

LASTNOSTI PLAZME V PILOTSKI RF PLAZEMSKI NAPRAVI

Nikola Jelić, Milan Čerček, Tomaž Gyergyek¹, Miran Mozetič² in Mladen Stanojević

Institut "Jožef Stefan", Univerza v Ljubljani, Jamova 39, 61111 Ljubljana, Slovenija

¹Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo, Univerza v Ljubljani, Tržaška 25, 61111 Ljubljana, Slovenija

²Inštitut za elektroniko in vakuumsko tehniko, Teslova 30, 61111 Ljubljana, Slovenija

Plasma properties in a pilot RF plasma device

Abstract

In the Plasma Physics Laboratory of the Jožef Stefan Institute in Ljubljana a construction of a plasma apparatus for the restoration and conservation of archeological artifacts by a low pressure hydrogen plasma was started in 1992. A pilot RF plasma device was built. So far some preliminary measurements in helium and hydrogen plasma were performed. Results of those measurements are presented in this paper.

Povzetek

V laboratoriju za fiziko plazme na Institutu "Jožef Stefan" v Ljubljani smo v letu 1992 začeli izdelovati plazemsko napravo, ki bo namenjena za konzervacijo in restavracijo arheoloških izkopanin z vodikovo plazmo. Zgradili smo pilotsko RF plazemsko napravo. Doslej smo v njej opravili nekaj preliminarnih meritev z vodikovo in helijevo plazmo, katerih rezultate predstavljamo v tem sestavku.

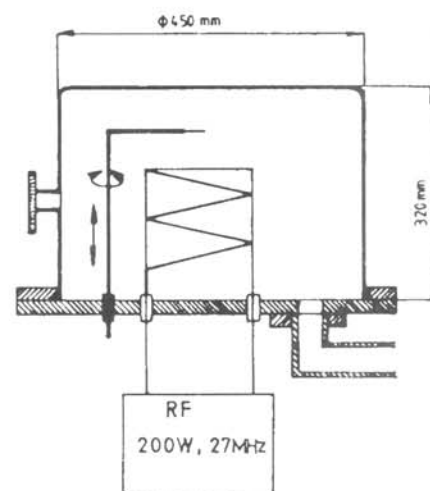
1 Uvod

Za redukcijo oksidov na arheoloških izkopaninah in njihovo konzervacijo se praviloma uporablja vodikovo plazmo, ki se ji lahko doda še druge pline. V laboratoriju za fiziko plazme na Institutu "Jožef Stefan" v Ljubljani smo začeli graditi plazemsko napravo, ki bi bila uporabna v ta namen. Zaenkrat smo postavili pilotsko napravo. Zaradi finančnih omejitev smo uporabili le opremo, ki smo jo že imeli v laboratoriju. V sestavku so opisane nekatere lastnosti plazme v tej napravi.

2 Opis naprave

Za približno 50 litrsko vakuumsko posodo smo uporabili kar kuhinjski lonec iz nerjavečega jekla. Zaradi manjših stroškov je to pogost način konstrukcije laboratorijskih plazemskih naprav, zlasti v laboratorijih, kjer se ukvarjajo z osnovnimi raziskavami plazme (npr. /1/). Ta lonec je poveznjen na aluminijasto, 2 cm debelo prirobnico. Vsi skozi so napeljani skozi to prirobnico. Izjema je le okence na loncu (slika 1). Posodo izčrpamo z oljno difuzijsko črpalko (Edwards 300 l/s) in rotacijsko črpalko (Pfeiffer DUO12). Najnižji tlak, ki ga lahko dosežemo je 2×10^{-6} mbar, samo z rotacijsko črpalko pa dosežemo 2×10^{-2} mbar. V opisanih poskusih plazmo vzbujamo pri nekoliko višjem tlaku (~ 1 mbar), zato uporabljamo samo rotacijsko črpalko. Posodo najprej izčrpamo do 10^{-2} mbar,

nato pa vanjo spustimo plin. Doslej smo največ uporabljali helij in vodik. Dotok plina lahko spreminjamo z igelnim ventilom in tako nastavljamo tlak od 0.04 do 1 mbar.

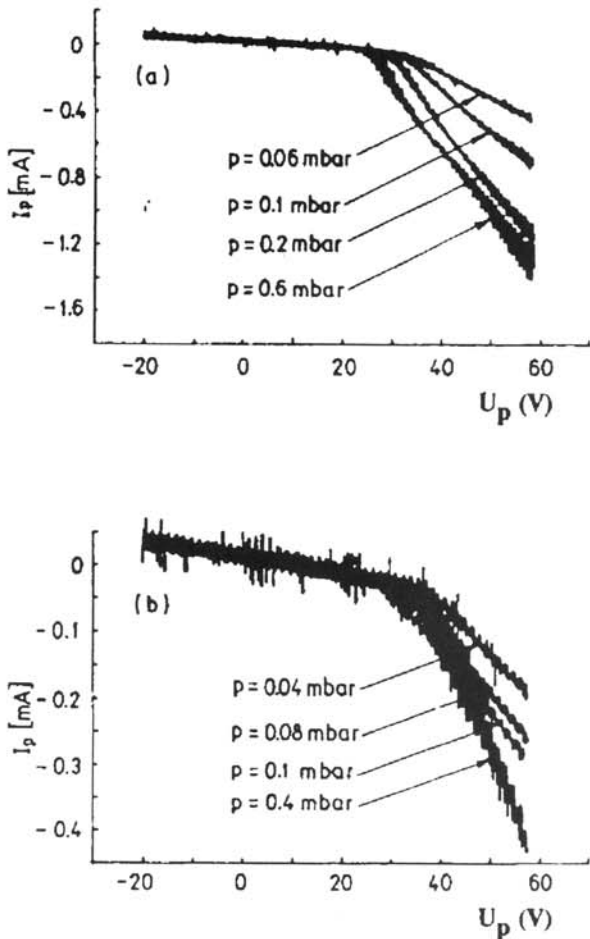


Slika 1. Shema pilotske vakuumске naprave. Kuhinjski lonec je iz nerjavečega jekla. Vsi skozi so napeljani skozi spodnjo aluminijasto prirobnico. Podane so tudi dimenzije posode v milimetrih.

Plazmo ustvarimo z induktivno RF razelektrivjo. V napravi je tuljava iz neizolirane bakrene žice. Tuljava ima 6 ovojev s premerom 13 cm ter razmik med sosednjima ovojem približno 2 cm. Tuljavo priključimo na RF generator z močjo 200 W in frekvenco 27 MHz.

3 Eksperimentalni rezultati

Plazemske parametre merimo s cilindrično Langmuirjevo sondo /4/. Nekaj primerov karakteristik v helijevi in vodikovi plazmi je prikazanih na sliki 2. Na karakteristiki je opazen visokofrekvenčni šum, ki ga povzroča radiofrekvenčni izvir plazme. Karakteristiko analiziramo z računalnikom. Visokofrekvenčni šum najprej odstranimo z računalniško proceduro, ki uporablja inverzno Fourierovo transformacijo Blackmanovega



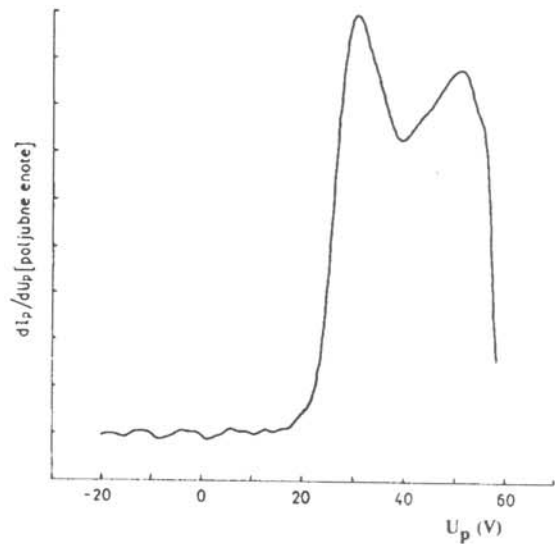
Slika 2. Nekaj primerov karakteristik cilindrične Langmuirjeve sonde v helijevi (a) in vodikovi (b) plazmi. Na karakteristiki opazimo visokofrekvenčni šum, ki ga pred kasnejšo obdelavo odstranimo z digitalnim filtrom. Šum je predvsem posledica RF proizvodnje plazme.

okna /5/. Plazemski potencial nato določimo iz numeričnega odvoda poglajene karakteristike. Plazemski potencial V_s je pri tisti napetosti na sondi, pri kateri ima odvod karakteristike ekstrem. Na sliki 3 je prikazan primer takšnega odvoda. Ko enkrat poznamo plazemski potencial, odčitamo vrednost toka I_0 na sondo pri plazemskem potencialu in nato izračunamo gostoto plazme n po enačbi:

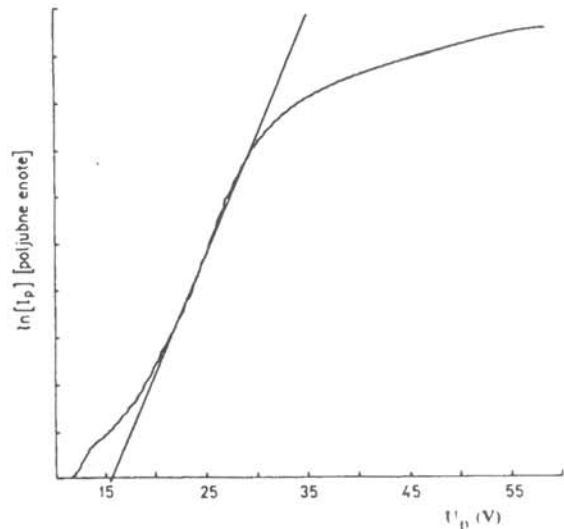
$$n = \frac{I_0}{e_0 A_p} \sqrt{\frac{\pi m_e}{8 k T_e}} \quad (1)$$

Pri tem je e_0 osnovni naboj, A_p površina sonde, kT_e elektronska temperatura in m_e masa elektrona. Elektronsko temperaturo ugotovimo iz strmine premice, ki jo prilagajamo na prehodnem delu logaritmirane karakteristike /4/. Zgled je prikazan na sliki 4.

Na ta način smo izmerili gostoto plazme, plazemski potencial in elektronsko temperaturo v odvisnosti od tlaka plina za vodikovo in helijevo plazmo. Količina, ki nas najbolj zanima, je seveda gostota plazme. Ugotovimo, da je ta reda velikosti 10^{15} m^{-3} .



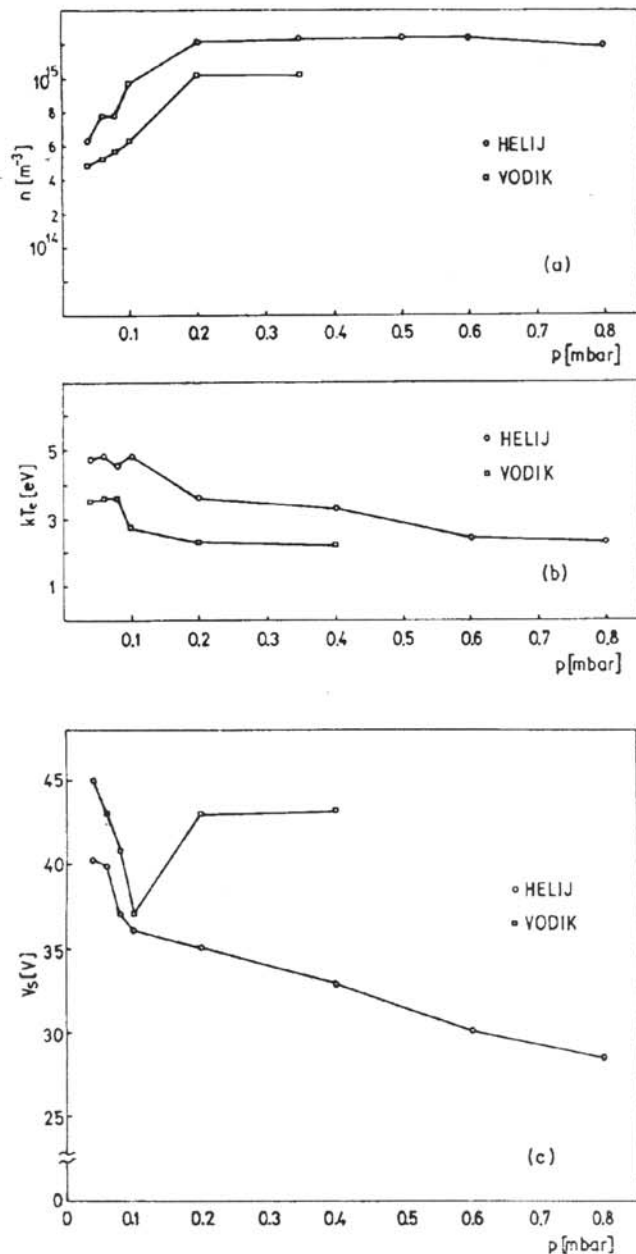
Slika 3. Zgled numeričnega odvoda poglajene karakteristike. Plazemski potencial V_s je pri napetosti, pri kateri ima odvod ekstrem.



Slika 4. Zgled logaritmirane poglajene karakteristike. Elektronska temperatura je obratno sorazmerna s strmino premice, ki jo prilagajamo z metodo najmanjših kvadratov prehodnemu delu karakteristike.

4 Sklep

S cilindrično Langmuirjevo sondo smo izmerili nekaj plazemskih parametrov v pilotski RF plazemski napravi. Diagnostika RF plazem je sicer področje, ki se prav v tem trenutku zelo hitro razvija (npr. /6/). Osnovni problem je odstraniti vpliv modulacije potencialne razlike med plazmo in sondo. Ta problem poskušajo rešiti na različne načine. Eden od teh je opisan v /6/. Ker imamo razmeroma šibak RF gene-



Slika 5. Odvisnost gostote plazme (a), elektronske temperature (b) in plazemskega potenciala (c) od tlaka plina za vodikovo in helijevo plazmo.

rator (200 W), se je pokazalo, da je karakteristiko Langmuirjeve sonde še vedno mogoče analizirati na običajen način /4/, če šum, ki ga povzroča RF izvir, poprej odstranimo z digitalnim filtrom. To potrjujejo tudi smiselne vrednosti izmerjenih plazemskih parametrov.

Na žalost pa je gostota plazme, ki jo dobimo v pilotski napravi, mnogo premajhna za naš osnovni namen, to je redukcija oksidov na arheoloških vzorcih. Za odstranjevanje kisika, klora in žvepla s kovinskih površin je najprimernejši atomarni vodik. Zaradi šibkega RF generatorja pa je stopnja disociacije vodika v naši napravi zelo nizka. Stopnjo disociacije merimo s katalitično sondo /7/. V naši plazmi pa te sonde tudi po več urah nismo uspeli aktivirati. V opisih RF plazemskih naprav, v katerih konservirajo arheološke najdbe /2,3/, nismo zasledili, da bi kje navajali kakšne izmerjene plazemske parametre. Vzrok za to je lahko tudi v tem, da za proizvodnjo plazme uporabljajo RF generatorje, katerih moč za red velikosti presega moč našega generatorja in so zaradi tega motnje tako velike, da ni več mogoča diagnostika s tako preprosto metodo, kot smo jo uporabili mi.

5 Literatura

- /1/ K. N. Leung, N. Hershkowitz and K. R. McKenzie, Phys. Fluids., 19, (1976), 1045-1053
- /2/ J. Patscheider and S. Veprek, Studies in conservation, 31, (1986), 29-37
- /3/ S. Veprek, J. Elmer, C. Eckmann and M. Jurčič, Journal of Electrochemical Society, 134, (1987), 2398-2405
- /4/ F. F. Chen in Plasma Diagnostic Techniques, ed. by R. H. Huddleston and S. L. Leonard, Academic Press, New York, (1965), 113-200
- /5/ M. H. Ackroyd, Digital Filters, Computers in Medicine Series, London Butterworths Publishers
- /6/ G. Neumann, U. Bänziger, M. Kammeyer and M. Lange, Rev. Sci. Instrum., 64, (1993), 19-25
- /7/ F. Breclj, M. Mozetič, K. Zupan and M. Drobnič, Vacuum, 44 (1993) 459