesta.

Svobodomiselni Janez Karl Filip Kobencl je 14. 4. 1759 obžaloval prepoved pariške Diderotove Enciklopedije kot dedinje londonskega dela Ephraima Chambersa. Kobencl si je dopisoval z Voltairom preko knjigarnarja Johanna-Franza Varrentrappa; Kobencl in njegova žena sta bila resnična Voltairova občudovalca, saj sta zbrala 41 Voltairovih del in za nameček še 13 knjig o njem. Kobencl je aprila 1759 hvalil knjigo *Candide ou l'optimisme* iz leta 1759, v kateri je prepoznal Voltairovo pero; imel je tudi Voltairovo *Elémens de la philosophie de Newton, mis à la portée de tout le monde, par M. De Voltaire*, natisnjeno v Amsterdamu pri J. Desbordesu leta 1738. Voltairov esej o naravi toplote *Essai sur la nature de feu, et sur*

*sa propagation* (1737), napisan za nagradno tekmo vanje pariške akademije leta 1739, ni bil objavljen v Voltairovih zbranih delih iz let 1739 in 1748, temveč šele leta 1757/58 pri Cramerju v Ženevi; tam ga je nabavil Kobencl.

Kobencl je bral tudi gospodarska dela Boškovičevega prijatelja fiziokrata markiza Victorja de Riquetti markiza de Mirabeauja iz let 1761 in 1768.<sup>18</sup> Med povzetki eksaktnih znanosti si je Kobencl dal prebirati Magnièresove *Remarques sur plusieurs branches de commerce et de navigation* iz leta 1757. Predvsem so ga zanimala zdrahe okoli Buffonove *Histoire naturelle* v pariški izdaji iz leta 1749 in v hamburškem prvem nemškem prevodu iz leta 1750; ko je Réaumurjev prijatelj, nekdanji oratorijanec Joseph-Adrien Lelarge de Lignac, v *Lettres à un Américain sur l'Histoire naturelle, générale et particulière de M. de Buffon* takoj po Buffonovem prevodu v nemščino v Hamburgu leta 1751 objavil uničujočo kritiko Buffona, jo je privoščljivi Kobencl seveda nemudoma kupil.

Kobencl je prav tako bral pariški *Dictionnaire raisonné universel d'histoire naturelle* iz leta 1764



Slika 8: Naslovna stran prvega dela Papinove knjige o vakuumskih tehnologijah in o visokotlačnem loncu, ki so jo brali Ljubljančani Kobencli v Bruslju.

<sup>14</sup> Sorgeloos, *Charles de Lorraine*, str. 834

<sup>15</sup> Sorgeloos, *Charles de Lorraine*, str. 838

<sup>16</sup> Sorgeloos, *Charles de Lorraine*, str. 830

<sup>17</sup> Sorgeloos, *Charles de Lorraine*, str. 825, 827–828, 830, 832; Kobencl & Paterson, *A catalogue*, str. 88

<sup>18</sup> Sorgeloos, *Charles de Cobenzl*, str. 146–147, 149, 152, 210

CONTINUATION  
DU DIGESTEUR  
O U  
MANIERE  
D'AMOLIR LES OS.

SECONDE PARTIE.

*Contenant les perfections qu'on y a  
ajoutées, & les nouveaux usages à  
quoy on l'a appliqué: avec plusieurs  
nouvelles utilitez de la Machine du  
Vuide.*

Eprouvées tant en Angleterre qu'en Italie.

Par M<sup>r</sup>. PAPIN, Doct. en Medecine, &  
Membre de la Société R. de Londres.



A AMSTERDAM,  
Chez HENRY DESBORDES, dans le  
Kalver-Straat, près le Dam.

M. DC. LXXXVIII.

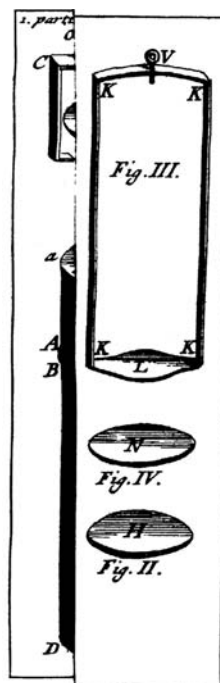
Slika 9: Naslovna stran drugega dela Papinove knjige o vakuumskih tehnologijah in o visokotlačnem loncu, ki so jo brali Ljubljanci Kobencli v Bruslju.

izpod peresa Jacques-Christophe Valamont de Bomare (\* 1731; † 1807). Morda je Kobencli še iz mladostnih popotovanj hranil peto izdajo pariških *Elémens des mathématiques*, ki jih je Bernardu Lamyu objavila pariška vdova Delaulne leta 1731; istega leta so v Parizu pod podobnim naslovom jezuitu Pierre Varignonu (\* 1654; † 23. 12. 1722 Pariz), od leta 1788 članu geometrijskega oddelka pariške akademije s *Collège de France*, posmrtno objavili matematiko pri Parižanu Brunetu. Drugo amsterdamsko izdajo Lamyeve matematike iz leta 1682 je hranil baron Erberg v Ljubljani in pozneje v Dolu.

Lamy je pri osemnajstih letih začel študirati v Parizu. Štiri leta pozneje je med študijem retorike (zadnji letnik nižjih študijev) spoznal Malebrancheja in ostal njegov prijatelj do smrti. Leta 1671 in 1672 je poučeval filozofijo na kolegiju v Saumurju in nato v Angersu. Ker je v Angersu zagovarjal tedaj še prepovedano vakuumu nasprotno kartezijansko filozofijo, ga je kralj Ludvik XIV. odstavil leta 1676. Po štirih letih izgnanstva je nadaljeval pouk v Grenoblu. Leta 1679 je objavil mehaniko s pravilom za seštevanje sil v paralelogramu, ki ga je istočasno opisal Varignon. Lamyeva knjiga je bila tako priljubljena, da jo je leta 1687 še ponatisnil prav v času izdaje Newtonovih

Principov onstran preliwa. Leta 1685 je Lamy svoj matematični učbenik dopolnil z geometrijo. Naslednje leto je dobil dovoljenje za vrnitev v Pariz, vendar je zaradi teoloških nasprotij že leta 1690 odšel v Rouen. Tam je leta 1701 objavil razpravo o perspektivi.<sup>19</sup> Po smrti zbrana Lamyeva matematično-fizikalna dela so izšla leta 1734 v Amsterdamu.

Janez Karl Filip Kobencli je hranil francoski prevod Jeana Hellota dela Nemca Christophe-André Schlüterja De la Fonte des mines, des fonderies, tiskanega v Parizu med letoma 1750 in 1753, ki ga je s pridom uporabljal za napredek tehnike in gospodarstva Habsburške Nizozemske. Nabavil je tudi zelo vplivne Hallerjeve *Elementa physiologia corporis humani* (Lausanne 1757–1766). Za splošen pregled novosti v znanosti in vakuumskih tehnikah si je Kobencli privoščil poljudni deli *Le Spectacle de la nature, ou Entretiens sur les particularités de l'Histoire naturelle qui ont paru les plus propres à rendre les jeunes gens curieux et à leur former l'esprit*, natisnjeno v Amsterdamu leta 1743, ki je bila prvič objavljena leta 1732, in *Histoire du ciel* (Pariz 1740); obe uspešnici je spisal duhovnik Noel Antoine Pluche (\* 13. 11. 1688 Rems; † 19. 11. 1761 Pariz), profesor retorike in šolski rektor v Remsu. Kobencli si je dal brati vsaj dve Leibnizovi knjigi, prav tako pa dela Christiana Wolffa,<sup>20</sup> ki so jih uporabljali za pouk fizike in



Slika 10: Papinovo posodo, kot jo je uprizoril na koncu prvega dela svoje knjige iz leta 1688, je Papinov bralec Kobencli uporabljal pri pripravah svojih znamenitih gostij.

<sup>19</sup> Cantor & Cajori, 1908, 4: 603

<sup>20</sup> Sorgeloos, *Charles de Cobenzl*, str. 150–151, 156



Slika 11: Denis Papin v najboljših dneh

vakuumskih tehnik povsod po cesarstvu in tudi v Ljubljani.

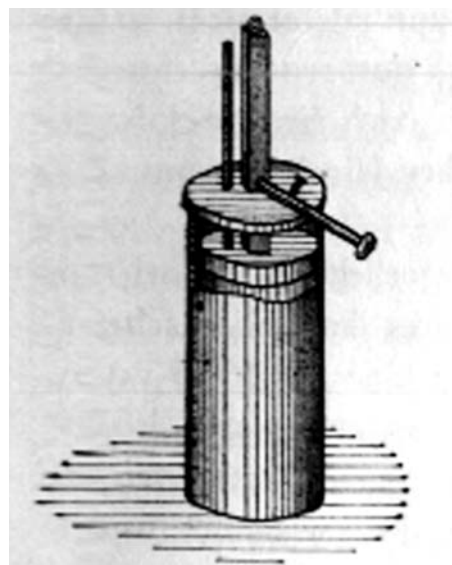
Med najpomembnejšimi deli o zgodnjih vakuumskih tehnikah, ki jih je nabavil Ljubljančan Janez Karl Filip Kobencel, je bilo delo Denisa Papina<sup>21</sup> iz časov neposredno po Papinovem delovanju na položaju direktorja poskusov pri beneški javni akademiji *Accademia pubblica di science*, ki jo je Kobencel dobro poznal; beneški akademiki so delovali po vzoru londonske Kraljeve družbe in so se predvsem ukvarjali z Boylovimi vakuumskimi poskusi, pri katerih je imel sam Papin dobršen delež. Papinova knjiga je bila po Kobenclovi smrti ocenjena razmeroma nizko: na 1 krajcar in 8 denaričev, prinesla pa je številne novosti v tedanje vakuumске tehnike.

Janez Karl Filip Kobencel je nabavil knjigo *Gründ-lichen Nachricht von dem in dem Inner-Crain gelegenen Cirknitzer See* Franca Antona pl. Steinberga (\* 1684 Kalec pri Zagorju na Krasu; † 1765 Ljubljana), ki jo je v Ljubljani objavila Ana Elizabeta, vdova Reichardt, leta 1758 na 235 straneh s 34 bakrorezi. Knjigo je Kobencel razpečeval med prijatelji; Kobenclovi katalogi omenjajo kar 25 broširanih izvodov Steinbergovega dela, enega pa je imel tudi Kobenclov sodelavec Nény.

Ljubljančan Promberger je v knjigotrškem oglasu časopisa *Wochentliches Kundschaftsblatt* objavil eno stran z dvanajstimi novimi knjigami, ki jih je ponujal; med njimi je bila knjižica o Cerknškem jezeru Franza Steinberga po ceni 1 fl. Deželni glavar Janez Gašper Kobencel je Steinbergovo delo spodbujal že med letoma 1718/20; zato je Steinberg knjigo posvetil

Gašperjevemu sinu Janezu Karlu Filipu Kobencelu na sedmih straneh slavošpeva, Janez Karl Filip Kobencel pa je leta 1761 omogočil tiskanje skrajšanega prevoda v kraljevi tiskarni v Bruslju pod naslovom *Le lac merveilleux ou description du lac de Czirknitz en Carniole, et des ses principales singularités Phisiques. Tirés de l'allemand de Steinberg*. Delo je bilo posvečeno grofici Kobenclovi na 59 straneh z bakrorezom, istočasno pa sta izšla še haaški francoski prevod in ponatis nemške izdaje v Gradcu, ki se je od ljubljanske izdaje razlikoval le po izdajatelju.

Steinberg in Kobencel sta bili starodavni notranjski rodovini, čeprav je Steinbergov oče obubožal po izgubi denarja, vloženega v rejo lipicancev, tako da je moral prodati graščino na Kalcu in se preseliti v cerkniški Marof, ko je bilo Francu Antonu Steinbergu komaj tri leta. Steinbergov mladostni učitelj je bil matematik in duhovnik Nikolaj Brion z Reke, ki je leta 1715 Steinbergu prodal zbirko merilnih naprav, namenjenih vakuumskim in sorodnim poskusom,<sup>22</sup> s katerimi je Steinberg preverjal delovanje svojih izumov za rudnik v Idriji. Steinberg se je po ljubljanskih študijih priučil mehanike in novodobnih vakuumskih tehnik na Dunaju. Med letoma 1712 in 1724 je bil uradnik cesarske dvorne blagajniške in rudarske komisije, nato preiskovalec gozdov, cest, morja na Reki in nadzornik deželnih cest na Kranjskem. Med letoma 1724 in 1747 je bil upravitelj rudnika v Idriji, kjer je rudniško zbirko obogatil s številnimi pripomočki, izdelanimi na osnovi sodobnih vakuumskih in urarskih tehnik; Idrija je bila njega dni svojevrstna prestolnica vakuumskih raziskav, ki so domala vse temeljile na uporabi idrijskega živega srebra. Žal se Steinberg ni dobro razumel z rudniškim zdravnikom Scopolijem, ki je do konca dni verjel v flogistonsko teorijo.



Slika 12: Papinov visokotlačni lonec

<sup>21</sup> Kobencel & Paterson, 1772, 76, pod številko 1848

<sup>22</sup> Korošec, *Beseda dve o Steinbergovem*, str. 16; Sevnik, *Steinberg*, str. 458



Janez Karl Filip Kobencel ni pomagal le kranjskim pisateljem; plačal je tiskanje zgodovinske knjige Roberta Macquéreau de Valenciennesa, ki jo je uredil hebraist in bibliograf Jean-Noël Paquot (\* 1722; † 1803) z omembo Kobenclovega imena v uvodu.

Nečak Janeza Karla Filipa Kobencela grof Janez Filip Kobencel se je navzel nekaj stričeve velikopoteznosti; dal si je posvetiti nemški dunajski prevod Eulerjeve latinske razprave o kometih iz leta 1744, ki jo je leta 1781 na Dunaju prevedel jurist, diplomat, arhitekt, astronom, vakuumist in matematik Janez Krstnik baron Paccassi (Johann Baptist, \* 1758 Gorica; † 1818 Dunaj). Ta je sodeloval z Gruberjevim učiteljem Karlom Scherfferjem in Abrahamom Gotthelfom Kästnerjem, čigar knjige je Gabrijel Gruber uporabljal pri svojih ljubljanskih predavanjih. Paccassija so sprejeli v berlinsko akademijo znanosti tako kot Eulerja in Lamberta; z njima si je pridno dopisoval. Janez Krstnik Paccassi je leta 1781 na Dunaju prevedel pravne spise francoskega finančnega ministra Jacquesa Neckerja (\* 1732; † 1804). Bil je potomec dvornega arhitekta Schönbrunn, Nikolaja Frančiška Leonarda Paccassija (Nikolaus Franz Leonhard, \* 1716 Dunajsko Novo mesto; † 1790 Dunaj), ki je postal član dunajske umetniške akademije



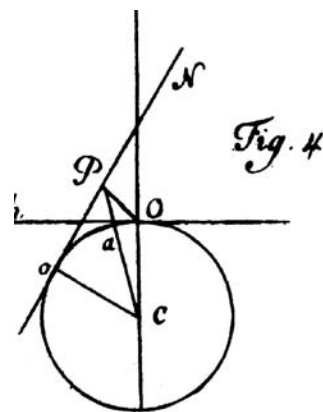
Slika 13: Naslovna stran Paccasijeve knjige o plovbi z baloni in možnostih za njihovo vakuumsko izvedbo

<sup>23</sup> Paccassi, *Bewegungen der Luftmaschine*, str. 10–11

<sup>24</sup> Paccassi, *Bewegungen der Luftmaschine*, str. 16, 20, 23

<sup>25</sup> Paccassi, *Bewegungen der Luftmaschine*, str. 16, 20, 26, 27, 29

<sup>26</sup> Paccassi, *Bewegungen der Luftmaschine*, str. 32, 33



Slika 14: Slika na koncu Paccasijeve knjige o plovbi s polnjenimi in vakuumskimi baloni

leta 1768 in baron 15. 7. 1769; kamnoseki Paccassi so se do evropskega slovesa povzpeli z delom za lokalne goriške velmože, vključno s Coroniniji.

Janez Krstnik baron Paccassi je leta 1784, takoj po prvih francoskih poskusih bratov Montgolfier, objavil matematične izračune možnosti usmerjanja poletov z baloni; kot neizvedljivo zaradi predebele stene balona je zavrnil idejo jezuita Lana Terzija o vakuumskem zračnem plovilu.<sup>23</sup> Razmišljal je o elipsasti obliki balona in preveril upor zraka po Eulerjevi *Mehaniki*.<sup>24</sup> Izračunal je krivočrtno gibanje ob spremembi zunanje tlaka ob poti balona na meji z vakuumom, ki ga je meril z živosrebrnim barometrom; v njem je vakuum seveda tvoril nad stolpom idrijske kovine.

Upošteval je tudi vpliv težnosti sosednjih planetov po računih geologa Barthélmi Faujas de Saint-Fonda (Barthélémy, \* 1741; † 1819); uporabljal je Saint-Fondov francoski opis Montgolfierjevega poleta, ki ga je bral tudi Žiga Zois v Ljubljani, in kritiziral slab nemški prevod Franza Überlackerja, saj si je bil gotov, da Überlacker ne obvlada sodobnih matematičnih in vakuumskih tehnik.<sup>25</sup> Janez Krstnik baron Paccassi je cikal tudi na nagradni razpis pariške akademije o upravljanju balonov. Že med tiskom je slišal za polnjenje balonov z ogljikovim dioksidom, ki so ga razvili tedanji vakuumisti; novost je nemudoma ponudil bralcem v dodatku.<sup>26</sup>

## 6 SKLEP

Ime Kobenclov je na južnih obronkih Alp ugasnilo pred dobrima dvema stoletjema, ko je zmanjkalo moških dedičev. Morda so v zadnjih dveh generacijah zagrešili podobno napako kot pokneženi celjski grofje tri stoletja in pol pred njimi: hoteli so si prigrabiti čim hitreje čim več znanja z oblastjo in so pri tem pozabili



na stoletno habsburško modrost: oblast se redi s kar se da številnimi otroki oblastnikov. Tako kot davni celjski rod je tudi Kobenclov rod v ihti hlastanja po moči izumrl po moški veji, nikakor pa ne, preden se ni veličastno z zlatimi črkami zapisal v zgodovino slovenske diplomacije.

Medtem ko so svoj čas Celjani gradili svojo moč na kopičenju donosnih namestništev, so Kobencli igrali na sodobne urarsko-vakuumske tehnike, prostozidarске zveze in visoko družbo same smetane dunajske politike. Nasprotno od Celjanov ali turjaških Aueršpergov se grofje Kobencli resda niso nikoli povzpeli do knežjih časti, a jim to gotovo niti ni preveč dišalo na predvečer Napoleonove ukinitve Svetega Rimskega cesarstva germanske narodnosti z vsemi njegovimi knezi vred. Medtem ko je bilo orožje Celjskih sablja, so Turjaški prisegali na svoje dobro gospodarjenje po Dolenjskem ali Sudetskem ter na vakuumske poskuse pod Guerickejevim okriljem; orodje Kobenclov pa se je ob njihovi notranjsko-primorski veleposesti kovalo predvsem v salonih tedanje družbene smetane, kjer so se brale znamenite knjige o novih vakuumskih tehnikah in drugih zagatah tedanjih dni.

## 7 POPIS POMEMBNEJŠIH OMENJANIH OSEB

- Rudolf Antonio Maria Coronini (\* 10. 1. 1731 Gorica; † 4. 5. 1791 Gorica)  
 Frederick Augustus Hervey (\* 1730; † 1803)  
 Karl Lotariški (\* 12. 12. 1712; † 1780)  
 Gvido(n) Kobenc (Guodobald Cobenzl, \* 1716 Gorica; † 1797)  
 Janez Gašpar Kobenc ( \* 30. 5. 1664/1669 Gorica; † 20/30. 4. 1742 Gradec)  
 Grof Janez Filip Kobenc ( \* 1741 Ljubljana; † 1810)  
 Janez Karl Filip Kobenc ( \* 21. 7. 1712 Ljubljana; † 27. 1. 1770 Bruselj)  
 Ludvik grof Kobenc (Johann Ludwig Joseph, \* 21. 11. 1753 Bruselj; † 22. 2. 1809 Dunaj)  
 Kasandra grofica Kobenc, poročena Coronini (\* 1703; † 1788)  
 Bernard Lamy (\* 16. 6. 1640 Le Mans; SJ; † 19. 1. 1715 Rouen)  
 Joseph-Adrien Lelarge de Lignac (1710–1762)  
 Erazem Predjamski (Luëgg, † 1484 Jama pri Postojni)  
 René Antoine Ferchault de Réaumur (\* 1683; † 1757)  
 Franc Anton pl. Steinberg (Stemberg, \* 1684 grad Kalec pri Zagorju in Pivki na Krasu; † 1765 Ljubljana)

## 8 LITERATURA

- Bianchini, Giovanni Fortunato, *Gio. Fortunato Bianchini, medico, Osservazioni intorno all'uso dell'elettricità celeste e sopra l'origine del fiume Timavo, riportate in due lettere*. Drugo pismo: *Osservazioni intorno al fiume Timavo scritte in una lettera al Nobile ed Erudito Signore Guido Conte Cobenzl*. Venezia: G. B. Pasquali, 1754, str. 41–81.  
 Coronini, Rodolfo, *Fastorum Goritiensium liber I.: cum adnotat. Historico-genealogicis*. Dunaj: Kurtzböck, 1769; Coronini, Rodolfo & Girolamo Pisanelli, *Fasti Goritiensis Gorica, 1772*; Coronini, Rodolfo & Alessio Stasi & Lorenzo Da Ponte, *Fasti goriziani*. Istituto per gli incontri culturali mitteleuropei; Mariano del Friuli (Gorizia): Edizioni della Laguna, 2001.  
 Euler, Leonhard, *Theoria motuum planetarum et cometarum / Theoria motuum planetarum et cometarum continens methodum facilem ex aliquot observationibus orbitas cum planetarum tum cometarum determinandi: una cum calculo, quo cometæ, qui annis 1680 et 1681, itemque eius, qui nuper est visus, motus verus investigatur*. Berlin, 1744; *Beyträge zur Theorie der Cometen; Theorie der*

- Planeten und Cometen von Johann Freyherrn von Paccassi übersetzt, und mit einem Anhang und Tafeln vermehrt / Leonh. Eulers, Director der Königl. Academie der Wissenschaften von Berlin, Mitglied der Kaiserl. Academie der Wissenschaften von Petersburg, ... Theorie der Planeten und Cometen*. Posvečeno Janezu Filipu Kobencu, prevajalec Johann baron Paccassi. Dunaj: J. T. von Trattner. [4] Bl., 230 S., [1] Bl., III gef. Bl.: 3 graph. Darst. (Kupferst.); 4°, 1781.  
 Galand, Michèle, *Charles de Lorraine, gouverneur général des Pays-Bas autrichiens (1744–1780)*. Bruselj: Edition de l'Université, 1993.  
 Gruber, Tobias, *Herrn Tobias Grubers, Weltpriesters und k. k. Bau- und Navigationsdirektors im Temeswarer Banat, Briefe hydrographischen und physikalischen Inhalts aus Krain an Ignaz Edlen von Born k. k. wirklichen Hofrath*. Dunaj: Johann Paul Krauss, 1781.  
 Kobenc (Cobenzl) & Ermens, Joseph, *Catalogue des livres, en toutes sortes de facultez et langues, de feu S. E. le comte de Cobenzl, Chevalier de l'Ordre de la Toison d'Or, Grand Croix de l'Ordre de Saint-Etienne, Ministre Plénipotentiaire de S. M. l'Impératrice Douairière et Reine Apostolique pour la Gouvernment des Pais-Bas, etc, etc, disposé par ordre des matieres & avec quelques notes litteraires*, Veminch, Bruxelles, 1771.  
 Kobenc (Cobenzl) & Paterson, S., *A catalogue of a choice collection of books, antient and modern, in various languages and sciences, and in neat condition, lately made in the Netherlands: ... many of which were selected from the libraries of their excellencies the late Count Cobenzl, Prime Minister in the Austrian Netherlands; the Marquis Fuente Fuerte, the Spanish Ambassador to the States-General, De Heer de Buys, tajnik stanov Holandije in zahodne Freilandije, Philip Douw, M. D. of Middelburg & tc...* London, 1772.  
 Kobenc (patron) & Macquériau de Valenciennes, R & Paquot, J.-N., *Histoire générale de l'Europe depuis la naissance de Charles-Quint jusqu'au cinq juin MDXXVII*. Imprimerie académique, Leuven, 1765. Continuation: *Histoire générale de l'Europe Durant les années MDXXVII, XXVII, XXIX*. Pariz, 1841.  
 Korošec, Branko, Beseda dve o Steinbergovem in drugih opisih Cerknškega jezera. *Kronika* 15, 1967, str. 11–22.  
 Košir, Matevž, Brat Vega, prostozidar. *Zbornik za zgodovino naravoslovja in tehnike* 15–16, 2002, str. 75–111.  
 Lamy, Bernard, *Elémens de mathématiques, ou le Traité de la grandeur en général, comprend l'arithmétique, l'algèbre, et l'analyse et les principes de toutes les sciences qui ont la grandeur pour objet... par le R. P. Bernard Lamy*. Amsterdam, 1680; 1682;... 2e édition revuë et augmentée, Pariz: vdova Delaulne, 1731.  
 Marković, Željko, *Ruder Bošković*. Zagreb: JAZU, 1968–1969.  
 Miklavčič, M. Seebach (Sepach, Sepacher) Peter. *SBL*, 1967, str. 268–269.  
 Paccassi, Johann, *Abhandlung über die Bewegungen der Luftmaschine*. Dunaj: Trattner, 1784.  
 Papin, Denis, *La Maniere d'amolir les Os, et de faire cuire toutes sortes de viandes en fort peu de temps, & à peu de frais. Avec Une description de la Machine dont il se faut servir pour cet effet, ses propriétés & ses usages, confirmés par plusieurs Expériences*. Amsterdam: Henry Desbordes, 1688.  
 Rainer, Johann, *Grazer Nuntiatur 3. Band. Nuntiatur des Girolamo Portia und Korrespondenz des Hans Kobenzl 1592–1595*. Dunaj: Akademie, 2001.  
 Sevnik, Roman, Steinberg (Stemberg), Franc Anton (geslo), *Primorski slovenski biografski leksikon* (ur. Martin Jevnikar) 14, 1988, str. 458–459.  
 Shaw, Trevor, Bishop Hervey at Trieste and in Slovenia, 1771 = Škof Hervey v Trstu in Sloveniji 1771. *Acta carsologica* 30, 2001. št. 2, str. 279–291.  
 Sorgeloos, Claude, 'La bibliotheque de Charles de Lorraine', *Revue belge de philologie et d'histoire* 60, 1982, št. 4, str. 809–838.  
 Sorgeloos, Claude, La bibliotheque du comte Charles de Cobenzl, ministre pleni-potentiaire dans Les Pays-Bas autrichiens et celle de son épouse, la comtesse Marie-Thérèse de Palffy. In: *Le livre & l'estampe* (Bruselj) 30, 1984, str. 115–210.  
 Stipišič, Jakob, *Pomoćne povijesne znanosti u teoriji in praksi*. Zagreb: Školska knjiga, 1972.  
 Tavagnutti, Maurizio, Giovanni Fortunato Bianchini and the first studies on the subterranean river Timavo in the ancient county of Gorizia, 5. *speleološki simpozij APS v Zadru, ALCADI* 23. 5.–28. 5. 2000.  
 Villermont, Charles, *Le comte de Cobenzl, ministre plénipotentiaire aux Pays-Bas*. Lille: Desclée, 1925.

## DRUŠTVENE NOVICE

### VAKUUMSKA KONFERENCA V DUBROVNIKU

Med 3. in 8. junijem 2012 je v Dubrovniku na Hrvaškem potekal največji letošnji evropski znanstveni kongres raziskovalcev, ki se ukvarjajo z vakuumsko znanostjo, vakuumskimi tehnologijami in uporabo vakuuma v različne namene. Kongres je združil naslednja tradicionalna srečanja:

- 14. združeno vakuumsko konferenco srednjeevropskih držav,
- 12. evropsko vakuumsko konferenco,
- 11. letno srečanje Nemškega vakuumskega združenja,
- 19. hrvaško-slovensko vakuumsko srečanje.

Predsednik kongresa je bil dolgoletni aktivni član in bivši predsednik Hrvaškega vakuumskega društva, dr. Nikola Radić. Pri organizaciji so mu pomagali člani mednarodnega in lokalnega organizacijskega odbora. Med člani mednarodnega organizacijskega odbora sta bila tudi člana Društva za vakuumsko tehniko Slovenije, doc. dr. Miha Čekada in doc. dr. Alenka Vesel.

Znanstveni program srečanja je pripravil mednarodni programski odbor, v katerem je bilo 18 uveljavljenih znanstvenikov iz Hrvaške, Velike Britanije, Francije, Madžarske, Nemčije, Češke, Slovenije, Slovaške, Avstrije, Švedske in Švice, med njimi tudi dva dolgoletna člana slovenskega vakuumskega društva, prof. dr. Monika Jenko in prof. dr. Miran

Mozetič. Mednarodnemu programskemu odboru je predsedoval dr. Slobodan Milošević z Instituta za fiziko v Zagrebu.

Udeleženci so se udeležili različnih znanstvenih prireditev, ki so včasih potekale tudi sočasno. Poleg vabljenih in klasičnih predavanj ter posterske sekcije smo organizirali tudi okrogle mize in različne sestanke z omejeno udeležbo. V petih dneh se je zvrstilo 21 plenarnih in vabljenih predavateljev, poleg tega pa je v vzporednih tematskih sklopih nastopilo še 63 predavateljev. Rezultate svojega dela so raziskovalci predstavili tudi v obliki 122 posterjev.

Največ prispevkov je bilo s področja vakuumskih tehnik za pripravo in karakterizacijo tankih plasti, nekoliko manj pa s področja vakuumske znanosti in tehnike. Nekoliko slabše so bila zastopana druga tematska področja, ki jih je vključeval letošnji kongres: plazemska znanost in tehnika, znanost o površinah, nanometrijske strukture, elektronski materiali in inženiring površin. Zadnje omenjeni tematski sklop je bil delno vsebovan že v drugih sklopih. Več kot 250 registriranih udeležencev je prisluhnilo najnovejšim usmeritvam interdisciplinarnih raziskav v okolju različnih stopenj vakuuma in sodelovalo pri razpravah o prihodnji usmerjenosti raziskav, ki se vse bolj nagibajo k okolju prijaznim tehnologijam in izdelkom.

prof. dr. Miran Mozetič,  
predsednik DVTS



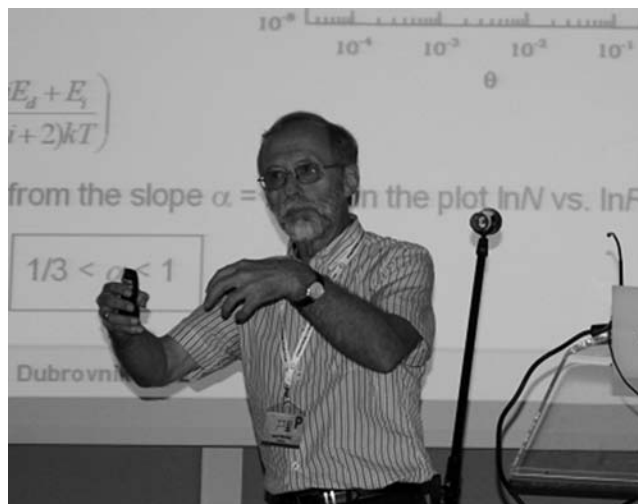
Slika 1: Predsednik konference dr. Nikola Radić



Slika 2: Predsednik mednarodnega programskega odbora dr. Slobodan Milošević (levo) in predsedujoči programskemu sklopu prof. dr. František Fendrych (desno)



**Slika 3:** Predavanja so bila v kongresni dvorani hotela Rixos Libertas



**Slika 6:** Prof. dr. Adolf Winkler je predstavil komplementarni hipotezi o nukleaciji in rasti skupkov organskih molekul s kondenzacijo iz parne faze v območju visokega vakuumu.



**Slika 4:** Prof. dr. Karl Leo s Tehniške univerze v Dresdenu, Nemčija, (v sredini) je letošnji prejemnik priznanja »Rudolf Jaeckel Prize«, ki ga vsako leto podeljuje nemško vakuumsko društvo. Levo od nagrajenca sta dr. Michael Kopnarski in dr. Michael Heuken, desno pa prof. dr. Hans Oechsner in dr. Nikola Radić.



**Slika 7:** Med predsedujočimi tematskih sklopov je bil tudi stari znanec mednarodne vakuumske zveze dr. Lars Westerberg.



**Slika 5:** Srečanja se je udeležil tudi znanstveni tajnik mednarodne vakuumske zveze prof. dr. Christoph Eisenmenger-Sittner.



**Slika 8:** Plenarni predavatelj je bil direktor Direktorata za znanost in tehnologijo mednarodne zveze IUUVSTA prof. dr. David Ruzic, ki je predstavil uporabnost litijevih oblog v prihodnjih komercialnih fuzijskih plazemskih reaktorjih.





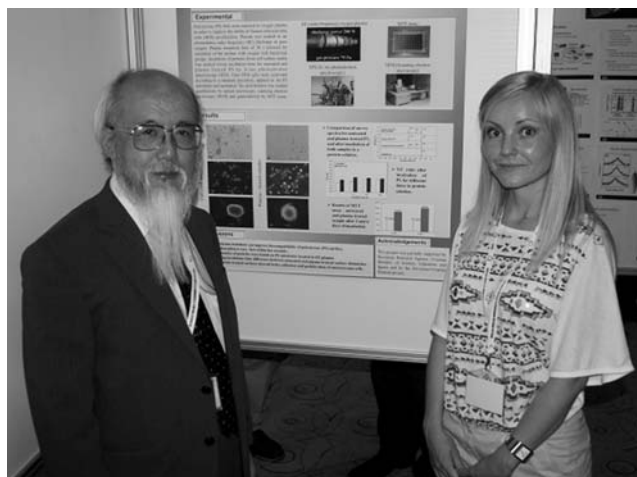
**Slika 9:** Med razpravljavci je bil tudi prof. dr. Şefik Süzer, ki bo organiziral prihodnjo evropsko konferenco o površinah v Carigradu.



**Slika 12:** Izvršilni založnik podjetja Elsevier, dr. Jan Willem Wijnen (levo), in dolgoletni urednik ugledne revije »Vacuum« prof. dr. John Colligon (desno) med tematsko delavnico o pripravi znanstvenih člankov.



**Slika 10:** Član izvršnega odbora Društva za vakuumsko tehniko Slovenije doc. dr. Miha Čekada je predaval o napakah v tankih plasteh.



**Slika 13:** Zaslužni profesor Tokijskega tehnološkega inštituta, dr. Masahiro Yoshimura, si je ogledal poster članice slovenskega vakuumskega društva, Nino Recek.



**Slika 11:** Med povabljenimi predavatelji je bila tudi članica slovenskega vakuumskega društva dr. Ita Junkar.



**Slika 14:** Predstavniki Avstrijskega vakuumskega društva prof. dr. Christoph Eisenmenger - Sittner predaja nagrado za najboljši poster članici slovenskega vakuumskega društva Martini Modic.



## 25. SIMPOZIJ O FIZIKI PLAZME IN PLAZEMSKIH TEHNOLOGIJAH

V Pragi na Češkem je Tehniška univerza organizirala že 25. srečanje znanstvenikov in inženirjev, ki se ukvarjajo z raziskavami nekaterih vrst plinske plazme in razvojem ter uporabo tehnoloških postopkov, ki temeljijo na uporabi tovrstne plazme. Na letošnjem srečanju je bil poudarek na naslednjih tematskih sklopih:

- Veliki plazemski reaktorji, kot so tokamaki in podobne naprave z magnetnim zaprtjem plazme;
- Kratkožive plazme, ki nastajajo z visokotokovnimi enosmernimi plinskimi razelektritvami ali z obstreljevanjem plina s curki delcev z veliko kinetično energijo;
- Plazme, ki nastanejo z absorpcijo laserske svetlobe;
- Termodinamsko neravnovesne plazme z nizko kinetično temperaturo težkih delcev;
- Termodinamsko ravnovesne vroče plazme;
- Plazemske tehnologije;
- Fizikalne osnove plinske plazme;
- Teorija plinske plazme in simulacije.

Simpozija se je udeležilo več kot 150 raziskovalcev in inženirjev, ki so predstavili svoje dosežke s predavanji v dveh vzporednih sklopih in plakati v treh popoldanskih sklopih. Programski odbor je za vabljen predavatelje v plenarnem sklopu izbral 26 vrhunskih raziskovalcev iz Francije, Nizozemske, Portugalske, Velike Britanije, ZDA, Avstralije, Češke, Rusije, Norveške, Avstrije, Slovenije in Singapura.

Simpozij je potekal pod okriljem Evropskega fizikalnega združenja. Mlajši udeleženci – doktorski ali podoktorski študentje so tekmovali za najboljši poster. Komisija v sestavi: prof. dr. Holger Kersten (predsednik) in člani prof. dr. Pavel Kubeš, dr. Jan Stöckel, prof. dr. Tomaž Gyergyek, prof. dr. Jiří



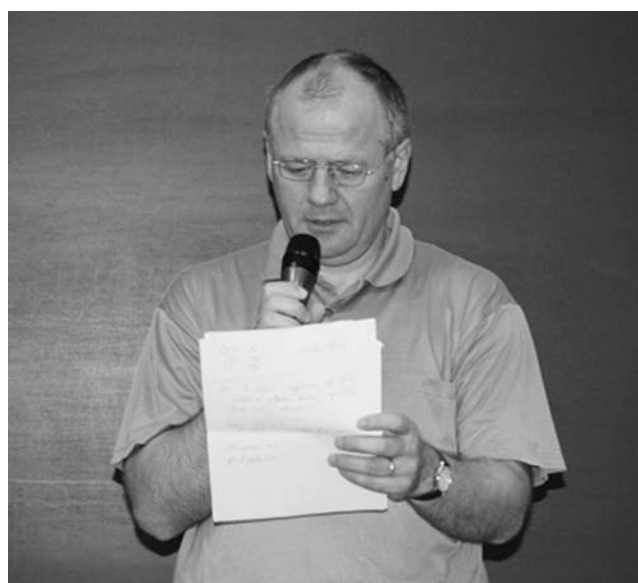
**Slika 1:** Simpozij je odprl predsednik programskega sveta prof. dr. Holger Kersten z Univerze v Kielu.

Ullschmied in dr. Eva Kovačević je med merili posebej poudarila originalnost raziskav in znanstveno kakovost vsebine in predstavitve, pa tudi način priprave posterja in sposobnost pravilnega zagovarjanja svojih stališč. Nagrado za najboljši prispevek sta si razdelila dva raziskovalca, in sicer Jan Klusoň in Matej Peterka za prispevka z naslovoma »*Diagnostic study of the discharge in the lowpressure plasma jet sputtering system*« (Klusoň) in »*Systematic ball-pen probe measurements of the plasma potential in different low temperature plasma conditions*« (Peterka).

prof. dr. Miran Mozetič



**Slika 2:** Predsednik organizacijskega odbora je bil prof. dr. Jan Pichal s Tehniške Univerze v Pragi.



**Slika 3:** Član programskega sveta simpozija je bil tudi dolgoletni član DVTS prof. dr. Tomaž Gyergyek z Univerze v Ljubljani.



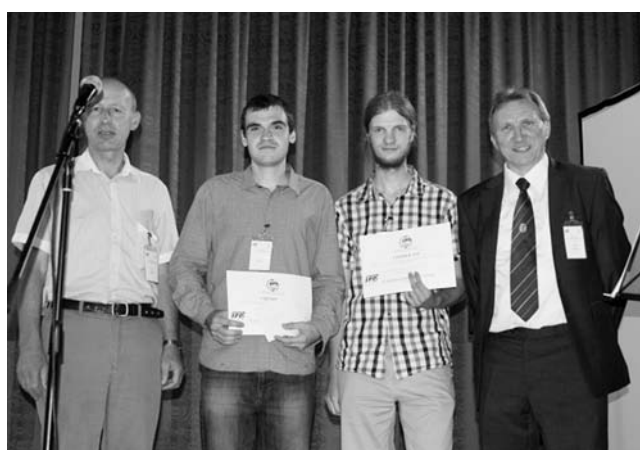
**Slika 4:** Predsednik tematskega sklopa o fuziji je bil dr. Jan Stöckel, dolgoletni direktor fuzijskih raziskav na tokamakih CASTOR in kasneje COMPASS, ki se nahajata na Inštitutu za fiziko plazme na Češki akademiji znanosti.



**Slika 6:** Prof. dr. Wei Dong Zhu z Odseka za uporabne znanosti in tehnologije Univerze v Jersey Cityju, ZDA, je predaval o originalni napravi za ustvarjanje dvodimenzionalne atmosferske plazme velikih dimenzij, ki temelji na množici elektrod z dielektrično zaporo.



**Slika 5:** Dr. Vítězslav Straňák z Inštituta za fiziko Univerze v Greifswaldu je predaval o nanosu funkcionalnih prevlek z naprševanjem z močnostnimi magnetronskimi pulzi.



**Slika 7:** Slovesna podelitev nagrade za najboljši poster mladih raziskovalcev. Od leve proti desni so predsednik organizacijskega odbora, prof. dr. Jan Pichal, nagrajenca Jan Klusoň in Matej Peterka in predsednik znanstvenega odbora, prof. dr. Holger Kersten.

## PREGLED KONFERENC V LETU 2012

### **63<sup>rd</sup> Annual meeting of the International society of electrochemistry**

19.–24. avgust 2012, Praga, Češka  
(rok za povzetek: 1. marec 2012)  
[event12.ise-online.org](http://event12.ise-online.org)

### **23<sup>rd</sup> European conference on diamond, diamond-like materials, carbon nanotubes and nitrides – Diamond 2012**

2.–6. september 2012, Granada, Španija  
(rok za povzetek: 25. april 2012)  
[www.diamond-conference.elsevier.com](http://www.diamond-conference.elsevier.com)

### **14<sup>nd</sup> Annual conference YUCOMAT**

3.–7. september 2012, Herceg Novi, Črna gora  
(rok za povzetek: 1. maj 2012)  
[www.mrs-serbia.org.rs](http://www.mrs-serbia.org.rs)

### **The European corrosion congress – EUROCORR 2012**

9.–13. september 2012, Istanbul, Turčija  
(rok za povzetek: 10. februar 2012)  
[www.eurocorr.org](http://www.eurocorr.org)

**13<sup>th</sup> International conference on plasma surface engineering – PSE 2012**

10.–14. september 2012, Garmisch-Partenkirchen, Nemčija

(rok za povzetek: 31. januar 2012)

[www.pse2012.net](http://www.pse2012.net)

**European materials research society fall meeting – EMRS**

17.–21. september 2012, Varšava, Poljska

(rok za povzetek: 31. maj 2012)

[www.emrs-strasbourg.com](http://www.emrs-strasbourg.com)

**48<sup>th</sup> International conference on microelectronics, devices and materials – MIDEM 2012**

19.–21. september 2012, Otočec, Slovenija

(rok za povzetek: 1. junij 2012)

[www.midem-drustvo.si/conf2012](http://www.midem-drustvo.si/conf2012)

**International conference on advances in materials science and engineering – AMSE 2012**

27.–28. september 2012, Bangkok, Tajska

(rok za povzetek: 1. april 2012)

[www.smss-sg.org/amse2012](http://www.smss-sg.org/amse2012)

**6<sup>th</sup> Vacuum and surface sciences conference of Asia and Australia (VASSCAA-6)**

9.–13. oktober, Islamabad, Pakistan

(rok za povzetek: 30. junij 2012)

[www.vasscaa6.com.pk](http://www.vasscaa6.com.pk)

**20. jubilejna konferenca o materialih in tehnologijah**

17.–19. oktober 2012, Portorož, Slovenija

(rok za povzetek: 15. junij 2012)

[konferenca2012.imt.si](http://konferenca2012.imt.si)

**PREGLED KONFERENC V LETU 2013****International conference on industrial technology – IEEE ICIT 2013**

25.–27. februar 2013, Cape Town, Južna Afrika

rok za povzetek: 1. september 2012

[www.icit2013.org](http://www.icit2013.org)

**40<sup>th</sup> International conference on metallurgical coatings & thin films – ICMCTF 2013**

29. april–3. maj 2013, San Diego, ZDA

rok za povzetek: 1. oktober 2012

[www2.avs.org/conferences/icmctf](http://www2.avs.org/conferences/icmctf)

**European materials research society spring meeting – EMRS**

27.–31. maj 2013, Strasbourg, Francija

rok za povzetek: 16. januar 2013

[www.emrs-strasbourg.com](http://www.emrs-strasbourg.com)

**Mednarodni znanstveni sestanek Vakuumska znanost in tehnika**

Hrvaško-slovensko srečanje vakuumistov

predvidoma junija 2013, Slovenija

rok za povzetek: (še ni določen)

<http://www.dvts.si> (domača stran društva)

**European congress and exhibition on advanced materials and processes – EUROMAT 2013**

8.–13. september 2013, Sevilla, Španija

rok za povzetek: januar 2013

[euromat2013.fems.eu](http://euromat2013.fems.eu)

**19<sup>th</sup> International vacuum congress, IVC-19**

vključuje tudi International conference on nano-science and technology – ICN+T 2013, 15<sup>th</sup> international conference on solid surfaces – ICSS-15, Innovations in thin films processing and characterisation – ITFPC 2013, Magnetron, ion processing & arc technologies European conference – MIATEC 2013, 19<sup>th</sup> international conference on plasma processes – CIP 2013 in Reactive sputter deposition – RSD 2013

9.–13. september 2013, Pariz, Francija

rok za povzetek: 15. januar 2013

[www.ivc19.com](http://www.ivc19.com)

**3<sup>rd</sup> European symposium on photocatalysis – JEP 2013**

25.–27. september 2013, Portorož, Slovenija

rok za povzetek: (še ni določen)

[www.photocatalysis-federation.eu](http://www.photocatalysis-federation.eu)

**15<sup>th</sup> European conference on applications of surface and interface analysis – ECASIA 2013**

13.–18. oktober 2013, Cagliari, Italija

(rok za povzetek: spomladi 2011)

<http://people.unica.it/ecasia13>

## PREGLED ČLANKOV V VAKUUMISTU 2002–2011

Natančno pred desetimi leti smo objavili zgoščen pregled vseh člankov, ki so bili do tedaj objavljeni v Vakuumistu (Vakuumist 22/1 (2002), 29–33). Omejili smo se na znanstvene in strokovne članke, tako da v pregledu ni bilo društvenih novic, vabil itd.

Desetletje je okoli in ob tej priliki je na mestu, da seznam obnovimo. Na naslednjih štirih straneh je zbran pregled vseh znanstvenih in strokovnih člankov, ki so bili objavljeni od začetka leta 2002 do konca leta 2011. Pregled je urejen na enak način kot tisti izpred desetih let.

### letnik 22, št. 1, marec 2002

4–9	Maček Marijan	Energijsko ločljiva masna spektroskopija plazme
10–15	Jenko Saša	Uporaba sinhrotronske svetlobe pri študiju strukture proteinov
16–18	Irmačnik-Belič Lidija, Šetina Janez, Erjavec Bojan	Akreditacija Laboratorija za metrologijo tlaka na Inštitutu za kovinske materiale in tehnologije
19–24	Južnič Stanislav	Zgodovina raziskovanja tekočih kristalov (3. del)
25–26	Panjan Peter	Nekaj napotkov za mehansko pripravo površine vzorcev za metalografske preiskave in podlag za nanos vakuumskih tankih plasti
29–33	Čekada Miha	Pregled člankov v Vakuumistu 1981–2001

### letnik 22, št. 2–3, avgust 2002

4–8	Cerc Korošec Romana	Termična analiza tankih plasti (1. del)
9–12	Pregelj Andrej, Piriš Andrej, Hribar Žiga, Štagoj Aleš, Breclj France, Bizjak Martin	Razvoj plinskega odvodnika
13–16	Jug Nina	Mehanizmi rasti vakuumskih tankih plasti
17–24	Šurca Angela, Vince Jelica, Orel Boris	Elektrokromni sklop s trdnim redoks-elektrolitom $I/I_2^-$ , pripravljenim po postopku sol-gel
25–28	Panjan Peter	Nanašanje trdih zaščitnih prevlek s katodnim lokom
29–37	Južnič Stanislav	Zgodovina raziskovanja tekočih kristalov (4. del)
38–39	Južnič Stanislav	150-letnica napršenih vakuumskih tankih plasti
40–41	Čekada Miha	Uporaba profilometra pri analizi površin in tankih plasti
42	Gasperič Jože	Varnost pri delu v vakuumski tehniki

### letnik 22, št. 4, december 2002

4–7	Dolinšek Slavko	Tehnologija laserskega sintranja za hitro izdelavo prototipov in orodij
8–13	Cvelbar Uroš, Mozetič Miran, Čekada Miha	Teorija rasti kovinskih oksidnih plasti
14–16	Čekada Miha, Panjan Peter	Diamantu podobne ogljikove (DLC) plasti
17–23	Glavič Peter	Mednarodni standardi – Veličine in enote (ISO 31–0 do 31–13)
24–27	Južnič Stanislav	Vakuumski baloni (Ob dvestoletnici Vegove smrti)

28–29	Gasperič Jože	Vzrok za podaljšan čas črpanja vakuumskih sistemov in kako se temu izognemo
30–33	Panjan Peter	Nova naprava za nanos keramičnih trdih prevlek

### letnik 23, št. 1, april 2003

4–9	Cerc Korošec Romana, Bukovec Peter	Termična analiza tankih plasti (2. del)
10–12	Vesel Alenka, Mozetič Miran	Magnetronska ionsko-razprševalna črpalka
13–20	Čakare-Samardžija Laila	Termodinamika površin trdnih snovi
21–28	Južnič Stanislav	Prvih osemdeset let spektroskopije Augerjevih elektronov. Ob desetletnici Augerjeve smrti
29–30	Nemanič Vincenc, Zajec Bojan	Pospešeno ohlajanje obdelovancev v vakuumu

### letnik 23, št. 2–3, oktober 2003

4–7	Čekada Miha, Panjan Peter, Dolinšek Janez	Kvazikristalne tanke plasti
8–12	Gasperič Jože	Uporaba vakuuma v medicini
13–16	Panjan Peter	PVD-prevleke za zaščito orodij za suho obdelavo
17–22	Furlan Andrej, Radič Nikola	Magnetronsko nanašanje volframskih tankih plasti
23–30	Južnič Stanislav	Kako je vakuum prišel na Kitajsko (Ob 300-letnici Hallersteinovega rojstva)
31–42	Južnič Stanislav	Turjaški knez, prvi kranjski vakuumist (Ob 350-letnici Guerickejevega poskusa z magdeburškima polkrogla)
43–46	Žitko Rok	Priprava atomsko čistih površin
46–48	Čekada Miha	Določanje debeline tankih plasti iz meritve profila stopnice

### letnik 23, št. 4, december 2003

4–8	Panjan Peter	Pomen trdih zaščitnih prevlek za zaščito orodij v avtomobilski industriji (1. del)
9–14	Vesel Alenka, Mozetič Miran	Plazemska sterilizacija
15–26	Južnič Stanislav	Ljubljanski izumitelj Codelli (ob 50-letnici smrti)
27–28	Panjan Peter	Čiščenje površin trdih podlag s peskanjem

### letnik 24, št. 1–2, junij 2004

4–12	Samardžija Zoran	Osnove metod SEM in AFM za preiskave površin
13–18	Uplaznik Marko, Mihailović Dragan	Osnove elektronske nanolitografije
19–25	Panjan Peter	Zaščita orodij za preoblikovanje pločevine s trdimi zaščitnimi prevlekami (2. del)
26–38	Kosec Mikič Tadeja, Milošev Ingrid	Korozijski procesi, vrste korozije in njihove zaščite
39–46	Južnič Stanislav, Žigon Tanja	Röntgen v Ljubljani
47–52	Južnič Stanislav	Vakuum v Vegovi balistiki (ob 250-letnici Vegovega rojstva)
53–54	Čekada Miha, Panjan Peter	Merjenje poroznosti tankih plasti s helijem



**letnik 24, št. 3, oktober 2004**

4–13	Žitko Rok, Mušević Igor	Tunelski mikroskop kot nanotehnološko in analitično orodje
14–17	Panjan Peter, Čekada Miha	Zaščita orodij in strojnih delov s kombinacijo različnih postopkov inženirstva površin
18–29	Južnič Stanislav	Gruber o širjenju plinov v vakuumu

**letnik 24, št. 4, december 2004**

4–10	Čekada Miha, Panjan Peter	Laserski postopki zaščite površin
11–17	Panjan Peter, Čekada Miha	Tribološke lastnosti trdih zaščitnih prevlek
18–20	Cerc Korošec Romana	Temperaturna kalibracija termoanalizatorja
21–23	Šamardžija Zoran, Čeh Miran, Panjan Peter, Čekada Miha	Mikrostrukturalna karakterizacija trdih prevlek (Ti,Al)N in Cr(C,N)
24–32	Južnič Stanislav	Raziskovanje vakuumu na (dunajskem) fizikalnem inštitutu Jožefa Stefana (ob stopetindvajsetletnici Stefanovega zakona)
33–34	Panjan Peter, Čekada Miha	Zakaj pri vakuumskem nanšanju tankih plasti potrebujemo visoki vakuum?

**letnik 25, št. 1–2, junij 2005**

4–8	Klanjšek Gunde Marta, Kunaver Matjaž, Hrovat Anton, Čekada Miha, Mozetič Miran, Panjan Peter	Analiza površin matiranih praškastih premazov
9–12	Šetina Barbara, Jenko Monika, Mušević Igor	Segregacija
13–15	Ambrožič Milan, Michalski Jakub, Beranič Sabina	Računalniška analiza mikrostrukture keramičnega materiala
16–19	Drenik Aleksander, Cvelbar Uroš, Vesel Alenka, Mozetič Miran, Vratnica Zoran, Vujošević Danijela	Meritve gostote atomov v šibkoionizirani kisikovi plazmi vzdolž zaprte cevi
20–23	Vratnica Zoran, Vujošević Danijela, Bele Marjan, Drenik Aleksander, Vesel Alenka, Cvelbar Uroš, Mozetič Miran	Preiskave bakterij s sodobnim vrstičnim elektronskim mikroskopom
24–27	Kek Merl Darja, Panjan Peter	Priprava trdega elektrolita za gorivne celice v obliki tanke plasti in njegove lastnosti
28–39	Južnič Stanislav	Zgodnje raziskovanje vakuumu v srednji Evropi in med Slovenci. Cauchyjeve goriške teorije vakuumu ob 60-letnica Balzera, 155-letnici Leybolda in Heraeusa
40–41	Paulin Alojz, Južnič Stanislav	Aleš Strojnik s prvim ljubljanskim elektronskim mikroskopom (Ob deseti obletnici zaslužnega slovenskega znanstvenika)
42–44	Panjan Peter	Nastanek turbulence pri črpanju vakuumске posode
45–49	Panjan Peter	Dvajsetletnica Centra za trde prevleke

**letnik 25, št. 3, oktober 2005**

4–8	Klanjšek Gunde Marta, Vesel Alenka, Opara Krašovec Urša, Kunaver Matjaž, Mozetič Miran	Analiza kemijske sestave in sevalnih lastnosti aluminizirane polimerne folije
-----	--	---

9–15	Panjan Matjaž, Čekada Miha	Merjenje mikrotrdote trdih PVD-prevlek z nanoindenterjem (1. del) – Fizikalna opredelitev trdote
16–18	Steiner Petrovič Darja, Jenko Monika, Milun Milorad	Analiza desorpcije bakra z metodo termične desorpcijske spektroskopije
19–24	Kovač Janez, Zalar Anton	Zmogljivosti rentgenskega fotoelektronskega spektrometra (XPS) na Inštitutu "Jožef Stefan"
25–33	Južnič Stanislav	Nanocevke (ob desetletnici sinteze nanocevka MoS <sub>2</sub> v Ljubljani)

**letnik 25, št. 4, december 2005**

4–7	Santo Zarnik Marina, Holc Janez	Optični profilometer
8–17	Panjan Matjaž, Čekada Miha	Merjenje mikrotrdote trdih PVD-prevlek z nanoindenterjem (2. del)
18–22	Panjan Peter, Čekada Miha	Magnetronsko naprševanje tankih plasti
23–27	Glavan Nataša, Krstulović Nikša, Čutić Nino, Milošević Slobodan, Cvelbar Uroš, Vesel Alenka, Drenik Aleksander, Mozetič Miran	Preiskava značilnosti nizkotlačne plazme vodne pare z optično emisijsko spektroskopijo
27	Paulin Alojz	Fotoefekt kot elektromagnetni pojav
28–33	Južnič Stanislav, Remškar Maja	Slovenke raziskujejo z vakuumskimi tehnikami
34	Kek Merl Darja	Elektropoliranje

**letnik 26, št. 1–2, junij 2006**

4–10	Drenik Aleksander, Vesel Alenka, Mozetič Miran	Merjenje koeficienta rekombinacije vodikovih atomov na trdnih površinah
11–15	Panjan Peter	Trde PVD-prevleke za zaščito orodij za oblikovanje plastike
16–22	Viršek Marko, Remškar Maja	Vrstična tunelska mikroskopija in študij površin
23–29	Gec Medeja, Čeh Miran	Tehnike priprave vzorcev za preiskave na TEM (1. del) – Mehanska predpriprava vzorca
30–34	Furlan Andrej	Fulerenom podobne tanke plasti CN <sub>x</sub>
35–38	Južnič Stanislav	Kopernik o vakuumu
39–46	Južnič Stanislav	Tesla vakuumist (ob 150-letnici rojstva)
47–49	Panjan Peter	Merjenje temperature v vakuumskih sistemih med PVD-procesi nanašanja tankih plasti

**letnik 26, št. 3, oktober 2006**

4–7	Panjan Peter	Trde PVD-prevleke za zaščito orodij za oblikovanje plastike (2. del)
8–13	Ambrožič Milan	Poroznost keramike: merjenje poroznosti in njen vpliv na mehanske lastnosti snovi
14–18	Kosec Tadeja, Milošev Ingrid	Inhibicija korozijskih procesov
19–22	Gec Medeja, Čeh Miran	Tehnike priprave vzorcev za preiskave na TEM (2. del) – Ionsko jedkanje vzorcev
23–31	Južnič Stanislav	Knjige o vakuumu prvega ljubljanskega vakuumista
32–34	Panjan Peter	Poliranje orodnega jekla

**letnik 26, št. 4, december 2006**

4-9	Zupanič Franc	Tehnologija fokusiranega ionskega curka (FIB)
10-13	Junkar Ita, Hauptman Nina, Cvelbar Uroš, Kovač Janez, Mozetič Miran	Obdelava umetnih žil s kisikovo plazmo
14-18	Kevorkijan Varužan	Inženiring površine izdelkov in polizdelkov iz aluminijevih zlitin
19-29	Južnič Stanislav	Peterlinov prispevek k razvoju vakuumskih tehnik
33-34	Panjan Peter	Plini za pripravo vakuumskih (PVD) tankih plasti

**letnik 27, št. 1-2, junij 2007**

4-13	Zalar Anton	Trideset let spektroskopije Augerjevih elektronov v Sloveniji
14-19	Zupanič Erik, Žitko Rok, Prodan Albert, Muševič Igor	Načrtovanje in izdelava ultravisokovakuumskega kristata s helijevo kopeljo za vrstično tunelsko mikroskopijo
20-23	Blažević Edita, Milošev Ingrid	Uporaba dentalnih zlitin za protetične nadomestke in implantate
24-33	Cvelbar Uroš, Mozetič Miran	Osnove fizike kisikove plazme
34-42	Finšgar Matjaž, Milošev Ingrid	Uporaba piezoelektrične kremenove mikrotehnice
43-52	Južnič Stanislav	Pospeševalniki in tanke plasti v senci (jugo)slovenske A-bombe (ob 55-letnici poimenovanja Instituta "Jožef Stefan" dne 24. 5. 1952)

**letnik 27, št. 3, oktober 2007**

4-9	Kosec Tadeja, Milošev Ingrid	Inhibicija korozije bakra in njegovih zlitin s cinkom z benzotriazolom v kloridni raztopini
10-15	Ambrožič Milan	Obrabna obstojnost keramike
16-22	Finšgar Matjaž, Milošev Ingrid	Ciklična voltometrija – elektrokemijska metoda za študij reakcijskih mehanizmov
23-30	Južnič Stanislav	Valvasor o vakuumu in tankostenskih kipih (ob 320-letnici Valvasorjeve izvolitve v londonsko Kraljevo družbo)
31-34	Panjan Peter, Čekada Miha, Panjan Matjaž, Paskvale Srečko, Fišer Jožko	Opis metod za študij topografije površine podlag na mikronivoju

**letnik 27, št. 4, december 2007**

4-8	Zupanič Franc	Vakuumsko indukcijsko taljenje
9-15	Tušek Janez, Muhič Tadej, Pleterski Matej, Klobčar Damjan	Lasersko reparaturno varjenje dupleksno zaščitenih orodnih jekel
16-19	Pleterski Matej, Tušek Janez, Muhič Tadej, Pompe Klemen	Sanacija termorazpok na orodjih za tlačno litje z lasersko tehnologijo
20-22	Čekada Miha, Kahn Markus, Waldhauser Wolfgang	Anodni ionski izvir
23-34	Južnič Stanislav	Vakuum trubarjevih dni (ob 500-letnici Trubarjevega rojstva)

**letnik 28, št. 1-2, junij 2008**

4-7	Hauptman Nina, Klanjšek Gunde, Marta, Vesel Alenka, Kunaver Matjaž	Spremembe površine praškastega premaza zaradi jedkanja s kisikovo plazmo
8-11	Drenik Aleksander, Vesel Alenka, Mozetič Miran, Panjan Peter, Čekada Miha	Odstranjevanje amorfnih hidrogeniziranih ogljikovih tankih plasti s kisikovimi atomi

12-18	Finšgar Matjaž, Milošev Ingrid	Organske molekule kot korozijski inhibitorji
19-24	Panjan Matjaž, Zalar Anton, Kovač Janez, Čekada Miha, Panjan Peter	Določanje koncentracijskih profilov in difuzijskih parametrov v tankoplastnih strukturah s profilno analizo in modelom MRI
25-29	Ambrožič Milan	Porazdelitev trdnosti keramičnih materialov
30-34	Čekada Miha, Panjan Peter	Plazemski elektrolitski postopki
35-40	Zupanc Uroš	Površinska obdelava materiala – Obstreljevanje s kroglicami
41-46	Južnič Stanislav	Proslave Peterlinove 100-letnice
47-49	Panjan Peter	Nova sodobna naprava za nanos trdih PVD-prevlek v Centru za trde prevleke na Institutu "Jožef Stefan"

**letnik 28, št. 3, oktober 2008**

4-8	Maglica Aljoša, Ambrožič Milan	Razvoj keramične žarilne svečke
9-19	Samardžija Zoran	Opazovanje magnetnih domen z vrstičnim elektronskim mikroskopom s spinsko polarizacijo sekundarnih elektronov
20-21	Južnič Stanislav	Osemdesetletnica televizijskega patenta Ljubljancana Codellija
22-31	Južnič Stanislav	Prvih 800 let frančiškanskega vakuumu za Slovence (ob 800-letnici frančiškanskega reda v letu 2009)
32-33	Panjan Peter, Čekada Miha, Panjan Matjaž	Kje in kako dovajati reaktivni plin med naprševanjem tankih spojinskih plasti?

**letnik 28, št. 4, december 2008**

4-8	Opara Krašovec Urša, Berginc Marko, Hočevar Mateja, Topič Marko	Elektrokemijske sončne celice
9-16	Orel Boris, Slemenik Perše Lidija, Šurca Vuk Angela, Jerman Ivan, Merlini Dušan	Selektivni barvni premazi za sončne fasade
17-22	Panjan Peter	Termični pršilni postopki nanašanja prevlek
23-30	Južnič Stanislav	Kapucinski vakuum sredi 17. stoletja (ob 800-letnici frančiškanskega reda, 2. del)

**letnik 29, št. 1-2, junij 2009**

4-8	Muhič Tadej, Tušek Janez, Možina Janez, Pleterski Matej, Kosec Ladislav	Poliranje z laserskim žarkom
9-22	Samardžija Zoran	Mejne površine v kompozitih
23-30	Zupanič Franc	Kontinuirno litje nikljevih superzlitin v vakuumu
31-36	Panjan Peter, Čekada Miha, Panjan Matjaž, Paskvale Srečko, Kek Merl Darinka	Pulzno magnetronsko naprševanje pri veliki vršni moči
37-56	Južnič Stanislav	Vakuum barona Zoisa (ob dvestoletnici Ilirskih provinc)

**letnik 29, št. 3, september 2009**

19-25	Jerman Ivan, Šurca Vuk Angela, Koželj Matjaž, Orel Boris	Primerjava korozijskih lastnosti različnih multifunkcionaliziranih POSS-prevlek na zlitini AA 2024
26-29	Nemanič Vincenc, Zajec Bojan, Žumer Marko	Meritve skrajno majhne permeacije vodika
30-42	Južnič Stanislav	Knjige o vakuumu iz nekdanje knjižnice cistercijanov v Stični (ob 225-letnici ukinitve samostana v Stični, ob 250-letnici Florjančičeve smrti)

**letnik 29, št. 4, december 2009**

4–8	Finšgar Matjaž, Milošev Ingrid	Inhibicijska učinkovitost benzotriazola in 1-hidroksi-benzotriazola proti koroziji bakra
9–20	Arsenijevič Branislav, Gasperič Jože	Preizkušanje na vakuumsko tesnost – neporušitvena metoda z mehurčki
21–24	Repnik Robert, Gerlič Ivan, Ambrožič Milan	Prikaz spremembe lomnega količnika evakuiranega zraka v valjni geometriji
25–32	Južnič Stanislav	Knjige o vakuumskih poskusih na slovenskem pred katodnimi elektronkami

**letnik 30, št. 1, april 2010**

5–14	Finšgar Matjaž, Milošev Ingrid	Zaščita nerjavnega jekla v kloridnih raztopinah s polietilenimskim korozijskim inhibitorjem
15–19	Arsenijevič Branislav, Gasperič Jože	Preizkušanje na vakuumsko tesnost – neporušitvena akustična metoda
20–36	Južnič Stanislav	Zgodnje japonske vakuumske tehnike

**letnik 30, št. 2, julij 2010**

4–7	Eleršič Kristina, Kovač Janez, Modic Martina, Mozetič Miran	ARXPS analiza bakterij Escherichia coli, obdelanih v kisikovi plazmi
8–16	Finšgar Matjaž, Milošev Ingrid	Primerjava polietilenimskih korozijskih inhibitorjev
17–24	Južnič Stanislav	Hočevarjevi vakuumski poskusi

**letnik 30, št. 3, september 2010**

4–11	Finšgar Matjaž, Kovač Janez, Milošev Ingrid	Študij mehanizmov vezave molekul BTAH in BTAOH na baker z rentgensko fotoelektronsko spektroskopijo – XPS
12–16	Klanjšek Gunde Marta	Fotobiološka varnost nekoherentnih optičnih sevanj – določila nove uredbe
17–25	Južnič Stanislav	Vakuum ljubljanskih frančiškanov

**letnik 30, št. 4, november 2010**

4–8	Zaplotnik Rok, Vesel Alenka, Mozetič Miran	Razelektritveni parametri pri prehodu iz E- v H-način v kisikovi plazmi
9–18	Lojen Gorazd, Anžel Ivan	Mikrostrukture kontinuirno litih palic iz zlitine z oblikovnim spominom Cu-Al-Ni
19–25	Klanjšek Gunde Marta, Friškovec Mojca, Sever Škapin Andrija, Bernard Janez	Fotobiološka varnost nekaterih virov nekoherentnih umetnih optičnih sevanj
26–28	Gasperič Jože, Arsenijevič Branislav	Preizkušanje na vakuumsko tesnost – neporušitvena termovizijska metoda
29–33	Južnič Stanislav	Knjigi na pot

**letnik 31, št. 1, marec 2011**

4–7	Zupanič Franc	Uporaba mikroposnetkov z odbitimi elektroni pri identifikaciji faz
8–14	Klanjšek Gunde Marta, Faktor Darijan, Čekada Miha, Paskvale Srečko, Panjan Peter, Sušin Barbara, Hauptman Nina, Friškovec Mojca	Polprepustne hologramske folije za zaščito dokumentov
15–29	Južnič Stanislav	Vakuum razsvetljenske Ljubljane v frančiškanski knjižnici

**letnik 31, št. 2, junij 2011**

4–8	Drev Marija, Opara Kraševc Urša, Hočevar Mateja, Topič Marko	Kapljično tiskanje polprevodniške plasti TiO <sub>2</sub> za elektrokemijske sončne celice
9–13	Friškovec Mojca, Kulčar Rahela, Hauptman Nina, Vesel Alenka, Klanjšek Gunde Marta	Svetlobna obstojnost termokromnih odtisov
14–19	Bončina Tonica	Elektronska vrstična mikroskopija pri povišanem tlaku (ESEM)
20–27	Južnič Stanislav	Prve vakuumske črpalke med Slovenci

**letnik 31, št. 3, oktober 2011**

4–7	Žveglič Maša, Klanjšek Gunde Marta	Tiskarski materiali za tiskano elektroniko
8–11	Vesel Alenka, Drenik Aleksander, Mozetič Miran	Evropski sončni center Font Romeu
12–16	Stanislav Južnič	Vakuum Osredkarjevih dni
17–21	Stanislav Južnič	Vakuumske tehnike pri jedrski magnetni resonanci Roberta Blinca (* 1933; † 2011)

**letnik 31, št. 4, december 2011**

4–9	Lavrenčič Štangar Urška, Šuligoj Andraž, Kete Marko, Tasbihi Mino	Fotokatalitske tanke plasti in njihova uporaba
10–15	Petrovič Suzana, Čaković Biljana, Čekada Miha, Kovač Janez, Peruško Davor, Panjan Peter, Trtica Milan	Lasersko inducirana modifikacija sestave in morfologije površin
16–19	Ambrožič Milan, Kocjan Andraž, Kosmač Tomaž	Stereometrična analiza nanometrskih bemitnih prevlek
20–25	Stanislav Južnič	Boškovičev vakuum (ob 300-letnici rojstva slovitoga Hrvata)

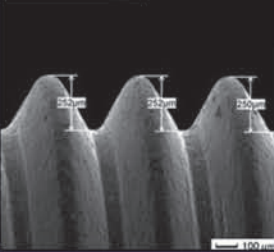


# JEOL 6000 Series SEMs..

Scanning Electron Microscopes

...Focusing on the future  
meeting the needs of every application

Accurate metrology



3D View

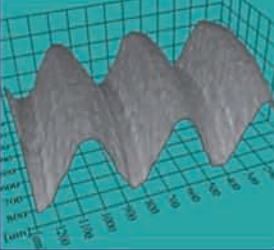
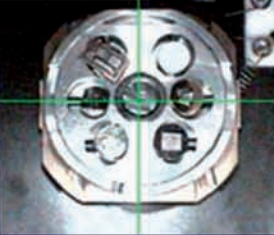
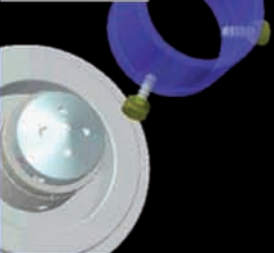


Photo stage navigation



Video instruction



Diatom



**JEOL**  
www.jeol.com  
+44 (0)1707 377117  
euro.sales@jeol.com



SCAN d.o.o. Preddvor  
Breg ob Kokri 7 · SI-4205 Preddvor · Phone +386-4-2750200  
Fax +386-4-2750420 · info@siol.net

## JEOL JSM-6610 and JSM-6510 SEMs

Providing the best price performance with the greatest of ease

Navigate the stage from a photo of your sample

Automatic functions for focusing, stigmation, contrast and brightness

Standard recipes for common samples

Help files with video instruction for beginners to SEM

Advanced features for experienced users

Low Vacuum capability

Integrated EDS option for seamless analysis