

VAKUUMIST 34/3, november 2014

VSEBINA

ČLANKI

Sistem za suho jedkanje silicija s ksenonovim difluoridom

Erik K. Juvan, Matej Možek, Borut Pečar, Drago Resnik, Danilo Vrtačnik 4

Idrijsko živo srebro za barometre in termometre (Ob 270-letnici Voltovega rojstva)

Stanislav Južnič 10

DRUŠTVENE NOVICE

Naše društvo je uspešno sodelovalo pri organizaciji 16. mednarodne konference o tankih plasteh ICTF-16 v Dubrovniku

Janez Kovač 21

Na mednarodni konferenci ICTF-16 je eno od treh nagrad za najboljšo predavanje mladih raziskovalcev prejel sodelavec Instituta »Jožef Stefan« dr. Peter Gselman

Peter Panjan 24

Vabilo na vakuumski tečaj Osnove vakuumске tehnike 25

VAKUUMIST

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

Izid publikacije je finančno podprla Javna agencija za raziskovalno dejavnost 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: 350 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

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

tel.: (01) 477 38 29

faks.: (01) 251 93 85

SISTEM ZA SUHO JEDKANJE SILICIJA S KSENONOVIM DIFLUORIDOM

Erik K. Juvan, Matej Možek, Borut Pečar, Drago Resnik, Danilo Vrtačnik

ZNANSTVENI ČLANEK

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana

POVZETEK

Predstavljeni so zasnova, razvoj, izdelava, uporaba in karakterizacija sistema za suho izotropno jedkanje silicija s ksenonovim difluoridom. Cilj je bil narediti prilagodljivo, majhno in premično jedkalno napravo, sestavljeno iz krmilne elektronike in vakuumskega sistema. Na izdelanem sistemu so bila uspešno izvedena preizkusna jedkanja na silicijevih podlagah za določitev jedkalnih parametrov, kot so hitrost in globina jedkanja v odvisnosti od učinkovite izpostavljene površine silicija ter od časa jedkanja, selektivnost glede na maskirno plast SiO₂ in usmerjenost jedkanja.

Ključne besede: suho jedkanje silicija, ksenonov difluorid, izotropno jedkanje, vakuumski sistem

System for dry etching of silicon by xenon difluoride

ABSTRACT

Design and implementation of silicon dry etching system with xenon difluoride is presented. The goal was to build a portable, self-sufficient and flexible dry etching system using xenon difluoride as the etchant gas. The system comprises control electronics and a vacuum system. A detailed testing and verification of the realized vacuum system and electronics with associated software was performed. Finally, etching of silicon samples was done to determine the typical etching parameters such as silicon etch rate as a function of exposed silicon area and etch time, etching selectivity to silicon dioxide mask and degree of process isotropy.

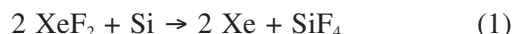
Keywords: silicon dry etching, xenon difluoride, isotropic etching, vacuum system

1 UVOD

Pri razvoju in izdelavi eno- ali večstransko vpetih, prosto gibajočih se mikroelektromehanskih (MEMS) struktur, kot so mikroročice, glavniške strukture za resonatorje, mostički, membrane, ki so največkrat izdelane s postopki globinske mikroobdelave (suho ali mokro jedkanje silicija), je potreben na koncu še sprostitveni jedkalni proces za ločitev silicijeve strukture od podlage. Princip jedkanja je prikazan na **sliki 1**. V

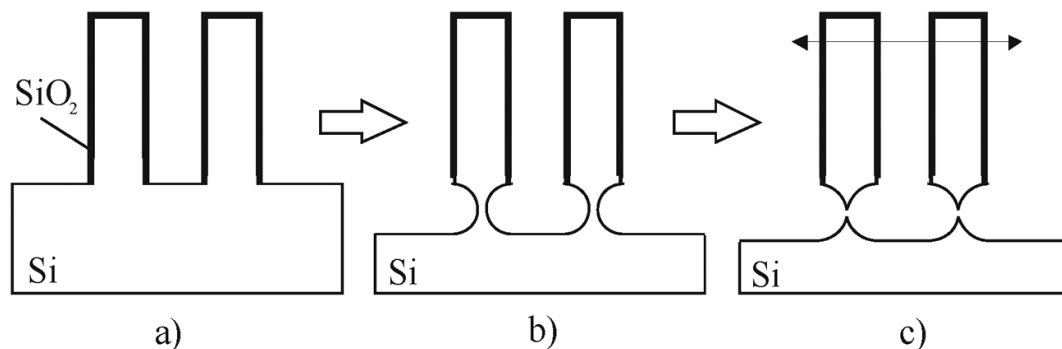
tem procesnem koraku je treba predvsem paziti, da ne poškodujemo predhodno izdelane občutljive mehanske mikrostrukture. Uporaba ksenonovega difluorida (XeF₂) pomeni izboljššan način za sprostitveno suho izotropno jedkanje z veliko prednostmi pred drugimi silicijevimi jedkali [1, 2].

Prednosti uporabe ksenonovega difluorida so: visoka hitrost jedkanja, skoraj 100-odstotna izotropija, visoka selektivnost – hitrost jedkanja silicija proti maskirnim materialom, kot so silicijev dioksid (SiO₂), silicijev nitrid (SiN), aluminij ali fotorezist [3]. Izredno pomembno dejstvo je tudi, da v primerjavi z mokrimi jedkali pri jedkanju s XeF₂ ni težav z zadrževanjem jedkala v ozkih režah med podlago in strukturo zaradi odsotnosti površinske napetosti, ker imamo jedkalo v plinastem stanju in ne v tekočem. Uravnotežena kemijska enačba reakcije silicija (Si) in XeF₂ je:



Reakcija jedkanja silicija je eksotermne narave s potencialnimi neželenimi stranskimi produkti: SiF, SiF₂, SiF₃, in Si₂F₆ [4]. Parni tlak XeF₂ pri sobni temperaturi je približno 6 mbar [5]. Ob stiku XeF₂ z vodno paro se tvori fluorovodikova kislina (HF), ki v procesu jedkanja močno znižuje selektivnost. Za izvedbo ponovljivega, kontroliranega ter varnega procesa jedkanja je nujno potreben tako računalniško voden krmilni sistem z mikrokontrolerjem, ki omogoča natančno časovno kontrolo in zapisovanje korakov [6], kot tudi zagotovitev ustreznega vakuumu v jedkalni komori in povezovalnih ceveh [7]. To so bile glavne smernice pri razvoju novega sistema.

V predstavljenem delu smo načrtali in realizirali sistem za suho jedkanje silicija z uporabo ksenonovega difluorida kot jedkalnega plina. Dobljeni rezultati preizkusnih jedkanj silicijevih vzorcev so bili povsem



Slika 1: Primer sproščanja silicijevih mikrostruktur s suhim jedkanjem s XeF₂: a) anizotropno globinsko jedkanje (DRIE proces) in nanos maskirne plasti SiO₂, b) izotropno jedkanje s XeF₂, c) končna sproščena struktura

v skladu s pričakovanimi in so potrdili ustreznost zasnovanega načina.

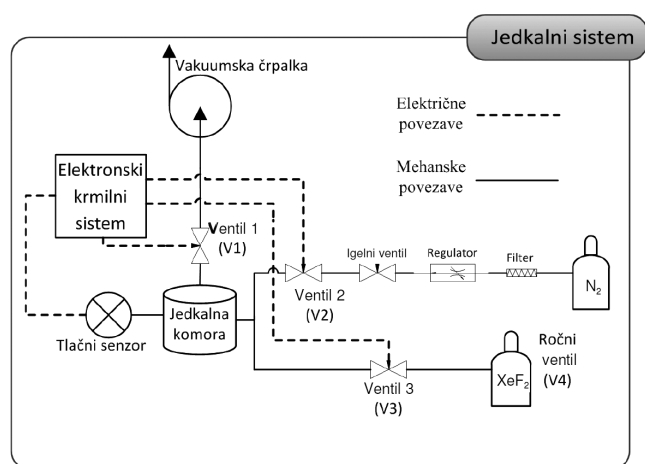
2 ZASNOVA JEDKALNEGA SISTEMA

Jedkalni sistem s ksenonovim difluoridom je bil zasnovan na osnovi dveh podsklopov, in sicer mehanskega in električnega, in je shematsko prikazan na **sliki 2**.

Mehanski del sestavlja jedkalna komora in niz standardnih vakuumskih gradnikov, kot so: trije električno krmiljeni visokovakuumske ventili, tlačni senzor (kapacitivni manometer), dvostopenjska rotacijska vakuumška črpalka, aluminijasta tlačna posoda s XeF_2 , vakuumška komora, zunanji priključek za dovod dušika za preprihanje komore in plinskih povezav, regulatorja, igelnega ventila, filtra in ogrodja sistema ter povezovalnih cevi iz nerjavnega jekla.

Električni del (krmilni sistem) sestavljajo ločeni moduli: napajalno vezje, glavna krmilna plošča, vezje za uporabniški vmesnik in krmilnik perifernih enot (ventilov in tlačnega sensorja).

Predstavljena zasnova ima nekatere omejitve, ki jih je treba upoštevati. Bistvena omejitev je, da tak sistem ne zagotavlja visoke ponovljivosti procesa, ker je količina plina v jedkalni komori odvisna od količine plina XeF_2 v tlačni posodi in povezovalnih cevi, ki pa se med tem, ko plin porabljamo, spreminja, s tem pa se spreminjajo tudi tlačne razmere v komori. Za boljšo ponovljivost jedkalnega procesa lahko v sistem uvedemo dodatno ekspanzijsko komoro. Ta omogoča, da v jedkalno komoro vedno vnesemo natančno in ponovljivo količino plina XeF_2 [5]. Izdelan sistem v tej fazi ne vključuje dodatne ekspanzijske posode, ima pa predvidene vse elemente za omenjeno nadgradnjo.

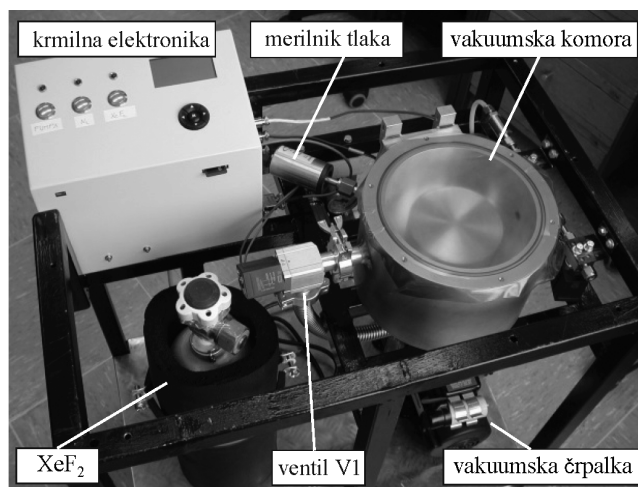


Slika 2: Bločni diagram zasnovanega sistema

3 KONSTRUKCIJSKA IZVEDBA SISTEMA

Konstruktivna izvedba jedkalnega sistema brez ekspanzijske komore ter namestitve posameznih komponent je prikazana na **sliki 3**. Jedkalna komora je narejena iz strojno obdelanega bloka aluminija z delovno prostornino $1,19 \text{ dm}^3$ in krožno delovno površino 95 cm^2 . Jedkalna komora omogoča jedkanje silicijevih podlag maksimalnega premera 100 mm .

Za doseg zahtevanega vakuuma in črpanja reaktantov je uporabljena dvostopenjska vakuumška črpalka Edwards E2M-1.5 z največjim pretokom $1,8 \text{ m}^3/\text{h}$ in maksimalnim doseženim absolutnim tlakom $5 \cdot 10^{-4} \text{ mbar}$. Senzor tlaka je Baratron 750B11TCD2GG z 1-odstotno natančnostjo, z najvišjim merjenim tlakom 13 mbar in najnižjo zanesljivo merilno tlačno vrednostjo $7 \cdot 10^{-3} \text{ mbar}$. Med jedkalno komoro in vakuumško črpalko je vgrajen vakuumški ventil (V1) XLS-16, SMC Inc. Ventil (V3) XSA2-32S je nameščen med tlačno posodo XeF_2 in jedkalno komoro. V sistemu je še linija elementov, ki skrbijo za filtracijo in tlačno regulacijo dušika, ki ga uporabnik v sistem pripelje od zunaj. Ti elementi so: mehanski filter, regulator, igelni ventil in vakuumški ventil (V2), XSA1-12S, ki je zadnji v liniji in povezan z jedkalno komoro.

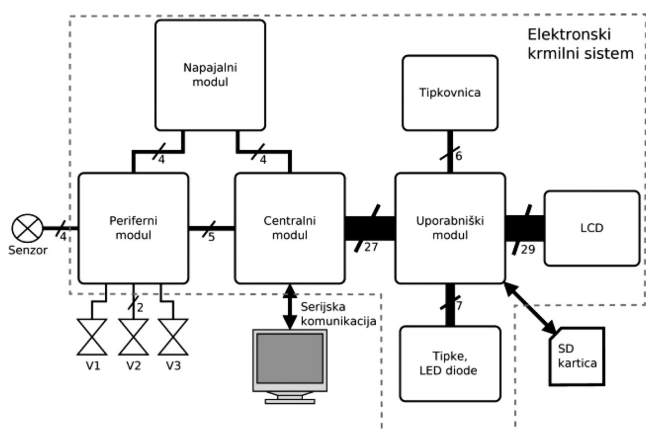


Slika 3: Jedkalni sistem

4 ELEKTRONSKI KRMILNI SISTEM

Elektronski krmilni sistem skrbi za pregled, varnost, nastavitve in zapisovanje parametrov ter avtomatizacijo jedkalnega procesa. Načrtovan in izdelan je modularno kot skupek medsebojno povezanih modulov, ki so: napajalni, periferni, uporabniški in centralni. Moduli in njihove povezave so prikazane na **sliki 4**.

Za napajalni modul je bil izdelan stikalni napajalnik, ki proizvede dva napetostna nivoja: 5 V in 24 V enosmerne napetosti. Potrebni 7 V enosmerne nape-



Slika 4: Bločni diagram krmilne elektronike

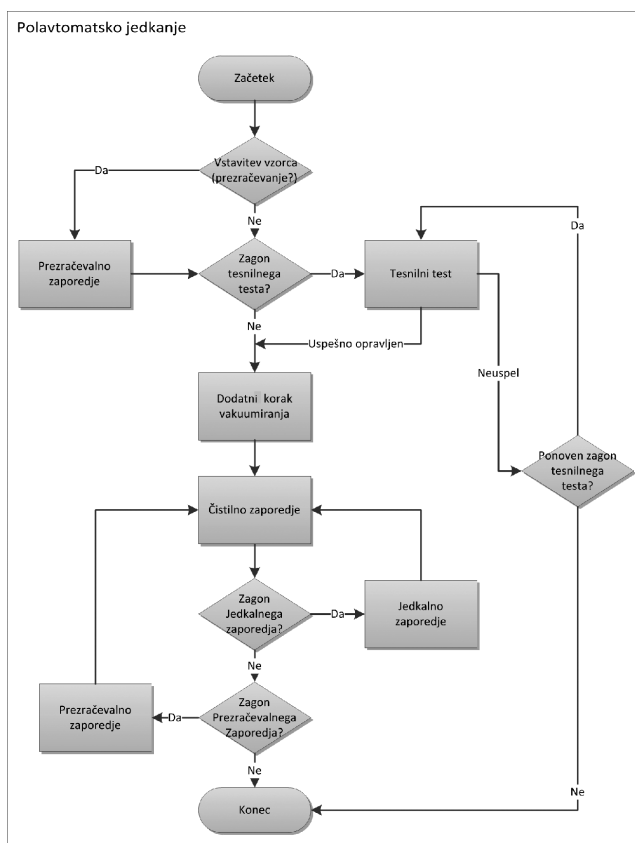
tosti za napajanje ventilov je generiranih iz 24 V s stikalnim regulatorjem navzdol (angl. *step down*). Periferni modul vsebuje gonilne tranzistorje za krmiljenje ventilov in napetostni delilnik za znižanje izhodne napetosti tlačnega sensorja. Prožilni signali za ventile so pripeljani iz centralnega modula. Elementi uporabniškega modula so: smerna tipkovnica, LCD-zaslon in tri namenske tipke za ročno krmiljenje ventilov. Poleg tega vsebuje modul še priključek za SD-kartico za možnost zapisovanja in shranjevanja podatkov. Podatki se shranjujejo v tekstovne datoteke, ki jih lahko kasneje obdelamo na osebni računalniku.

Središče krmilne elektronike je centralni modul, ki skrbi za komunikacijo in krmiljenje drugih modulov in njihovih perifernih enot. Osnova centralnega modula je razvojna plošča STM32VLDISCOVERY z mikrokrmilnikom STM32F100RB, ki je zasnovan okoli procesnega jedra ARM Cortex-M3. Poleg tega je na vezju še pretvornik UMFT230XA (USB ↔ UART), ki omogoča komunikacijo z osebnim računalnikom preko standardnega USB-vhoda.

5 NAČINI DELOVANJA SISTEMA

Uporaba sistema poteka na dva načina: ročno ali polavtomatsko. Pri ročni uporabi poteka krmiljenje ventilov s pritiskom na krmilne tipke. Ročni način je namenjen predvsem preizkušanju sistema. Za uporabo sistema za jedkanje je primeren predvsem polavtomatski način.

Postopek jedkanja s ksenonovim difluoridom v polavtomatskem načinu je fiksni proces, sestavljen iz štirih funkcijsko ločenih zaporedij (ciklov, korakov): preizkus puščanja vakuumskega sistema, čistilni cikel, jedkalni cikel in prezračevalni cikel (slika 5). Čeprav je potek zaporedij vnaprej določen, je spremenljivost procesa v nastavitvah programskih parametrov: število ciklov jedkanja, čas trajanja cikla, število čistjenj ko-



Slika 5: Potek polavtomatskega načina jedkanja

more, najvišji dovoljeni tlak v komori pred začetkom jedkanja itd.

Preizkus puščanja vakuumskega sistema je postopek za preverjanje kakovosti tesnjenja vakuumskega sistema. Za jedkanje silicijevih struktur s XeF_2 je pogoj, da je puščanje manjše od $3 \cdot 10^{-5}$ mbar L/s za dan volumen (pribl. 1,5 L).

V **čistilnem ciklu** očistimo komoro in povezovalne cevi stranskih produktov jedkanja (2 Xe in SiF_4) s preplakovanjem komore z dušikom v zanki, v kateri se izmenjujeta procesa evakuiranja in dovajanja dušika.

V **jedkalnem ciklu** prazno komoro evakuiramo in nato dovajamo jedkalni plin skozi vakuumski ventil V3 iz jeklenke XeF_2 . Hitrost, stopnja in trajanje jedkanja je določeno s programskimi parametri.

Prezračevalni cikel z dovajanjem dušika v komoro izenači notranji tlak z zunanjim in omogoči dvig pokrova za vstavitve ali odstranitev vzorca iz komore.

Celoten postopek jedkanja je torej sestavljen iz naslednjega zaporedja posameznih korakov:

- vklop sistema in segrevanje vakuumske črpalke in tlačnega sensorja na delovno temperaturo,
- sestava nove programske sekvence oziroma izbira obstoječega jedkalnega programa,
- vstavitve vzorca v jedkalno komoro,
- preizkus puščanja vakuumskega sistema,

- čistilni cikel,
- jedkalni cikel,
- prezračevalni cikel,
- odstranitev vzorca iz komore.

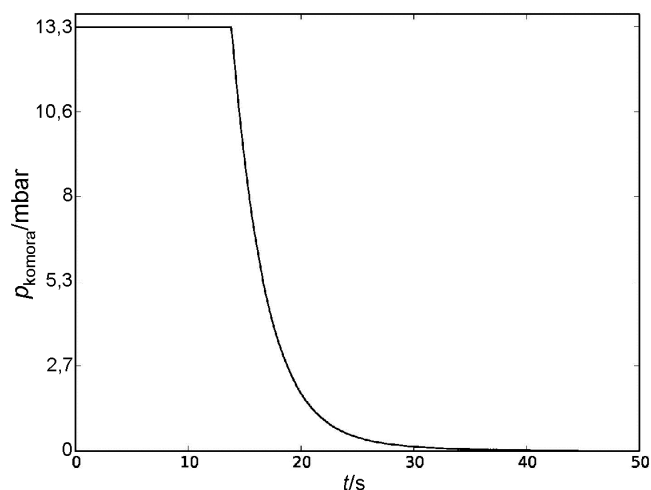
6 PREIZKUŠANJE VAKUUMSKEGA SISTEMA

Slika 6 prikazuje potek evakuiranja prazne komore, ki je v tem primeru trajalo 56 s. V tem času se je v komori znižal tlak od atmosferskega do $7 \cdot 10^{-3}$ mbar. Signal sensorja je prvih 13 s vpet v zgornjem območju tlačnega sensorja (nad 13 mbar), zato časovni potek ni zajet. Prikazan je samo eksponencialni potek padca tlaka med evakuiranjem komore v kazalnem območju 10^{-3} –10 mbar.

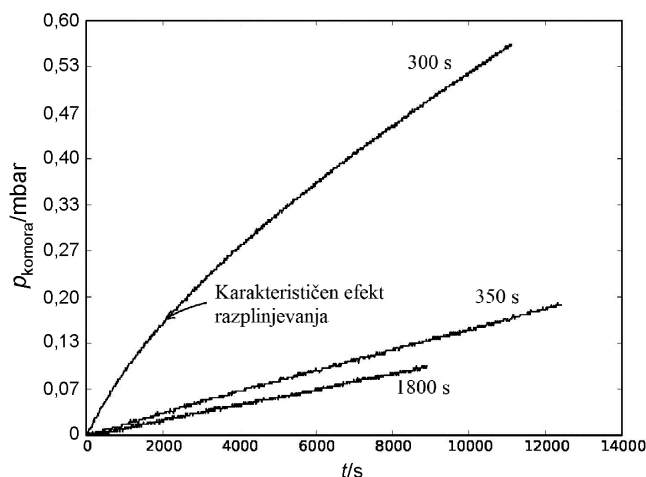
Preizkus na tesnost vakuumskega sistema je prikazan na **sliki 7**. Opravljeni so bili trije preizkusi evakuiranja in ugotavljanja naraščanja tlaka v komori.

Pri prvem preizkusu smo neočiščen sistem evakuirali 5 min (300 s) do tlaka $7 \cdot 10^{-3}$ mbar. Po zaprtju ventila V1 je tlak v komori narasel na 0,55 mbar v 180 min (10.800 s). Velikost naraščanja pretoka plina zaradi netesnosti sistema in razplinjevanja v komori je bila $7,6 \cdot 10^{-5}$ mbar L/s. Začetni eksponenten potek krivulje na **sliki 7**, tj. hitro naraščanje tlaka je posledica učinka razplinjevanja (angl. *outgassing*) ali navideznega puščanja (angl. *virtual leak*) in ne samo slabega tesnjenja sistema, kar potrjujeta naslednja dva preizkusa.

Pri drugem preizkusu je bil sistem najprej temeljito očiščen z 2-propanolom, posušen in nato evakuiran v 350 s na $7 \cdot 10^{-3}$ mbar. Po zaprtju ventila V1 je tlak v komori narasel po 180 min (10.800 s) na 0,17 mbar. Velikost puščanja in razplinjevanja je bila $2,3 \cdot 10^{-5}$ mbar L/s. Sistem je bil pod nadzorom še dodatnih 20 h in v tem času je tlak dosegel vrednost 1,2 mbar, preračunamo puščanje pa je bilo $2,4 \cdot 10^{-5}$ mbar L/s.



Slika 6: Potek tlaka v komori med evakuiranjem

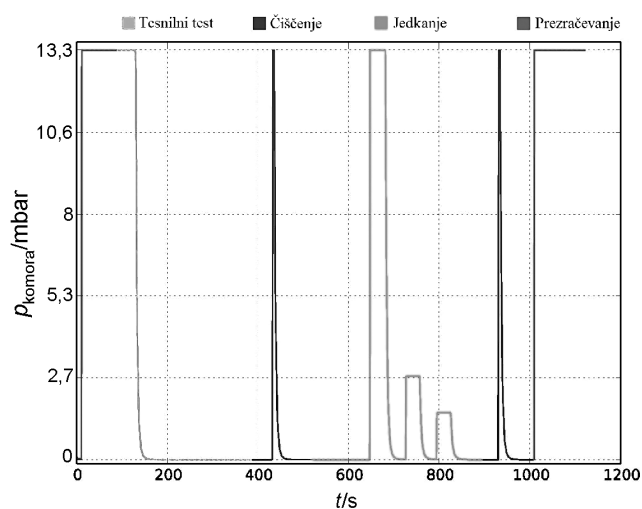


Slika 7: Tri meritve puščanja vakuumskega sistema po evakuiranju komore 300 s, 350 s in 1800 s

Pri tretjem preizkusu (**sliki 7**) je evakuiranje komore potekalo 30 min (1800 s) od začetnega tlaka 1,2 mbar na končno vrednost pod $7 \cdot 10^{-3}$ mbar. Po zaprtju ventila V1 je tlak v komori narasel v 150 min (9000 s) na 0,1 mbar. Pretok plina zaradi puščanja in razplinjevanja je bil v tem primeru $1,7 \cdot 10^{-5}$ mbar L/s.

Tretji preizkus prikazuje realno sliko tesnjenja sistema, saj je z dolgim časom evakuiranja in temeljitim čiščenjem notranjih površin vpliv navideznega puščanja ali razplinjevanja zelo majhen in zato sprejemljiv za naš namen dela.

Za ugotavljanje pravilnega delovanja sistema je bilo treba pred priključitvijo XeF₂ narediti še dodatne preizkuse brez procesnih plinov. Na ventil jedkalnega plina je bil pripeljan zunanji zrak preko tlačnega regulatorja. To je omogočilo varno simulacijo jedkalnega postopka in preizkušanja stabilnosti polavtomatskega načina. Potek tlaka v komori med opisanim preizkusom je prikazan na **sliki 8**. Razvidno je prezračevalno



Slika 8: Spremljanje tlaka v komori med simulacijo zaporedja korakov procesa

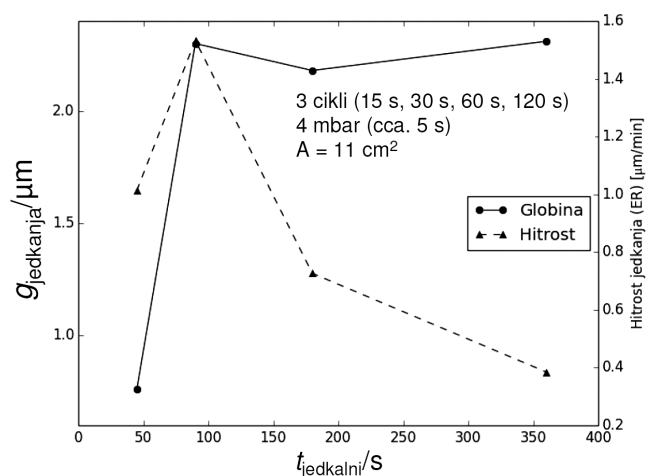
zaporedje na začetku in koncu, preizkus na vakuumsko tesnost, dva čistilna cikla in tri jedkalne cikle po 30 s.

7 REZULTATI JEDKANJA

Z izdelanim sistemom so bila opravljena jedkanja na enostransko mehansko poliranih vzorcih monokristalnih silicijevih podlag premera 75 mm. Vzorci silicija so bili pokriti z maskirno plastjo SiO_2 , ki je definirala področja, kjer je bil silicij izpostavljen jedkalnemu procesu. Namen je bil eksperimentalno ovrednotiti nabor naslednjih jedkalnih parametrov: hitrost in globina jedkanja v odvisnosti od učinkovite izpostavljene površine in časa jedkanja, hitrost jedkanja oksida, selektivnost, usmerjenost, najvišji dosežen tlak XeF_2 v jedkalni komori in hitrost napolnitve komore s XeF_2 .

Z eksperimentalnim delom je bila ugotovljen čas, potreben za stabilizacijo tlaka XeF_2 v komori. Stabiliziran tlak je bil 5,1 mbar in je bil dosežen po približno 20 s od odprtja ventila V3 v komoro. Ta podatek je pomemben za določitev minimalnega časa trajanja jedkalnega cikla. Kajti krajši časi zmanjšujejo jedkalno hitrost (ker dovedemo manj plina), medtem ko daljši časi povzročajo tlake v komori, ki so večji od tistega v XeF_2 -jeklenki (kar sledi iz kemijske enačbe 1). To pa ni željeno, ker lahko pride do kontaminacije jeklenke z jedkalnimi produkti.

Hitrost jedkanja SiO_2 maskirne plasti ER_{ox} je bila ugotovljena z meritvami debeline SiO_2 z elipsometrom SpecEl-2000VIS po vsakem ciklu jedkanja. Debelina oksida (SiO_2) se je po 60 s jedkanja zmanjšala za 10,4 nm. Hitrost jedkanja oksida je tako $ER_{\text{ox}} = 10,4 \text{ nm/min}$. Hitrost jedkanja silicija ER_{si} je bila določena po 60 s jedkanja izpostavljene silicijeve rezine. Sprememba debeline silicija je bila 1,06 μm , kar ustreza hitrosti jedkanja $ER_{\text{si}} = 1,06 \mu\text{m/min}$.



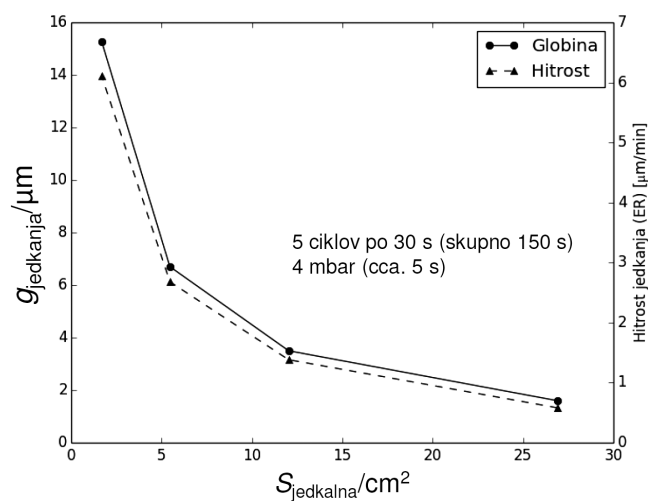
Slika 9: Globina in hitrost jedkanja v odvisnosti od časa trajanja jedkalnih ciklov

Selektivnost jedkalnega procesa S , ki je podana kot razmerje $S = ER_{\text{si}} / ER_{\text{ox}}$, je tako za dani primer 102.

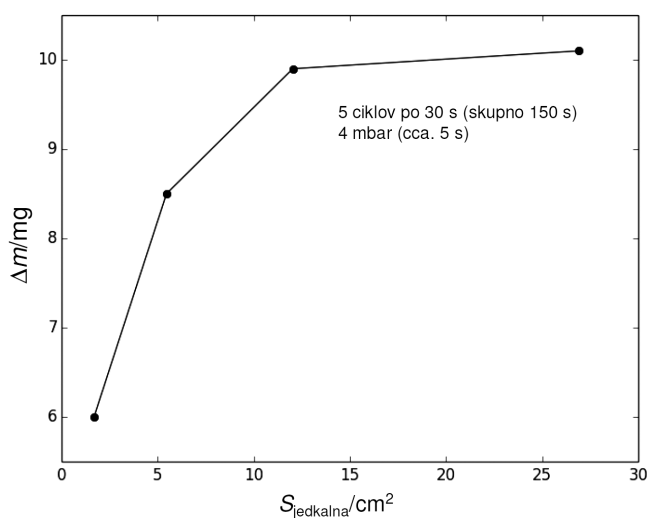
Za določitev hitrosti jedkanja v odvisnosti od trajanja jedkalnega cikla so bili jedkani štiri vzorci enakih površin (11 cm^2) pri začetnem tlaku XeF_2 v komori 4 mbar. Na **sliki 9** je prikazana globina in hitrost jedkanja v odvisnosti od časa trajanja jedkalnega cikla. Vsi vzorci so bili jedkani s tremi zaporednimi jedkalnimi cikli. Za vsak posamezen vzorec smo povečali dolžino trajanja posamičnih ciklov, in sicer je bil jedkan prvi vzorec $3 \times 15 \text{ s}$, drugi $3 \times 30 \text{ s}$, tretji $3 \times 60 \text{ s}$ in četrti $3 \times 120 \text{ s}$.

Ugotovljeno je bilo, da je globina jedkanja konstantna, če je čas jedkalnega cikla daljši od 30 s (**slika 9**). Slednje pomeni, da se v tem času porabi praktično ves jedkalni plin, ki je bil spuščen v komoro. S porabo reakcijskega plina pa posledično upade tudi hitrost jedkanja, kot je prikazano s črtkasto črto na **sliki 9**. Globina jedkanja je bila izračunana iz meritve spremembe mase vzorca pri predpostavki, da je jedkanje po površini vzorca uniformno. Masa vzorcev med jedkanjem je bila merjena s tehtnico Kern ABJ z ločljivostjo 0,1 mg.

Za ugotovitev hitrosti jedkanja v odvisnosti od učinkovite jedkalne površine so bili jedkani štiri vzorci različnih površin ($26,8 \text{ cm}^2$, $12,03 \text{ cm}^2$, $5,46 \text{ cm}^2$, $1,69 \text{ cm}^2$) pri začetnem tlaku 4 mbar in skupnim jedkalnim časom 150 s (5 ciklov po 30 s). Kot je razvidno s **slike 10**, jedkalna hitrost ER_{si} z manjšanjem jedkalne površine strmo narašča, s tem pa posledično tudi globina jedkanja v dani časovni enoti. Iz tega lahko sklepamo, da bi bil pri danih parametrih jedkanj za površine manjše od 10 cm^2 potreben manjši vnos jedkalnega plina na začetku ($< 4 \text{ mbar}$), ali pa daljši čas jedkanja, saj se v 150 s na površini ne uspe porabiti za reakcijo ves vnos plina XeF_2 . **Slika 11** prikazuje spremembo mase silicijevega vzorca v odvisnosti od jedkalne površine.



Slika 10: Globina in hitrost jedkanja v odvisnosti od velikosti izpostavljene površine silicija



Slika 11: Sprememba mase odjedkanega silicija v odvisnosti od izpostavljenosti površine silicija

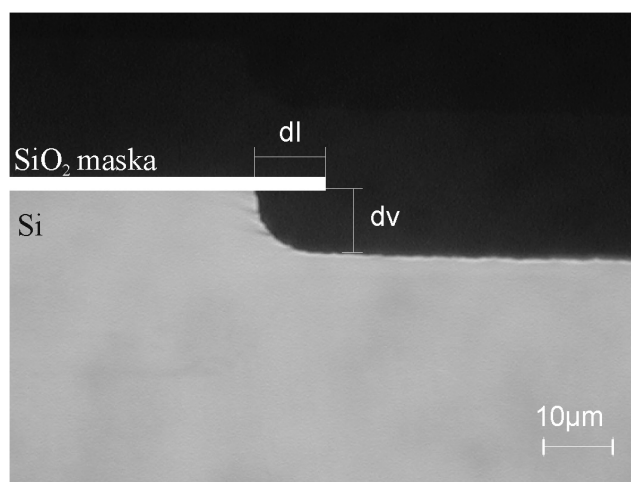
Ugotovljeno je bilo tudi, da je pri povečani hitrosti jedkanja površina silicijevega vzorca vse bolj groba (hrapava), kar je po vsej verjetnosti posledica burnejše kemijske reakcije na majhni izpostavljeni površini in močnejšega segrevanja silicijeve podlage.

Izotropija jedkalnega procesa je definirana kot kvocient hitrosti lateralnega jedkanja silicija pod masko (spodjedkavanje) in vertikalnega jedkanja zunaj področja maske, kar lahko ponazorimo z geometrijo (dl/dv), kot je to prikazano na **sliki 12**. Rezultat pokaže, da dobimo praktično 100-odstotno izotropijo. Pri navadnih plazemskih jedkanjih je izotropija tipično med 50 % in 80 %, kar je s stališča sproščanja struktur neželjeno.

Za določitev usmerjenosti je bil jedkan vzorec z izdelanimi strukturami z masko termično raščene oksida debeline 60 nm. V tem primeru je bila efektivna jedkalna površina vzorca $4,4 \text{ cm}^2$. Vzorec je bil jedkan s petimi cikli dolžine 30 s in začetnim tlakom jedkalnega plina 4 mbar. Na **sliki 12** je prikazana mikrofotografija prereza vzorca pod optičnim mikroskopom. Globina jedkanja vzorca (dv) je bila $9,68 \mu\text{m}$, lateralno spodjedkavanje (dl) pa $9,5 \mu\text{m}$. Izotropija jedkanja je tako 98-odstotna, kar potrjuje odlično izotropnost procesa.

8 SKLEP

Predstavljeno je bilo načrtovanje, izdelava, uporaba in karakterizacija sistema za suho jedkanje s ksenonovim difluoridom. Načrtovanje in izdelava sistema po meri je bila cenejša od nakupa sedanjih rešitev na trgu. Razvoj sistema je obsegel izdelavo krmilne elektronike, načrtovanje ohišja za elektroniko in izdelavo ogrodja za integracijo sestavnih elementov.



Slika 12: Profil izotropno jedkanega vzorca silicija v prerezu

Po končanem razvoju in izdelavi jedkalnika je sledila karakterizacija sistema s preizkusnimi jedkanji. Opravljeni so bili štiri smiselno ločeni preizkusi na skupno 12 vzorcih. Namen karakterizacijskega jedkanja je bil spoznati praktično delovanje sistema in določitev jedkalnih parametrov, kot so: hitrost in globina jedkanja v odvisnosti od efektivne površine in časa jedkanja, selektivnost ter usmerjenost procesa, čas polnitve komore z jedkalnim plinom ter smiselna dolžina jedkanja v odvisnosti od izpostavljenosti silicijeve površine. Določen je bil smiseln čas polnitve komore 5 s (tlak 4 mbar), optimalni časi trajanja ciklov tipične površine jedkanj sproščenih struktur med 5 cm^2 in 40 cm^2 , ki so med 40 s oziroma 5 s. Izmerjena selektivnost jedkanja silicija na oksidno masko je bila nižja (102) od pričakovane (500), kar je verjetno posledica povečanega nastanka stranskih produktov. Jedkalni sistem laboratoriju LMSE omogoča dodaten proces pri razvoju novih MEMS-struktur.

9 LITERATURA

- [1] D. Vrtačnik, D. Resnik, U. Aljančič, M. Možek, B. Pečar, S. Amon, *47th International Conference on Microelectronics, Devices and Materials and the Workshop on Organic Semiconductors, Technologies and Devices*, 28.–30. september 2011, Ajdovščina, Slovenija, str. 141–146
- [2] M. Tramšek; B. Žemva, *Acta Chim. Slov.*, 53 (2006), 105–116
- [3] I. W. T. Chan, K. B. Brown, R. P. W. Lawson, A. M. Robinson, Y. Ma, D. Strembecke, *Proceedings of the 1999 IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, 9.–12. maj 1999, Edmonton, Kanada, str. 1637–1642
- [4] P. B. Chu, J. T. Chen, R. Yeht, G. Lin, J. C. P. H. Elrett, A. Warneket, K. S. J. Pister, *1997 International Conference on Solid-state Sensors and Actuators*, 16.–19. junij 1997, Chicago, ZDA, str. 665–668
- [5] F. Schreiner, G. N. McDonald, C. L. Chernick, *The Journal of Physical Chemistry*, 72 (1968) 4, 1162–1166
- [6] T. Risaku, M. Kazuyuki, E. Masayoshi, *Sensors and Actuators A: Physical*, 66 (1998), 1–3, 268–272
- [7] J. D. Brazzle, M. R. Dokmeci, C. H. Mastrangelo, *17th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS)*, 25.–29. januar 2004, Maastricht, Nizozemska, str. 737–740

IDRIJSKO ŽIVO SREBRO ZA BAROMETRE IN TERMOMETRE (Ob 270-letnici Voltovega rojstva)

Stanislav Južnič

ZNA NSTVENI ČLANEK

Univerza v Oklahomi, Oddelek za zgodovino znanosti, Norman, Oklahoma, ZDA

POVZETEK

Prvi vakuumski poskusi so bili opravljani v Firencah z idrijskim živim srebrom. Bistveno vlogo pri razpečavanju idrijske rude so imeli voditelji rudnika, predvsem Abondio Inzaghi in njegov pravnuk Franc Janez Inzaghi, mrzli bratranec matere Alessandra Volte. Franc Janez Inzaghi si je znal predvsem priskrbeti prvovrstne sodelavce, med katerimi so bili Janez Anton Scopoli, B. Hacquet in predvsem češki farmacevt Ernest Freyer.

Volta je s svojim raziskovanjem plinov pripomogel k napredku idrijskega rudnika, sorodnik Franc Janez Inzaghi pa mu je za povračila dostavljal zajetne količine idrijskega živega srebra, potrebnega za izdelavo barometrov in termometrov v Voltovem novem fizikalnem teatru univerze v Pavii, kjer je dobil profesuro dve leti za Scopolijem. Freyer je s svojim poznanjem destilacije in vakuumskih postopkov za čiščenje idrijske rude pripomogel tudi k dobri preskrbi Volte in nizozemskih proizvajalcev vakuumskih črpalk, med katerimi so se v znanost najgloblje zapisali Musschenbroeki v sodelovanju s Hermannom Boerhaavejem, učiteljem številnih vodilnih učenjakov na dunajskem dvoru. Poraba živega srebra v znanstvene namene resda ni bila velika, je pa močno pripomogla k prestižu idrijskega rudnika. Franc Janez grof Inzaghi je največji uspeh dosegel ob koncu svojega vodenja idrijskega rudnika zaradi velikanskih španskih naročil, namenjenih amalgamiranju v mehiških in drugih latinskoameriških rudnikih srebra.

Zaradi povezav s sorodnikom Inzaghijem sta Voltov elektrofor za večkratno električno polnjenje in Voltova pištola – eudiometer za merjenje kvalitete zraka izjemno hitro dopolnili zbirko ljubljanskega visokošolskega fizikalno-kemijskega kabineta. Inzaghi je ostal z Volto v stiku tudi po svoji vrnitvi v Gradec, še posebno ob Voltovi poroki leta 1794.

Glavne besede: Abondio Maria Inzaghi, Franc Janez grof Inzaghi, Ernest Freyer, Alessandro Volta, Idrija, Ljubljana, Pavia, zgodovina vakuumskih tehnik

Idrija Mercury for Barometers and Thermometers (On 270th anniversary of Volta's birth)

ABSTRACT

The first vacuum experiments were carried out in Florence with Idrija mercury. Essential role in distribution of the Idrija mercury belonged to the mine directors, especially Abondio Inzaghi and his grandson Franz Johan Inzaghi, a second cousin of the mother of Alessandro Volta. Franz Johan Inzaghi hired first-class employees. Among them were Johan Anton Scopoli, B. Hacquet, and especially the Czech pharmacist Ernest Freyer.

Volta's investigation of gases contributed to the progress of the Idrija mine. His relative Franz Johan Inzaghi arranged for Volta a hefty amount of Idrija mercury required for the manufacture of barometers and thermometers in Volta's new »physical theater« at the University of Pavia. Freyer used his knowledge of vacuum distillation cleaning methods for Idrija ore also to provide the good supply for Volta's and Dutch manufacturers of vacuum pumps, including Musschenbroek and Hermann Boerhaave, the teacher of many of the leading scholars in the Viennese court. Consumption of mercury for scientific purposes admittedly was not great, but it strongly contributed to the prestige of the Idrija mine. Franz Johan Count Inzaghi scored the biggest success at the end of his leadership of the Idrija mine due to huge Spanish orders

intended for the amalgamation of Mexican and other Latin American ores of silver.

Because of connections with relatives Inzaghi, the Volta electrophorus for multiple electrical volt battery and gun – eudiometer for measuring air quality extremely quickly completed a collection of Ljubljana higher physics-chemical cabinet. Inzaghi was in touch with Volta even after his return to Graz, especially in time of Volta's wedding in 1794.

Keywords: Abondio Maria Inzaghi, Ernest Freyer, Count Franz Johann Inzaghi, Alessandro Volta, Idrija, Ljubljana, Pavia, history of Vacuum Technology

1 UVOD

Idrija je bila dolga stoletja zibelka tehničnih dosežkov na Kranjskem. V Idrijo so dunajske oblasti pošiljale najvidnejše strokovnjake v upanju na izboljšavo postopkov pridobivanja in predelave idrijske rude. Najvidnejši vodji idrijskega rudnika sta bila Inzaghija, Abondio in njegov pravnuk; slednji predvsem zaradi svojih tesnih sorodstvenih vezi z Alessandrom Volto.

2 ABONDIO INZAGHI IN TORRICELLI

Abundus Maria Inzaghi (Abondio, Abbondio, * Como; † 1691 Gradec) je bil pod cesarjema Ferdinandom III. in Leopoldom I. svetnik dvorne komore in višji rudarski nadzornik v Idriji. Podobno kot na Ptujju bratje Caccia, se je sprva ukvarjal s preprodajo sukna in denarnimi zadevami. Pozneje se je preselil v Gradec, kjer je postal vodja novčnega urada. Reorganiziral je proizvodnjo živega srebra v Idriji in nato obvladoval trgovino z živim srebrom, bakrom in podobnim blagom.¹

Abondio se je uveljavil na Kranjskem vzporedno s sorodnikom Galilea Galileija Robertom Galileijem (* 1615 Firenze; † 1681 Ljubljana). Medtem ko se je Abondio naselil v Gradcu oziroma v Idriji, je Roberto svoje razvejene bančne in politične posle vodil iz najete hiše ob Šušarskem mostu v Ljubljani vsaj od rojstva svojega najstarejšega ljubljanskega sina Bartolomea Engelberta Galileja, krščenega v ljubljanski stolnici 11. februarja 1648. Po Robertovi trditvah naj bi Roberto delal na Kranjskem že leta 1632.

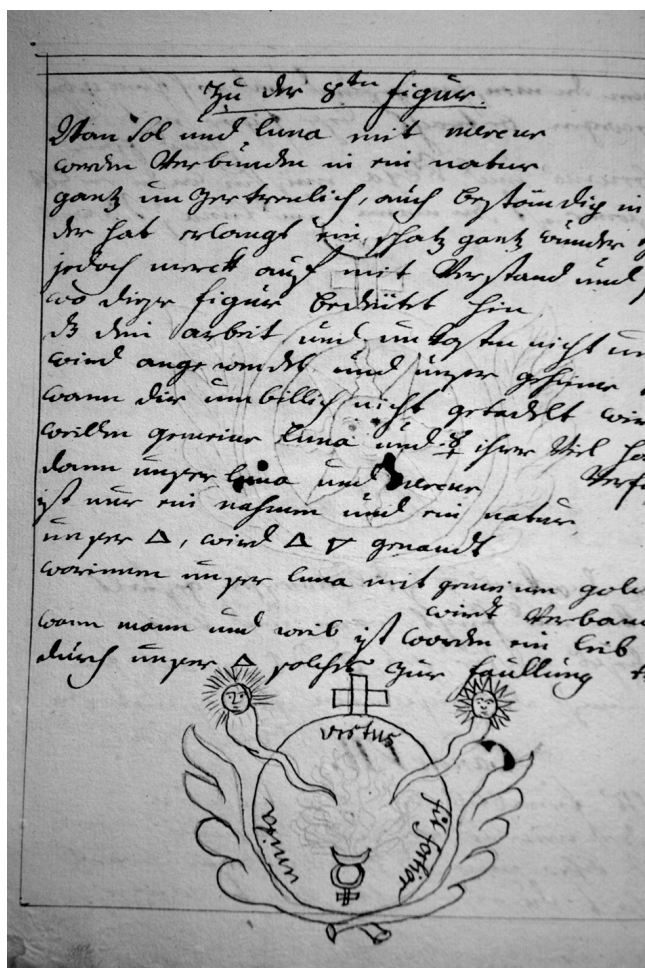
Ob začetku Abondijevega in Robertovega delovanja na Kranjskem je G. Galilejev znanstveni dedič Evangelista Torricelli (* 1608; † 1647) na Vivianijevo pobudo leta 1643 postavil prvi vakuumski poskus z idrijskim živosrebrnim termometrom. Konec leta 1644 je o uspehu obvestil pariškega meniha Marina Mersenna, ki je bil poglavitni razširjevalec znanstvenih idej v tedanji Evropi. Mersenne je kmalu z novostjo seznanil Blaisa Pascala, ki je leta 1646 javno ponovil poskus, leta 1668 pa je poslal svojega svaka v hribe z ogromnim živosrebrnim barometrom, polnim idrijske rude. S tem je živosrebrni barometer postal tudi orodje za določanje višin.

Desetletje po Torricelijevih začetkih je Otto Guericke na pobudo kneza Janeza Vajkarda Turjaškega (Auersperga) razvijal poskuse z vakuumsko črpalko (1654). Z živosrebrnim barometrom je Guericke kot župan mesta Magdeburga uspešno

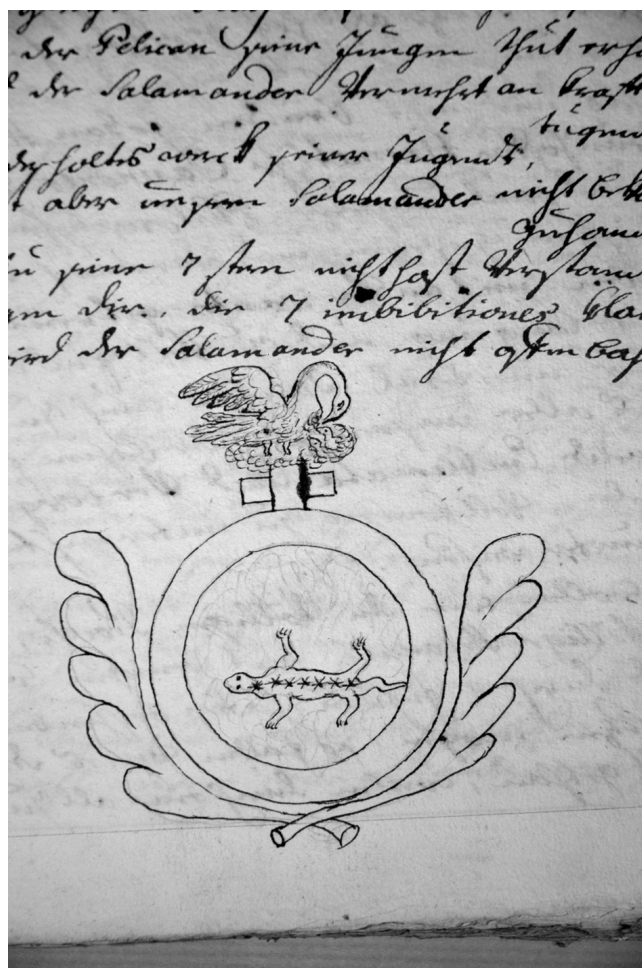
napovedal prihajajočo nevihto, za nagrado pa si je prislužil volilne glasove someščanov in predvsem magdeburških gospodinj.

Cesarjev pooblaščenec za finančna in vojaška vprašanja Karl Gottfried grof Breuner (Brenner) je Abondia postavil za vrhovnega inšpektorja idrijskega rudnika. Z nakupi gospostev severno od Gradca se je Abondio 19. 8. 1658 priključil štajerskim stanovom. Abondio Inzaghi je uvedel državno upravljanje in prodajo idrijske rude leta 1659. Pospetil je izvoz idrijskega živega srebra preko Amsterdamčana Johann Deutza (Jean, * 29. 11. 1618; † 1673), ki je bil nemškega kölnskega rodu. Cesar Leopold je Abondia Marijo povišal v barona in nato še v grofa.

A pravica je pač »skazica« in kmalu se je začelo šušljati, da ima Abondio s prodajo živega srebra več dobička od same državne blagajne.² Dne 12. 12. 1667 je bil suspendiran, po škandaloznem dveletnem procesu, podobnem



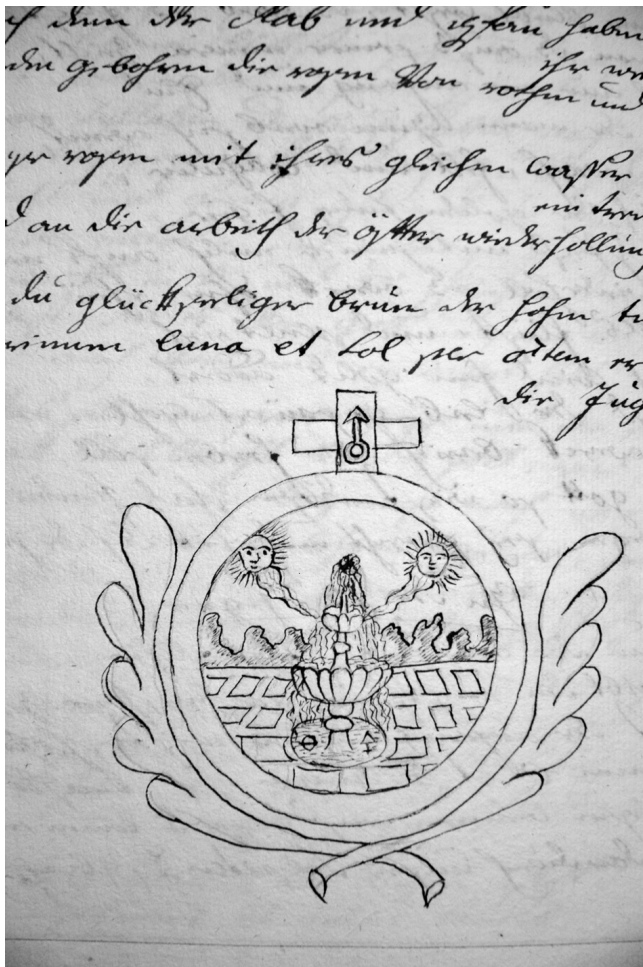
Slika 1: Freyerjeva dvojna Sonca v Freyerjevem bogato ilustriranem študentskem prepisu J. C. Vanderbeegove knjige *Das geheime Buch der Weisheit zur Langen Leben und Vollkommenen Reichtum* (1739) (SI_AS 863 š. 1)



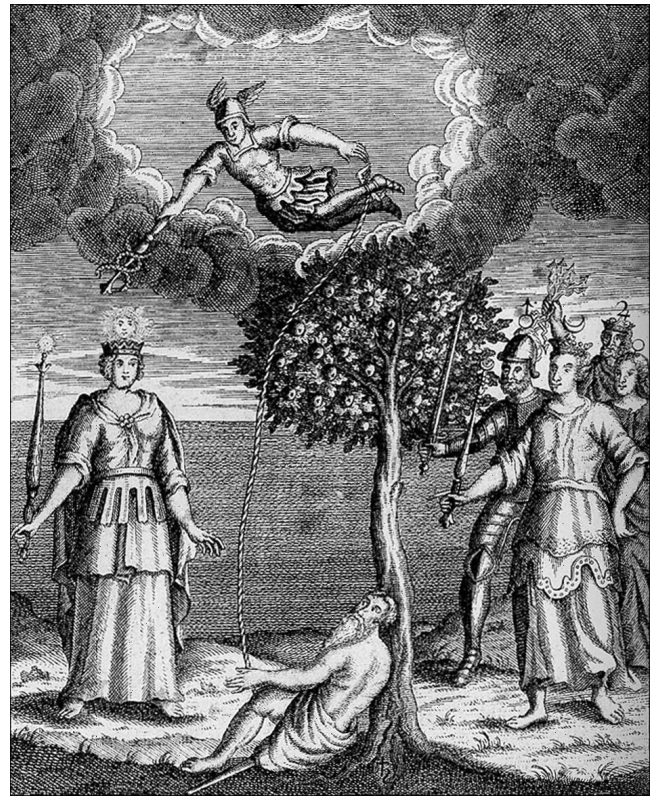
Slika 2: Labod nad močeradom (*salamandra*) v Freyerjevem bogato ilustriranem študentskem prepisu J. C. Vanderbeegove knjige *Das geheime Buch der Weisheit zur Langen Leben und Vollkommenen Reichtum* (1739) (SI_AS 863 š. 1)

sodobnim slovenskim, pa je bil 3. 12. 1669 dokončno odslovljen iz idrijskega rudnika. Pomagal ni niti nečak Benedetto Odescalchi (* 1611), ki mu je leta 1674 blagoslovil temeljni kamen cerkve ob Abondijevem gradu Oberkindberg, čeprav je Benedetto dve leti pozneje pisal papežu Inocentu XI.

Preiskavo proti Abondiju je vodil leta 1664 nastavljeni majordomo Wenzel Franc Lobkowitz (Vencelj Evzebij, * 20. 1. 1609 Praga; † 22. 4. 1677 Ravnitz (Roudnitz, Rudnice) ob Labi v okraju Letimeritz/ Litoměřice), ki je istočasno z dunajskega dvora izpodrinil tudi prvega pomembnejšega kranjskega vakuumista Janeza Vajkarda kneza Turjaškega. Bil je to čas velikih trenj ob Zrinjsko-Frankopanski zaroti, ki so jo spomladi 1670 končali z obglavljenji hrvaških in ogrskih plemičev.



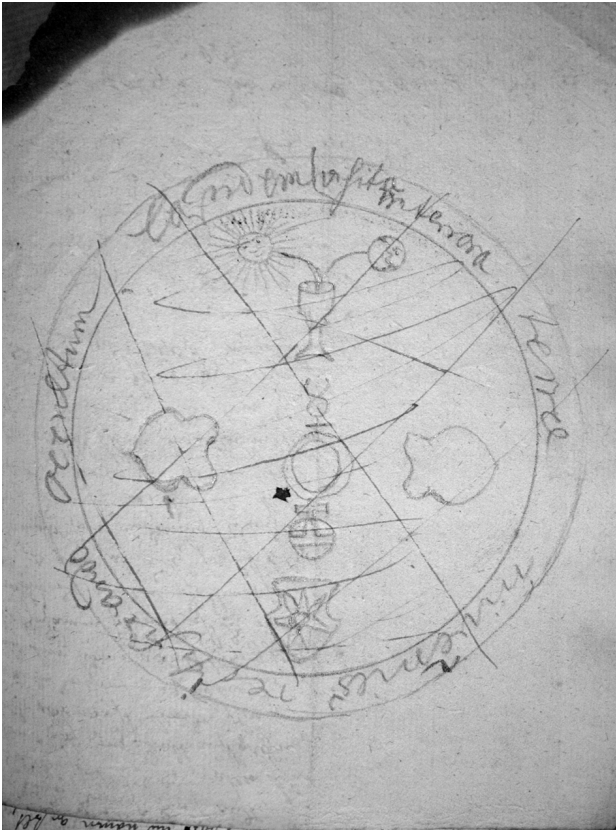
Slika 3: Freyerjeva Sonca, ki sijeta na vodnjak izvir v Freyerjevem bogato ilustriranem študentskem prepisu J. C. Vanderbeegove knjige *Das geheime Buch der Weisheit zur Langen Leben und Vollkommenen Reichthum* (1739) (SI_AS 863 š. 1)



Slika 4: J. C. Vanderbeegova naslovnica knjige, iz katere je Freyer prepisoval in prisoval.

Edini resni tekmeč idrijskega živega srebra je bil španski rudnik Almadén, kjer je država prav tako leta 1645 odvzela pooblastila mogočnim bančnikom Fuggerjem, da je lahko sama prevzela upravo. K povečanemu povpraševanju po idrijskem živem srebru je veliko pripomoglo zgodnje navdušenje nad živosrebrnimi vakuumskimi barometri. Čeprav poraba zanje količinsko niti približno ni dosegala potreb po amalgamih za čiščenje srebrove rude, je prinašala znanstvena uporaba živega srebra kot vselej izjemen prestiž.

Učenjaška uporaba živega srebra pa se seveda ni začela z vakuumskimi barometri, temveč je bilo živo srebro vseskozi temeljni element alkimijskih transmutacij, ki so se jih lotevale tudi okronane glave od cesarja Rudolfa II. (* 1552; † 1612) dalje vse do Leopolda I. Alkimisti so pri destilaciji svojih zvarok uporabljali vakuumske tehnike, predvsem ločilno (frakcionarno) vakuumsko destilacijo, ki jo je verjetno odkril grški maloazijski alkimist Padanius Discorides (* okoli 40; † 90). Bil je vojaški kirurg čudnega cesarja Nerona. Opazil je kondenzirano snov na pokrovu posode, v kateri je segreval živo srebro v Rimu. Tehnike frakcionirne destilacije pri nižjih tlakih so nato razvijali drugi alkimisti

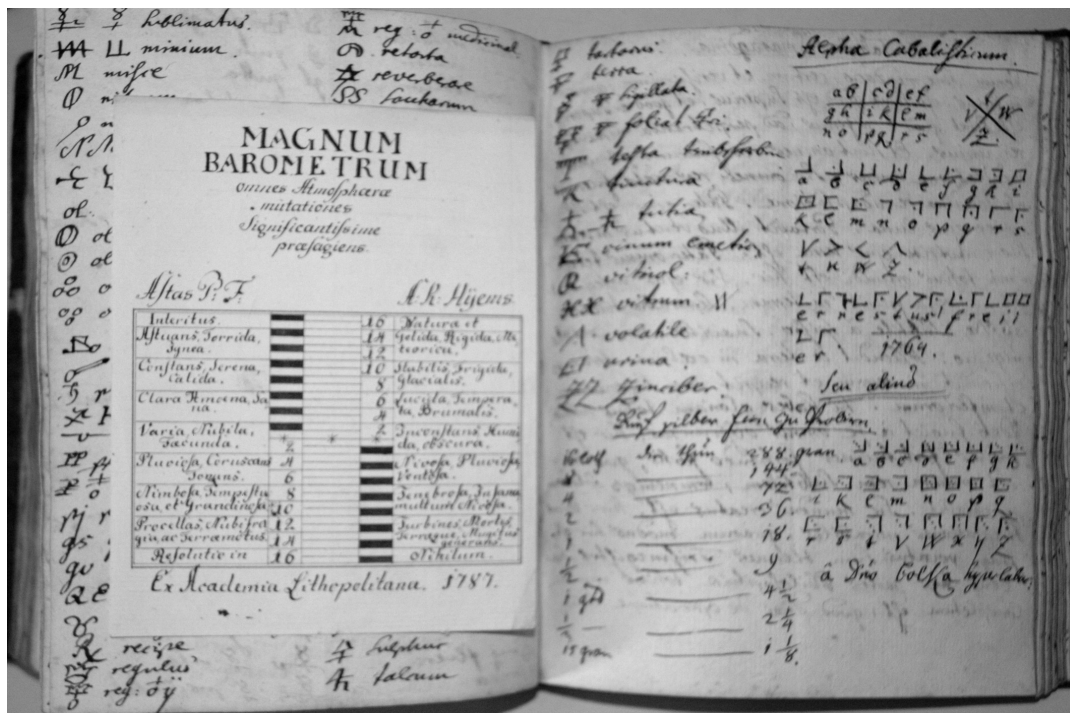


Slika 5: Freyerjeva simbolična skica destilacijskih postopkov v njegovi rokopisni knjigi, datirani leta 1751 v Ljubljani, z naslovom Radovednosti (*Curiositas cujus generis seu curiosa na(tur)ae miracula*) (SI_AS 863 Zapuščina Freyerjev, š. 1)

farmacevti, v Idriji predvsem ustanovitelj tamkajšnje lekarne Čeh Ernest Freyer, začetnik najpomembnejše dinastije slovenskih lekarnarjev, s svojim sinom Karlom in vnukom Henrikom.

Freyer se je vakuumske destilacije priučil že doma v Žatcu, ki je pradomovina varjenja dobrega piva. Med letoma 1751 in 1753 se je lekarnarskih veščin učil v ljubljanski apoteki Franca Karla pl. Weinhardta (Weikhard, Weykhard, * 1703; † 12. 6. 1768 Ljubljana) na Novem trgu št. 2 (danes Jurčičev trg št. 2), ki je hišo kupil leta 1740. Weinhardt je med epidemijo pegavca leta 1752 oskrboval Idrijo z vakuumsko destiliranimi zdravili ob Freyerjevi pomoči.

Weinhardt je bil tudi sicer poslovno nadvse uspešen, saj je 14. 2. 1754 v Ljubljani iztožil celo slovitega kiparja Francesca Robba (* 1698; † 1757) za neplačana zdravila v znesku 41 gld in 33 kr s 6-odstotnimi obrestmi.³ Franc Karl Weinhardt je imel tudi hišo v Čevljarski ulici št. 2, apoteko na današnjem Jurčičevem trgu št. 2 pa je vodil do leta 1665, ko jo je prevzel njegov sin iz zakona z Marijo Klaro zdravnik Karl Avguštin Weykard (* 24. 8. 1736 Ljubljana) do leta 1785 in nato do 21. 9. 1844 lekarnar Jožef Filip (Philipp).⁴



Slika 6: E. Freyerjev prepis Snuderjevega dela, v katerem se je ohranil opis velikega živosrebrnega vakuumskega barometra izpod peresa Ernestovega sina in pomočnika Karla Freyerja po dopisu iz leta 1787 akademije Lithopolitana (švicarski Stein am Rhein ali pa Peterburg) (Johan Monte Snyder, *Universae Medicinae* (ur. Berlich), Götz, Frankfurt, Leipzig, 1678. Privezani v Joannes de Monte Snyders (Snyder, okoli 1625–1670), *Metamorphosis planetarum: dass ist, Eine wunderbahrlliche Veränderung der Planeten, und Metallische Gestalten in ihr erstes Wesen ...* (ur. Berlich), Tobias Oehrling, Franckfurt, 1684 (prva izdaja 1663) (SI_AS 863 š. 2)

Weinhardtova lekarna je imela v Ljubljani že stoletno tradicijo in ustrezno kvalitetno vakuumsko destilacijsko opremo, potrebno za proizvodnjo ekstraktov zdravil. V južnem delu apoteke na današnjem Jurčičevem trgu št. 2 je med letoma 1622 in 1629 deloval lekarnar Valentin Ciriani. Od 1652/54 do 1661 je apoteko razvijal lekarnar Ludovik Hauenstein (Hauenstain) skupaj s svojimi dediči do leta 1672; sledil mu je lekarnar irskega rodu Janez Jurij Tosch do leta 1694, nato pa njegovi potomci do leta 1705. Tedaj sta apoteko kupila lekarnar Janez Peter Sartori in njegova soproga Ana Eleonora, ki sta leta 1717/18 kupila še sosednjo severno hišo Karla pl. Samburga (Sameburg) in obe stavbi združil v enotno veliko lekarno, če že ni to storil njun naslednik Weinhardt leta 1752. Severna hiša je prav tako imela lekarniško tradicijo, saj je v njej od 17. 3. 1588 do leta 1618 deloval lekarnar Vincenc de Agnelatti, za njim pa dediči Janez, Jeronim, Vincenc in drugi do leta 1645.

Lekarnar Janez Peter Sartori in njegova žena Ana Eleonora sta imela v Ljubljani več otrok, za botra pa jim je bil 18. 7. 1714 sin in dedič R. Galileijevega ljubljanskega stanodajalca Janeza Krstnika Peteka, oskrbovalec Vojne Krajine Hans Adam von Petteneckh Pöttickh (* 1640/1645; † 1705). Dne 26. 6. 1715 sta si za botro izbrala njegovo soprogo Marijo Ano Petteneckh, rojeno Wisethal.⁵ Adam Petteneckh je imel veliko knjižnico z deli o medicini, farmaciji in kemiji, hranil pa je tudi srebrni kompas,⁶ analogno računalno, izdelano v delavnici Galilea Galileija.



Slika 7: Pisec teh vrstic med predavanjem o Boškoviću in Volti v nekoč Voltovi predavalnici univerze v Pavii dne 10. 9. 2011

Franc Karl Weinhardt je svojo ljubljansko apoteko prevzel od lekarnarja Janeza Petra Sartorija, sorodnika Inzaghijevega predhodnika na položaju predstojnika idrijskega rudnika Antona Sartorija. Anton Sartori je prevzel idrijski rudnik leta 1754; ker je nujno potreboval lekarnarja, mu je znanec Franc Karl Weinhardt priporočil svojega učenca Ernesta Freyerja. S Freyerjevim prihodom so postopki vakuumske destilacije postali stalnica idrijskega rudnika. Ko je Anton Sartori konec leta 1764 nenadoma umrl, je novi idrijski direktor Inzaghi seveda podedoval tudi Sartorijevega farmacevta Freyerja.

S prevzemom uprave idrijskega rudnika Franca Janeza grofa Inzaghija (* 1734; † 1818) se je začela nova doba uporabe idrijskega živega srebra v znanstvene namene. Bil je namreč mrzli bratranec matere Alessandra Volta, ki je po prepovedi jezuitov predaval v Comu (1774) in nato v Pavii (1778/79) skupaj s Scopolijem. Obe mesti sta bili tedaj v isti habsburški državi skupaj s Kranjsko. Skupno žezlo je omogočilo hitro nabavo Voltovih izumov v Ljubljani in Idriji ter urno odpošiljanje idrijskega živega srebra za barometre in druge vakuumske naprave Voltovega laboratorija.

Voltov oče je bil nekaj časa jezuit in tudi A. Volto je med šolanjem pri jezuitih zamikala redovna preobleka. Tudi Inzaghi je tesno sodeloval z ljubljanskimi jezuiti. Gmotno je podprl natis izpitnih tez Ločana Martina Prennera pri ljubljanskemu jezuitskemu profesorju fizike Gregorju Schöttlu. Teze so temeljile na Boško-



Slika 8: Pisec teh vrstic med debatami z italijanskimi učenci po predavanju o Boškoviću in Volti pred nekoč Voltovim rektoratom univerze v Pavii dne 10. 9. 2011

vičevemu nauku vakuuma in atomov, ki ga je občudoval tudi Volta. Natisnili so jih leta 1769 v Ljubljani skupaj s knjigo o kemijskem ozadju fosforescence torinskega profesorja eksperimentalne fizike s kemijo od leta 1747, Boškovičevega prijatelja piarista Giambattista Beccaria (* 1716; † 1781).

Volta je kmalu po izumu spomladi 1777 poslal svoje zadnje objave o gorljivih »zrakih« in svoj vakuumski izum pištolo eudiometer cesarjevemu bratu princu Karlu Lotarinškemu, amaterskemu električarju in Boškovičevemu prijatelju, ki ga je v Bruslju spovedoval A. Hallersteinov brat, kranjski jezuit Janez Vajkard Hallerstein.⁷ Ljubljanci so si pred letom 1779 privoščili tudi *Parometer*, ki ga je Ambschell leta 1785 preimenoval v *merilnik zraka*. Gotovo je šlo za Ingenhouszovo oziroma Voltovo izboljšavo eudiometra, namenjenega merjenju tako imenovane dobrote zraka po izumu Marsilia Landrianija (* 1751; † 1815) iz leta 1775.

Prostozidar in cesaričin zdravnik Jan Ingenhousz (* 1730; † 1799) si je leta 1769 in 1789 dopisoval z B. Hacquetom. Le-ta je z Ingenhouszovim eudiometrom, polnim natrijevega nitrita iskal vzroke samovžigov v visokogorju; bržkone si je izposodil kar šolsko napravo, vmes pa je pisal tudi idrijskemu farmacevtu E. Freyerju, čeprav nista bila v dobrih odnosih.⁸ Eudiometer je postal posebno priljubljen v Voltovi predelavi za električno pištolo. Dva eudiometra za kemijske sinteze in električno pištolo je uporabljal ljubljanski profesor Janez Krstnik Kersnik (* 1783; † 1850) leta 1811.⁹

Voltova mati Marija Maddalena in idrijski upravitelj Franc Janez Inzaghi sta bila otroka bratrancev in kljub razdaljam v tesnem stiku. Tako je Volta graške Inzaghije konec avgusta 1794 povabil na svojo poroko, ne da bi vedel za smrt Franza Antona Inzaghija (* 1719; † 1791), starejšega brata donedavnega idrijskega upravitelja Franca Janeza Inzaghija. Franc Janez Inzaghi je Volti dne 10. 9. 1794 čestital k brhki nevesti iz Coma, Mariji Terezi Peregrini.¹⁰ Vzela sta se slaba dva tedna pozneje, da je Volta lahko pozabil na dolgoletno afero s pariško igralko.

Franc Janez Inzaghi je vodil proizvodnjo idrijskega živega srebra v času, ko je Volta živo srebro uporabljal v barometrih za svoje poskuse s plini, še posebej pa v »fizikalnem teatru« tedaj

habsburške univerze v Pavii, kjer se je leta 1779 pridružil dve leti prej nastavljenemu Scopoliju. Scopolijeve in Inzaghijeve zveze z Idrijo so seveda zgladile dobave živega srebra za pavijske znanstvenike. Leta 1784 je Volta obiskal Dunaj, habsburški oblastniki pa so mu darovali pomembno količino idrijskega živega srebra za poskuse v »fizikalnem teatru«, ki je bil v grobem končan leta 1788. V letih 1790 in 1791 je Antonio Cetti (* 1752; † 1835) več tednov v Pavii izdeloval Voltove termometre, barometre in podobne naprave, polnjene z idrijskim živim srebrom, duhovnik Angelo Bellani (* 1776 Monza; † 1852 Milano) pa je pozneje dodal druge.¹¹

Inzaghiji so bili izjemno izobraženi; njihovo tehniško nadarjenost je podedoval tudi Alessandro Volta (* 1745) po svoji materi Mariji Maddaleni Inzaghi, mrzli sestrični idrijskega upravnika Franca Janeza Nepomuka Inzaghija. V Gradcu so Inzaghiji zbrali mogočno knjižnico, kjer so v knjige radi vpisovali lastne domislice. Med drugim so imeli prvi izdaji Valvasorjeve *Slave in Topografije*, Guerickejevo *Experimenta nova* (1672) s privezom J. Chr. Steebovo (1679) *Coelum Sefhioticum Hebraeorum*, A. Kircherjeve *China* (1771 z Inzaghijevimi marginalijami in lastniškim vpisom), *Mundus Subterraneus* (Inzaghijev izvod 1678) in *Magnes sive de Arte Magnetica* (1654 Inzaghijev izvod z lastniškim vpisom).¹² Za Inzaghijeve kemijske interese je bila odločilnega pomena knjiga Otta von Guerickeja o izumu vakuumske črpalke in prvih meteoroloških prognozah z uporabo barometra, polnega idrijskega živega srebra. Podobno zanimivo je bilo Kircherjevo ne vselej neporečno pisanje o kemiji podzemlja in magnetov.

3 IDRIJSKI LEKARNAR

Inzaghijev idrijski lekarnar je bil med letoma 1754 in 1795 Ernest Freyer (* 1730 Žatec (Saaz, Satz) ob Ohri v Sudetih; † 1795 Idrija št. 136).¹³ Johan Jakob Becher je bil med najbolj priljubljenimi Freyerjevimi pisci; Freyer je nabavil njegovo alkimijo, imenovano *De secretis alchemiae Briefe*,¹⁴ *Physica Subterranea Opus Sine Pari Lipsiae*: Weidmann, 1738 in *Chemische Schriften*.¹⁵ E. Freyer je ročno prepisal knjigo Becherjevega dunajskega sodelavca Wilhelma von Schröderja (* 1640 Prešov na Slovaškem; † 1688): *Nothwendiger Unterricht vom Gold-*

Tabela 1: Voltovo sorodstvo z vodjema idrijskega rudnika

1	Abundus Maria Inzaghi + Maria Magdalene Morelli von Schoenberg	okoli 1615, Como	poroka: 29. 9. 1644, Gradec	3. 1. 1691, Gradec 17. 6. 1685
2	Johann Philipp Inzaghi + Anna Maria Katarina baronica Würtzburg	okoli 1645	poroka: 25. 11. 1675	1. 3. 1729, Gradec 13. 11. 1696, Gradec
3	Maria Rosina Theresa Inzaghi + Johan Josef baron Webersberg	10. 10. 1679	poroka: 2. 7. 1702, Gradec	
3	Franc Joseph Balthasar Inzaghi	pred 1685		29. 4. 1685, Gradec
3	Anna Maria Francisca Inzaghi	pred 1687		5. 11. 1687, Gradec
3	Franz Xaver Philipp Inzaghi	pred 1688		17. 5. 1688, Gradec
3	Franz Philipp Inzaghi	po 1688		1758
3	Franz Johan Alfonz Eugen Inzaghi	12. 4. 1689, Gradec		1. 1. 1760, St. Lambrecht
3	Carl Franz Inzaghi + Anna Maria von Gaisruck	16. 11. 1677, Gradec 8. 2. 1690, Gradec	poroka: 1708–1713	16. 11. 1744, Gradec po 1734, Gradec
4	Franc Karl Dizma Sebastian Polykarp Inzaghi	26. 1. 1714, Gradec		
4	Franz Anton Inzaghi	1719		1790–1791
4	+ Karolina Thurn Valsassina	1715–1716		17. 5. 1781
4	Maria Anna grofica Inzaghi	pred 1723		7. 3. 1723, Gradec
4	Abundus Inzaghi	pred 1729		15. 5. 1729, Gradec
4	Franz Philipp Inzaghi	25. 5. 1731, Gradec		3. 12. 1816, Solkan
4	Franz Borgia Johan Nepomuk Inzaghi Kindberg	27. 4. 1733, Gradec		13. 1. 1818, Gradec
5	+ Walpurga (Maria) Dietrichstein	11. 9. 1753, Gradec	poroka: 1773	7. 1. 1794, Gradec
5	Maria Dismas Josef Johann Valentin Neri Inzaghi	15. 7. 1774, Idrija		26. 4. 1775, Idrija
5	Teresa Maria Ana Josefa Aloisia Serafina Inzaghi	24. 12. 1775, Idrija		11. 9. 1778, Idrija
5	Karl Borromäus Rudolf grof Inzaghi	5. 12. 1777, Idrija		17. 5. 1856, Gradec
5	+ Maria Elisabet Rosalia Attems	11. 11. 1777	poroka: 3. 5. 1818, Gradec	1. 9. 1844
5	Philipp Inzaghi	15. 8. 1781, Idrija		1857, Ober-Rindberg na Štajerskem
5	Maria Johann Josef Valentin Klemen Franz Inzaghi	3. 7. 1783, Idrija		28. 9. 1783, Idrija
5	Maria Franz Anton Serafin Johan Inzaghi	9. 3. 1785		
5	Emanuel Maria Josef Barbara Valentin Ana Inzaghi	5. 8. 1786, Idrija		12. 9. 1786, Idrija
5	Maria Johan Valentin Filip Franz Erasmus Inzaghi	28. 5. 1788		
5	Maria Franciska Serafine Walburg Barbara Inzaghi	27. 7. 1790		
5	Aloysia Inzaghi	27. 11. 1793, Gradec		23. 3. 1879
5	+ Ignaz Maria Weikhard Probus Alois Franz Attems	24. 2. 1774		17. 12. 1861
	2. žena Franza Borgia Johana Nepomuka Inzaghija Kindberga			
5	+ Rosalia Attems	19. 10. 1761, Gradec	poroka: 19. 1. 1794, Gradec	14. 2. 1841, Gradec
5	Giuseppe Inzaghi	1794		
5	Maria Louise Inzaghi Kindberg	27. 11. 1794, Gradec		
5	+Ignaz Attems		poroka: 18. 4. 1814	17. 12. 1861
5	Maria Inzaghi Kindberg	20. 8. 1799, Gradec		po 1840, Brno
5	Maria Anna Inzaghi Kindberg	5. 3. 1801 Gradec		po 1840, Innsbruck
4	Franz Xaver Karl Disma Seraphin Germanus Inzaghi + Paula	20. 1. 1735, Gradec		
5	Karoline Inzaghi			
3	Franc Ignaz Inzaghi Kindberg	2. 1. 1691		1768
3	Maria Karola Inzaghi	pred 1699		20. 4. 1699, Gradec
2	Inzaghi	okoli 1645		Como
3	Giuseppe Inzaghi	okoli 1675, Como		Como
4	Giuseppe Inzaghi			
4	Maria Maddalena Inzaghi + Filippo Volta	okoli 1713 1692	poroka: 8. 9. 1733	1782 1752
5	Marianna Volta			
5	Giuseppe Volta			

5	Giovanni Volta		
5	Cecilia Volta		
5	Chiara Volta		
	+ Ludovico Reina		
5	Alessandro Volta	18. 2. 1745, Como	1827
	+ Maria Teresa Peregrini	Como	poroka: 22. 9. 1794
5	Luigi Volta		
2	Johann Anton Inzaghi	1666	po 1686
2	Johann Josef Inzaghi	okoli 1646	po 1697, Gurinz
2	Maria Theresia Inzaghi	pred 1655	19. 3. 1655, Gradec
2	Maria Magdalena Inzaghi	pred 1655	18. 5. 1655, Gradec
2	Maria Elisabetha von Inzaghi	Pred 1656	29. 4. 1656, Gradec
2	Maria Johana Inzaghi	27. 5. 1664 Gradec	
	+ Karl Josef grof Herberstein		poroka: 24. 11. 1684
2	Franz Karl Inzaghi	okoli 1668	1744

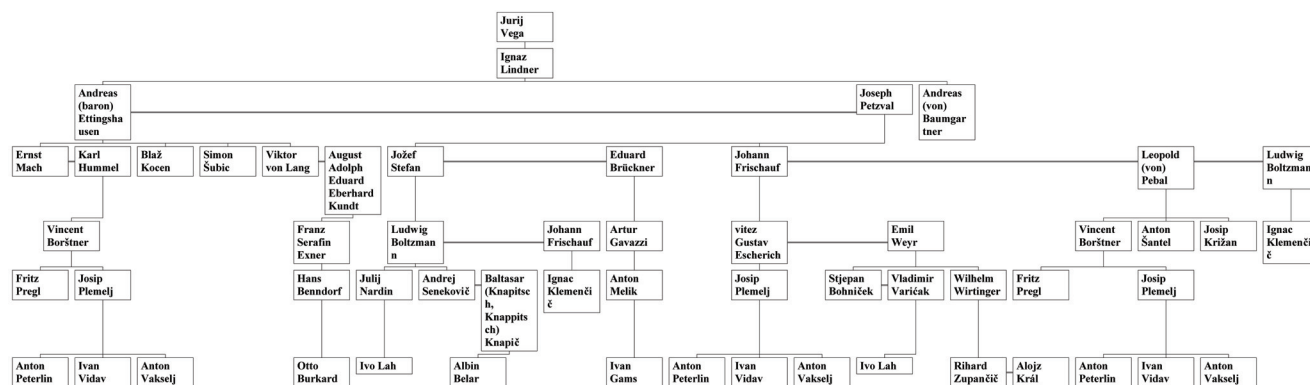
machen, denen Buccinatoribus oder so sich selbst nennenden foederativ hermeticis auf ihre drey Epistel zur freundlichen Nachricht. Knjiga je izšla leta 1684, Freyer pa je uporabil natis iz leta 1721 o javnih financah in alkemiji pod naslovom: *Wilhelm Freyh. von Schrödern Fürstliche Schatz- und Rent-Cammer: nebst seinem Tractat vom Goldmachen wie auch vom Ministrissimo oder Ober-Staats-Bedienten* (Leipzig: T. Fritsch).

Mladi Schrödern je dne 3. 4. 1661, 6. 6. 1661 in 9. 6. 1662 poročal Gasparju Schottu iz Londona o Boylovih vakuumskih črpalkah in drugih napravah. Pisma je Kircherjev učenec Schott¹⁶ objavil ob prvem opisu Guerickejeve vakuumske črpalke. Freyer je prepisal še *Conspectvs Chemiae Theoretico-Practicae: Tomus ... In Forma Tabvlarvm Repraesentatvs, In Qvibus Physica, Praesertim Svbtterranea, Et Corporvm Natvralivm Principia, Habitvs Inter Se, Proprietates, Vires Et Vsvs, Itemqve Praecipva Chemiae Pharmaceuticae Et Mechanicae Fvndamenta E Dogmatibus Becheri Et Stahlil... Explicantur...* (Halaе Magdenburg: Orphanotropheum, 1730). Sestavil jo je Johann Juncker

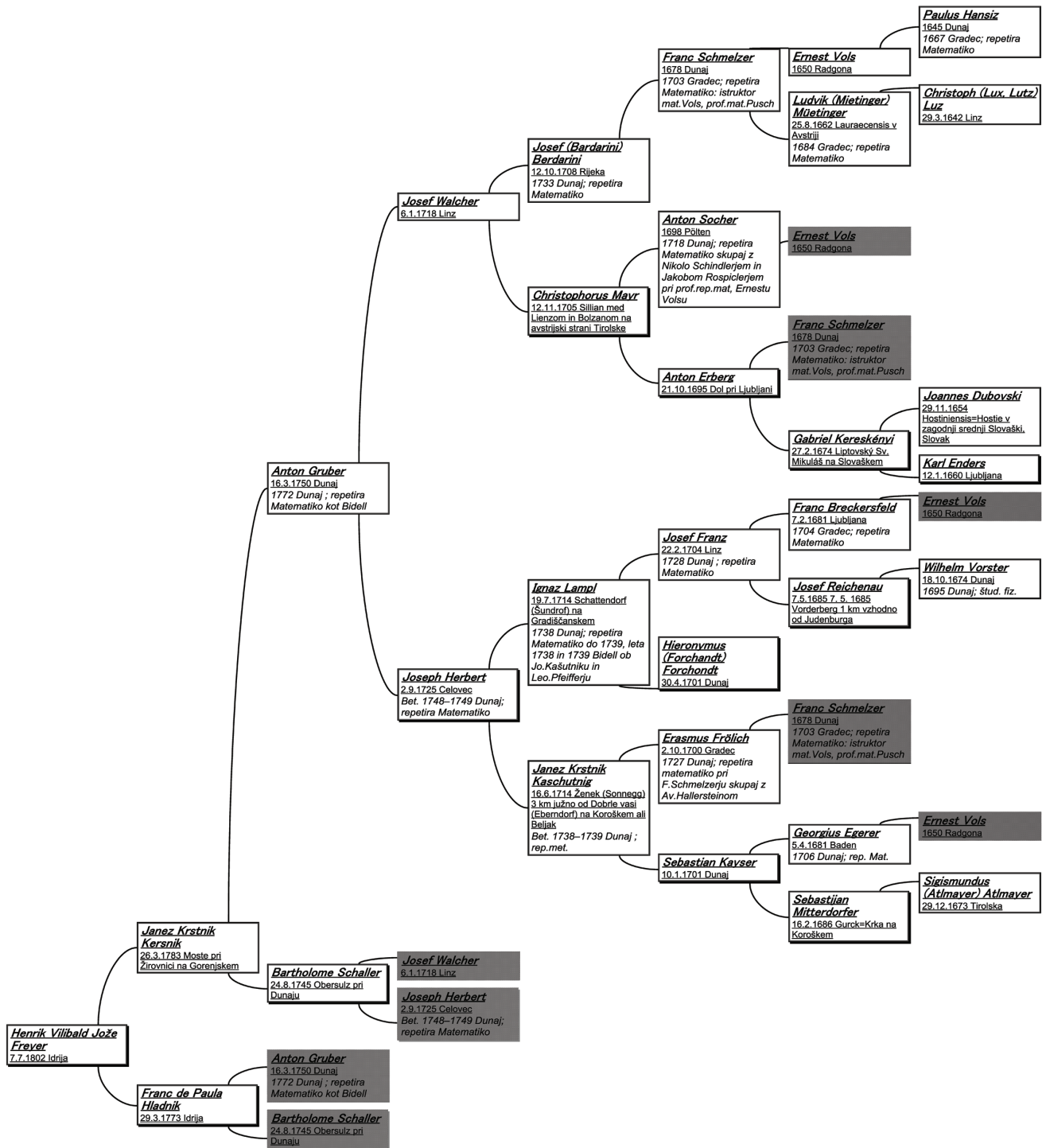
(* 1679 Londorf; † 1759 Halle) ob pomoči Junckerjevega predhodnika na katedri za medicino v mestu Halle Georga Ernsta Stahla (* 1660 Jena; † 1734 Berlin) na osnovi razmišljanj dunajskega alkimista gospodarstvenika Johanna Joachima Bechera (* 1635 Speyer, † 1682 London).

Freyer je narisal številne alkimistične simbole za ponazoritev spajanja elementov. Očitno se je zanimal za osem desetletij starejša dunajska merkantilista in kamentalista Schröderja in Becherja, še bolj pa za sodobno skandinavsko kristalografijo in farmacevtsko botaniko ljubljanskih in graških jezuitov. Freyer je stoletje po praškem Rudolfovem dvoru še nadalje gojil tamkajšnjo alkimistično tradicijo.

Zveza z ljubljansko visoko družbo je bila nujna, da je štiriindvajsetletni E. Freyer lahko postal začasni vodja lekarne v Idriji po ukazu ministra G. van Swieten, čeprav je Janez Anton Scopoli (* 1723; † 1788) dne 20. 1. 1755 preko direktorja Sartorija prosil, naj kar njemu dunajski dvor dovoli pripravljanje zdravil in vodenje lekarne ob dodatni plači 800 fl letno. Dne 20. 9. 1754 Sartori ni podprl Scopolija, saj naj bi



Slika 9: Freyerji in drugi slovenski uporabniki vakuumskih tehnik skozi stoletja



Slika 10: Profesorji Henrika Freyerja

tedanji zdravniki ne oskrbovali svojih bolnikov z zdravili. C. Weinhardt je Sartoriju ponudil opremo in oskrbo lekarne po nižjih cenah 400–500 fl letno. Prav tako mu je obljubil preskrbeti izkušeno osebo za vodjo lekarne. Neimenovani strokovnjak je bil gotovo Ernest Freyer, ki se je domnevno tiste dni udinjal kot kandidat za prvi nastop (tironcinium) pri Weinhardtju.

Scopoliju se ni posrečilo zase pridobiti lekarno na Freyerjev rovaš, v prihodnosti pa sta dobro sodelovala. Scopoli je seveda skušal tako Freyerju kot Hacquetu naprtiti nekaj svojega dela, vendar sta se mu drug za drugim postavila po robu. Seveda je bila med Scopolijem in Freyerjem velika družbena razlika, še večja pa med Scopolijem in Inzaghiem. Socialne ravni dobro orisujejo botrstva otrokom, saj pri plemiških

krstih ali porokah Freyer ni bil udeležen. Po drugi strani je leta 1783 Inzaghijev sorodnik Volta opisal eudiometer za Scopolijev razširjeni prevod Slovarja kemije Pierra Josepha Macquerja, kar si je mladi Volta tisti čas gotovo štel v čast.

Gregor Schöttl je prevzel katedro za fiziko s kemijo v Ljubljani dne 22. 10. 1768 vzporedno z G. Gruberjevim prihodom na kolegij. Naslednje leto je Schöttl postal profesor moralne teologije, profesor filozofije in spovednik. Ob prihodu v Ljubljano je G. Schöttl daroval jezuitski knjižnici knjige, v katero so vpisali nedatiran ekslibris »*In Soc. Bibl. Phil. Coll. Lab. S.J. Dono P. Greg. Schöttl*«. Med podarjenimi deli je bila rodoslovna raziskava o (pokneženih) grofih Celjskih, vezana ob izpitne teze, ki jih je branil kanonik Halberstadta in Hildesheima baron Edmund Brabeck, slušatelj drugega letnika filozofije, matematike in zgodovine pri profesorju fizike, numizmatiku Erasmusu Frölichu (Fröhlich, * 1700 Gradec; † 1758 Dunaj) na Terezijanišču. Fröhlich je bil član *Societas incognitorum eruditorum in terris Austriacis*, ki jo je od leta 1746 do 1751 v Olomucu vodil Joseph Leopold baron Petrasch (Petráš, * 1714 Slavonski Brod; † 1772 Neuschloß na Moravskem) skupaj z Gerardom van Swietenom in profesorjem matematike v Olomucu Josephom Lewaldom.

Pri posebni fiziki se je Fröhlich zanimal za ogenj, fosforescenco, podzemne ognje, termometer, težo ozračja, živosrebrni vakuumski barometer podoben sifonu, higroskop, vodomete, deklinacijo in inklinacijo magnetov ob sklicevanju na Boškovića, pare, meglice, dež, halo, mavrico, svetlobo in širjenje elektrike. Obravnaval je toploto morja in zmrzovanje, vrste zemelj oziroma kovin, magnetov z deklinacijo in inklinacijo ter pri tem še posebej poudaril mnenje tedaj še razmeroma mladega Boškovića o magnetih. Ta zgodnja omemba Boškovića kot edinega med novodobnimi pisci uvršča tako Frölichu kot G. Schöttlu med njegove zgodnje zagovornike. Fröhlich je posebej opisal elektriko brez povezave z magneti; opisal je privlak, odboj, svetlobo in širjenje elektrike.¹⁷

G. Schöttl je bil zagovornik Newtonovega nauka v Boškovićevo obliki, kar je bilo običajno med jezuiti njegove dobe. Obravnaval je vakuum in pore v telesih.¹⁸ Študente je spraševal, ali so vsa telesa porozna in kolikšna je velikost in oblika

por. Treba je bilo poznati kartezijansko, Epikurjevo, Gassendijevo, Newtonovo in Leibnizovo mnenje o porah.

4 SKLEP

Upravnik idrijskega rudnika Inzaghi je kot bližnji sorodnik Alessandra Volte med prvimi podpiral Voltove vakuumске novotarje na ozemlju današnje Slovenije. Gmotno je podpiral Volti naklonjene natise ljubljanskih jezuitov. V Inzaghijevem času so ljubljanski jezuiti izjemno hitro nabavljali Voltove izume, še posebej Voltovo pištolo (eudiometer). Sodelovanje pa je potekalo v obeh smereh še posebej po Voltovem prevzemu katedre v Pavii, kjer je poučeval tudi nekdanji idrijski zdravnik Scopoli. Za prenovo pouka v Voltovi Pavii, ki sta ga podpirala cesar Jožef II. in poglavitni lombardijski gospodarstvenik po letu 1765 koprski grof Gian Rinaldo Carli (* 1720; † 1795), so namreč potrebovali razmeroma velike količine dobrega prečiščenega idrijskega živega srebra v termometrih in barometrih. Številnim izboljšavam pridobivanja idrijskega živega srebra je botroval Inzaghijev farmacevt Ernest Freyer.

5 Literatura

- [1] F. Gestrin, Italijani v slovenskih deželah od 13. do 17. stoletja, *Zgodovinski časopis*, **1981**, 35/3, 234
- [2] *Heritage of Mercury Almadén Idrija*. Ljubljana, **2012**, 193, 229, 236–237
- [3] R. Andrejka, Zgodovina kramarskih hišic v Prešernovi ulici, *Kronika*, **1938**, 5/1, 19
- [4] Vladislav Fabjančič, Ljubljanski Frankoviči v 16. in 17. stoletju (nadaljevanje). *Kronika*, **1940**, 7/2, 142–150 in 206–214, tu str. 149, 213; Ludwig Schiviz von Schivizhoffen, *Der Adel in der Herzogthum Krain*. Graz, **1905**, 76, 202
- [5] Ivan Vrhovec, Zgodovina šentpeterske fare v Ljubljani, **1903**, str. 43; Schiviz, **1905**, 43, 51, 55
- [6] AS 309, Petteneghk 23. 1. 1705, Fasc. 35, š. 85, litera P, str. 18–31, 100–104
- [7] G. Pancaldi, *Volta: Science and Culture in the age of Enlightenment*, **2005**, 29, 105, 152, 155; R.W. Home, *Volta's English Connection. Nuova Voltiana*, **2000**, 1, 128–129
- [8] J. Pfeifer, *Zgodovina idrijskega zdravstva*, Idrija, **1989**, 73
- [9] ZAL LJU 184 akc. fond 1, š. 52, mapa 179, 7 v št. 20; LJU 184, š. 53, 14. naprava na strani 8, ki je bila 10. med pripomočki za toploto in elektriko (Eudiometre) ter prva električna naprava (Pistolletes (sic!) electricques)
- [10] A. Volta, *Epistolario 1788–1800* (ur. F. Massardi), Bologna, **1952**, 3, 224
- [11] Giuliano Bellodi & Paolo Brenni, The »Arms of the Physicist«: Volta and Scientific Instruments, *Nuova Voltiana*, **2001**, 3, 14–15, 21, 27
- [12] *Rare and valuable books, incunabula, woodcutbooks, important library-works. Books on the fine arts comprising duplicates of the Imperial (National) Library, Vienna, the library of the counts Inzaghi, and other purchases recently added to our stock*. Dunaj, **1923**, 2, zadnje 3 strani

- [13] J. Pfeifer, Zdravstveno in socialno varstvo idrijskih rudarjev, *Idrijski rudnik skozi stoletja* (ur. N. Zupančič; J. Žontar), Idrija-Ljubljana, **1990**, 77; F. Minafič, *Zbrana dela*. Maribor, **2000**, 193
- [14] SI_AS 863 š. 3, *Beschreibung meiner im Besitz habende Bücher* 29. 4. 1790 (Freyerjeve knjige) **1790** 1^v, neoštevilčeno št. 3 (Wecker, sic!)
- [15] SI_AS 863 š. 19 Freyerjeve knjige 25. 1. 1835, št. 55, 56
- [16] *Technica Curiosa*, **1664**, 371–372
- [17] E. Frölich, *Genealogia Sounekiorum comitum Celejæ, et comitum de Heunburg specimina duo conscripta ab Erasmo Froelich, S.J. Mariae Theresiae Augustae dicata: cum sub Augustis ejusdem auspiciis Edmundus Lib. Baro a Brabeck Hildesiensis, et Halberta-*
- densis Canonicus ex Philosophis, historicae & mathematicis disciplines in Collegio Regio Theresiano S. J. publice respundares...privezano: Materia tentaminis publici : quod in Collegio regio Theresiano Societatis Jesu ex anni hujus scholastici praelectionibus quovis, cui libuerit, periclitante subibit reverendissimus & illustrissimus D. Edmundus L. B. a Brabeck, ... mense Septembri ... MDCCLV. Viennae, 1755*, 34–36, 37, 38 (NUK-262; NM-4857/2)
- [18] G. Schöttl, *Tentamen Philosophicum ex Logica, Metaphysica Algebra, Geometria, Trigonometria, Geodesia, Stereometrissa (sic!), Geometria Curvarum, Balistica et Physica, tam Generali, quam Particulari*, Ljubljana, **1775**, teza 13

DRUŠTVENE NOVICE

NAŠE DRUŠTVO JE USPEŠNO SODELOVALO PRI ORGANIZACIJI 16. MEDNARODNE KONFERENCE O TANKIH PLASTEH ICTF-16 V DUBROVNIKU

V Dubrovniku je od 13. do 16. oktobra 2014 potekala 16. mednarodna konferenca o tankih plasteh ICTF-16 (angl. *International Conference on Thin Films*). Konferenco so skupaj organizirala tri vakuumska društva: Hrvaško vakuumsko društvo, ki je bilo glavni organizator konference,

naše vakuumsko društvo DVTS in Madžarsko vakuumsko društvo. Predsednik mednarodnega organizacijskega odbora je bil dr. Nikola Radić z Instituta Ruđer Bošković v Zagrebu, med člani tega odbora pa so bili tudi doc. dr. Janez Kovač, prof. dr. Miran Mozetič in dr. Peter Panjan iz našega društva.



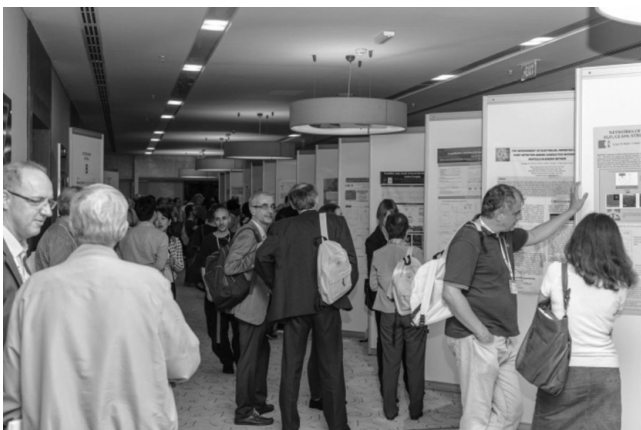
Slika 1: Odprtje konference ICTF-16 v Dubrovniku 13. oktobra 2014. Konferenco so skupaj organizirala tri vakuumska društva, med njimi tudi Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije – DVTS. Predsednik mednarodnega organizacijskega odbora je bil dr. Nikola Radić z Instituta Ruđer Bošković v Zagrebu.



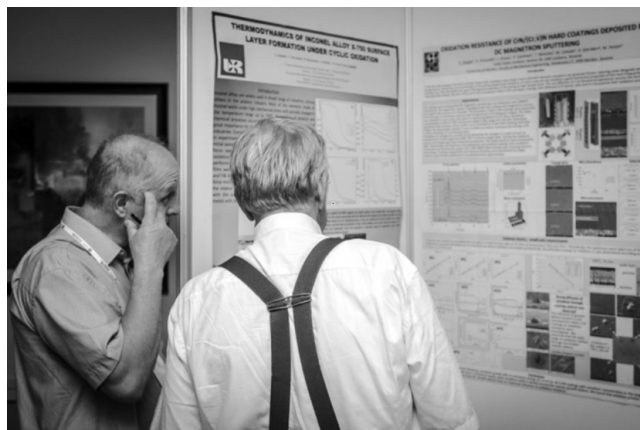
Slika 2: Uvodno plenarno predavanje o grafenu na konferenci ICTF-16 je imel dr. Andre Geim z Univerze v Manchesteru, ki je prejel leta 2010 Nobelovo nagrado za odkritja grafena.



Slika 3: Skupinska fotografija udeležencev konference ICTF-16



Slika 4: Posterske sekcije so bile na konferenci ICTF-16 dobro obiskane.



Slika 6: Dr. Peter Panjan in dr. Siegfried Hofmann, upokojeni raziskovalec iz Max-Planck-Instituta med diskusijo pri posterski sekciji. Njuno sodelovanje traja že dolgo časa.



Slika 5: Zelo zanimivo plenarno predavanje o zgodovini tankoplastnih struktur je imel dr. Joe Greene z Univerze v Illinoisu. V njem je povedal, da je bilo na področju Balkana v preteklosti zelo bogata metalurška tradicija, ki je vključevala tudi tehnologije tankih plasti.

Konferenca se je odvijala v hotelu Libertas Rixos v Dubrovniku in je potekala štiri dni v treh vzporednih sekcijah. Teme na konferenci so bile: modeliranje rasti tankih plasti, interakcija visokoenergijskih delcev s trdo snovjo, interakcija plazme s površinami, struktura večkomponentnih tankih plasti, nanostrukturirane plasti, »pametne« površine, zaščitne plasti v agresivnem okolju, ogljikove plasti iz diamanta, grafena, DLC in organskih polimerov, oksidne tanke plasti, tanke plasti za optoelektroniko, nanoelektroniko in spintroniko, tanke plasti za shranjevanje energije, tanke plasti in površine za biološke aplikacije in inovativne metode za karakterizacijo tankih plasti.



Slika 7: Udeleženci konference ICTF-16 med ogledom znamenitosti starega mestnega jedra Dubrovnika.



Slika 8: Konferenčna večerja za udeležence ICTF-16 je bila v restavraciji Klarisa v starem delu Dubrovnika, kjer je bil prikazan tudi lokalni ples Lindo iz Dubrovnika in okolice.

Konferenca se je udeležilo 320 udeležencev iz 39 držav. Med udeleženci kongresa je bilo tudi šest raziskovalcev iz Slovenije. Kot zanimivost naj omenimo, da je bilo največ udeležencev iz Južne Koreje, kar kaže na razvitost tehnologij,

povezanih s tankimi plastmi, in na veliko priljubljenost Dubrovnika v Južni Koreji. Uvodno plenarno predavanje o materialu grafenu je imel dr. Andre Geim z Univerze v Manchesteru, Velika Britanija, ki je prejel leta 2010 Nobelovo nagrado za odkritje tega materiala. Poleg štirih plenarnih predavanj smo na konferenci lahko spremljali še 18 vabljenih in 106 drugih zanimivih znanstvenih predavanj ter videli 136 posterjev z zanimivimi rezultati.

Na konferenci so bile podeljene tudi nagrade za najboljša predavanja mladim raziskovalcem in eno takšno nagrado je prejel dr. Peter Gselman z Instituta »Jožef Stefan«. Pisni prispevki s konference bodo objavljeni v reviji Thin Solid Films, katere gostujoči urednik ob tej priložnosti je tudi dr. Peter Panjan. Več o konferenci ICTF-16 je mogoče prebrati na spletnem naslovu ictf16.com.

Doc. dr. Janez Kovač,
predsednik DVTS
Slike: ictf16.com

Na mednarodni konferenci ICTF-16 je eno od treh nagrad za najboljšo predavanje mladih raziskovalcev prejel sodelavec Instituta »Jožef Stefan« dr. Peter Gselman.

V predavanju je predstavil del rezultatov svoje doktorske naloge. V okviru doktorata se je ukvarjal s preučevanjem vpliva nekovinskih vključkov v podlagah iz jekla na rast nanoplastne trde prevleke TiAlN/CrN. Izbral je štiri vrste jeklenih podlag: sintrano jeklo ASP30, hitrorezno jeklo M2, orodno jeklo za delo v hladnem D2 in avstenitno nerjavno jeklo 316L.

Z vrstičnim elektronskim mikroskopom je s posnetkov, narejenih s povratno sipanimi elektroni in z metodo EDX, najprej določil vrsto in koncentracijo nekovinskih vključkov na površini zgoraj naštetih podlag. Ugotovil je, da so najpogostejši vključki na osnovi manganovega sulfida, aluminijevega oksida, silicijevega oksida ter mešanih oksidov. Njihova oblika je zelo različna, premer pa 1–20 μm . V svoji doktorski nalogi je poskušal ugotoviti, kaj se zgodi na mestih nekovinskih vključkov po nanosu trde prevleke. Zato je na omenjenih podlagah izbral značilne nekovinske vključke in opazoval topografske spremembe, ki so se zgodile v posameznih fazah priprave prevleke.

Z različnimi tehnikami (AFM, 3D-profilometrija, SEM, FIB, TEM) je analiziral isto mikroskopsko majhno področje na površini podlage po poliranju, po ionskem jedkanju in po nanosu prevleke. Prve topografske spremembe nastanejo že po poliranju, saj je hitrost odnašanja materiala nekovinskih vključkov zaradi njihove večje trdote od trdote osnove manjša. Zato po poliranju nekovinski vključki štrlijo iz podlage (10–20 nm).

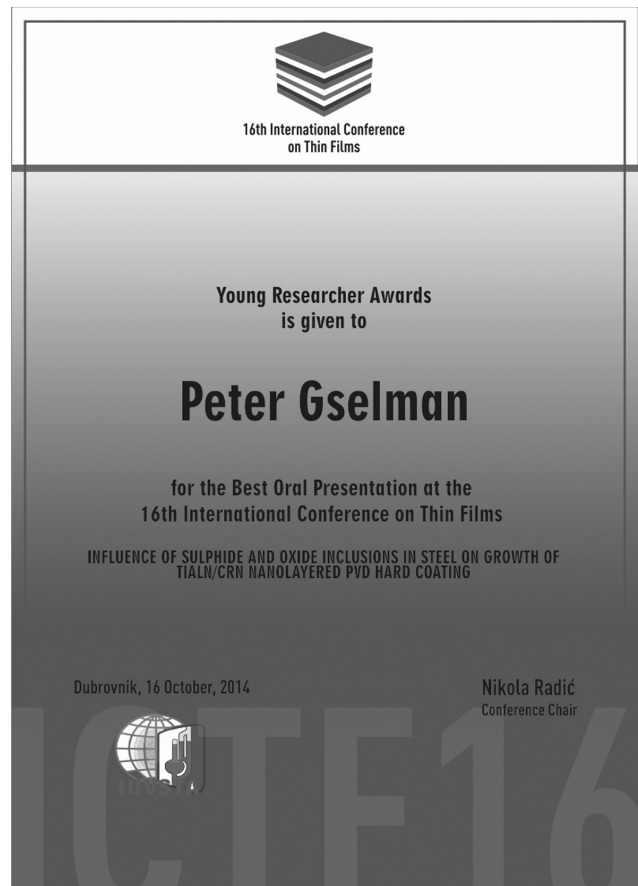
Še večje topografske spremembe nastanejo po ionskem jedkanju, ki je zadnja faza čiščenja podlag pred nanosom prevleke. Razlog zato so velike razlike

v koeficientu razprševanja (jedkanja) materialov različnih vključkov. Tako se npr. MnS jedka precej hitreje, oksidi pa počasneje od osnove. Dodatne topografske spremembe pa se zgodijo po nanosu prevleke. Razlog je efekt senčenja. Topografske nepravilnosti na površini podlage zastirajo pot atomov, ki jih z ionskim obstreljevanjem tarče uparimo. Ti atomi potujejo premočrtno od izvira do podlage. Že najmanjša, mikroskopsko majhna topografska nepravilnost povzroči efekt senčenja in posledično nastanek nodularnega defekta ali pore.

Večino meritev je naredil na Institutu »Jožef Stefan« in na Fakulteti za strojništvo, Univerze v Mariboru. Del analiz pa je naredil tudi na Univerzi v Gradcu. O rezultatih teh raziskav je obširneje poročal tudi v članku »Mikrostrukturne nepravilnosti trdih PVD-prevlek« (avtorja Peter Gselman in Peter Panjan), ki je bil lansko leto objavljen v reviji Vakuumist (letnik 33 (2013) 4, str. 11–21). Doktorsko delo je pod mentorstvom dr. Petra Panjana (raziskovalni mentor) in red. prof. dr. Franca Zupaniča (fakultetni mentor) uspešno končal oktobra letos. Zagovor doktorata je bil na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru.



Dr. Peter Gselman ob prejemu nagrade; ob njem je predsednik mednarodnega organizacijskega odbora dr. Nikola Radić



To pa ni prvo priznanje, ki ga je za svoje uspešno študijsko in raziskovalno delo prejel Peter Gselman. Leta 2011 je za izvrstne študijske dosežke prejel rektorjevo nagrado kot najboljši študent generacije 2005–2010 na študijskem programu strojništvo na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru. Rektor je nagrado utemeljil s tem, da je Peter Gselman poleg izvrstnih študijskih dosežkov že kot študent 2. letnika uspešno pridobil projekt Slovenskega podjetniškega sklada za mikro- in majhna podjetja.

V petem letniku diplomskega študija pa je prišel v kontakt s švicarskim proizvajalcem medicinske diagnostične opreme (podjetje Schiller), kjer se je seznanil s problematiko transporta medicinskih diagnostičnih aparatov. Ideje za modifikacijo medicinskega vozička je predstavil prej omenjenemu podjetju in sledil je podpis pogodbe o medsebojnem sodelovanju, ki je kasneje prerasla v projekte. Konstrukcija te naprave je bila tudi predmet njegove diplomske naloge.

Razvil je tudi novo vrsto elektrod za EKG-napravo, ki temeljijo na vakuumskem prijemanju. Za doseganje grobega vakuumu, ki ga potrebuje, uporablja membranske črpalke. V družinskem podjetju Gselman &

Gselman, d. o. o., to opremo za švicarskega naročnika izdelujejo še danes. Prav tako se ukvarja s fotovoltaiiko. Do sedaj je postavil že več svojih sončnih elektrarn.

V najstniških letih je bil tudi zelo uspešen moto-krosist, saj je leta 1998 v skupnem seštevku državnega prvenstva osvojil 2. mesto v kategoriji »podmladek do 80 kubičnih centimetrov«. Danes pa se skupaj z bratom Markom ljubiteljsko ukvarja s konstruiranjem motociklov. Tudi pri tem delu je zelo uspešen, saj sta z bratom leta 2012 na največji evropski razstavi motociklov, ki je bila ob Baškem jezeru (nem. *Faaker See*), prejela prvo nagrado v kategoriji »*radical*« (več na www.mgcustoms.si).

Peter Gselman izhaja iz podjetniške družine, zato ni čudno, da je takoj po doktoratu »presedlal« v podjetniške vode. Danes vodi podjetje Interkorn, d. o. o., iz Beltincev, ki ga je ustanovil njegov tast in ki zaposluje 11 ljudi.

Dr. Petru Gselmanu iskreno čestitamo za nagrado, ki jo je prejel na mednarodni konferenci »International Conference on Thin Films« v Dubrovniku. Vse dobro mu želim tudi na podjetniški poti.

Dr. Peter Panjan

Vabilo na vakuumski tečaj Osnove vakuumske tehnike

Dne 12. in 13. januarja 2015 bo Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije – DVTS organiziralo dvodnevni tečaj iz Osnov vakuumske tehnike, namenjen mladim raziskovalcem in vsem tistim, ki delajo na področju vakuumskih tehnologij. Tečaj bo potekal na Institutu »Jožef Stefan«. Obsegal bo teoretični in praktični del. Cena tečaja je 400 EUR (brez DDV). V ceni je všteta literatura (knjiga Vakuumska znanost in tehnika) in dve kosili.

Vsebina vakuumskega tečaja:

- Fizikalne osnove vakuumske tehnike
- Črpalke za grobi in srednji vakuum
- Črpalke za visoki in ultravisoki vakuum
- Vakuumski sistemi
- Meritve totalnega in parcialnega tlaka
- Metode iskanja netesnih mest
- Vakuumski materiali
- Vakuumski spoji in elementi
- Priprava tankih plasti v vakuumu

- Vakuumske tehnologije
- Čiščenje in priprava materialov za ultravisoki vakuum
- Fizikalni vakuumski poskusi (vaje)
- Pomen in preiskave površin
- Neravnovesna stanja plina in plazma
- Ogled laboratorijev, povezanih z vakuumskimi tehnologijami

Na tečaj se prijavite dr. Janezu Kovaču na elektronski naslov: janez.kovac@ijs.si.

Vabljeni!

Doc. dr. Janez Kovač,
predsednik DVTS
Institut »Jožef Stefan«
Jamova 39, Ljubljana
Tel.: 01 477 3403
e-pošta: janez.kovac@ijs.si

NAVODILA AVTORJEM PRI PRIPRAVI PRISPEVKOV

Tematsko Vakuumist obsega širše področje vakuumskih znanosti in tehnologij, fiziko in kemijo tankih plasti in površin, analitiko površin, fiziko plazme, vakuumsko metalurgijo ter zgodovino vakuumske znanosti. Vsebinsko objavljamo štiri skupine prispevkov:

- **znanstveni članki** o aktualnih raziskavah s področja vakuumske znanosti in sorodnih področij;
- **strokovni članki**, kot so predstavitev novosti v svetu, zgoščen pregled nekega področja, primeri uvajanja tehnologij v prakso ipd.;
- **praktični nasveti** reševanja konkretnih vakuumskih problemov v laboratoriju;
- **kratke novice** o društvenem dogajanju, organizaciji konferenc, predstavitve knjig ipd.

Znanstveni in strokovni prispevki so recenzirani. Če je članek sprejet (po recenzentovem in lektorjevem pregledu), avtor vrne popravljen članek uredniku Vakuumista. Prispevki morajo biti napisani v slovenskem jeziku.

Avtorji prispevka so v celoti odgovorni za vsebino objavljenega sestavka. Z objavo preidejo avtorske pravice na izdajatelja. Pri morebitnih kasnejših objavah mora biti periodična publikacija Vakuumist navedena kot vir.

VSEBINA ROKOPISA

Rokopis naj bo sestavljen iz naslednjih delov:

1. naslov članka (v slovenskem in angleškem jeziku)
 2. podatki o avtorjih (ime in priimek, institucija, naslov institucije)
 3. povzetek (v slovenskem in angleškem jeziku, 100–200 besed)
 4. ključne besede (v slovenskem in angleškem jeziku, 3–6 besed)
 5. besedilo članka v skladu s shemo IMRAD (uvod, eksperimentalne metode, rezultati in diskusija, sklepi)
 6. seznam literature
 7. morebitne tabele z nadnapisi
 8. podnapisi k slikam
 9. slike (risbe, fotografije), ki naj bodo priložene posebej
- Praktični nasveti in kratke novice so brez povzetka, ključnih besed in literature, vsebinska zasnova besedila pa ni strogo določena.

TEHNIČNE ZAHTEVE ZA ROKOPIS

- Tekst naj bo shranjen v formatu doc, docx ali rtf. Formata tex ali pdf za tekst nista primerna.
- V dokumentu naj bo čim manj avtomatskih indeksov, križnih povezav (linkov) in stilističnih posebnosti (različni font, formati, poravnave, deljenje besed). Pri oblikovanju se omejite na ukaze **mastno**, *poševno*, ^{indeks} ^{potenca} in posebni znaki. Formule oblikujte bodisi tekstovno ali z urejevalnikom (npr. equation editor), lahko pa jih vključite v tekst kot slikovni objekt.
- Tekst naj bo smiselno razdeljen na poglavja in podpoglavja (detajlnejša delitev ni zelena), naslovi pa naj bodo oštevilčeni z vrstilci, npr. »2.1 Meritve tlaka«.

- Na vse literaturne vire, tabele in slike morajo biti sklici v tekstu. Vrstni red literaturnih virov, tabel in slik naj sledi vrstnemu redu prvega sklica nanje.
- Primeri sklicevanja: na literaturne vire [1], na enačbe (1), na tabele tabela 1, na slike slika 1. Vse samostojno stoječe enačbe naj bodo ob robu označene, npr. (1). Če je slika iz več delov, naj bodo posamezni deli označeni s črkami: a), b), c), č) itd., in sicer tako na sliki kot na podnapisu.
- Literaturni viri morajo biti popolni (brez okrajšav et al., ibid ...). Izogibajte se težko dostopnih virov (prospekti, seminarske naloge, neobjavljene raziskave, osebna korespondenca). Primeri pravilnih zapisov:
 - monografija: S. Južnič, Zgodovina raziskovanja vakuuma in vakuumskih tehnik, Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije, Ljubljana, 2004, str. 203
 - članek v periodični publikaciji: M. Finšgar, I. Milošev, *Vakuumist*, 29 (2009) 4, 4–8
 - prispevek v zbornikih posvetovanj: Novejši razvoj trdih zaščitnih PVD-prevlek za zaščito orodij in strojnih delov, Zbornik posvetovanja Orodjarstvo, Portorož, 2003, 121–124
 - dostopno na svetovnem spletu: UK ESCA Users Group Database of Auger parameters, <http://www.uksaf.org/data/table.html>, zadnjič dostopano: 11. 2. 2010
- Tabele naj bodo oblikovno enostavne. V rokopisu naj stojijo na koncu dokumenta. Za ločevanje stolpcev uporabljajte tabulatorje (ne presledkov) ali tabelarično formo urejevalnika.
- Slike naj bodo shranjene posebej v navadnih formatih (tif, png, jpg), lahko tudi združeni v en dokument (pdf, ppt). Slik ne vstavljajte v tekstualni del rokopisa! Poskrbite za ustrezno resolucijo, še posebej pri linijskih slikah. Slike naj bodo črno-bele ali v sivih tonih, ne barvne.
- Črkovne oznake na slikah naj bodo take velikosti, da je po pomanjšavi na širino enega stolpca (7,9 cm) velikost znakov najmanj 1,2 mm. Priporočljiv je oblikovno enostaven font, npr. Arial.
- Pri pisanju veličin in enot se držite načel standarda ISO-31 (veličine pišemo poševno, enote pokončno, isto pravilo velja tudi za grške črke). Osi grafov in vodilne vrstice tabel pišemo v obliki *veličina*/enota, npr. *m/kg*.

UREDNIŠTVO

Rokopise pošljite na naslov miha.cekada@ijs.si. Kontaktni podatki uredništva so:
doc. dr. Miha Čekada
glavni in odgovorni urednik Vakuumista
Institut »Jožef Stefan«
Jamova 39
1000 Ljubljana
e-pošta: miha.cekada@ijs.si
tel.: (01) 477 38 29
faks: (01) 251 93 85