

ANODNI IONSKI IZVIR

Miha Čekada^{1,2}, Markus Kahn², Wolfgang Waldhauser²

¹Institut "Jožef Stefan", Jamova 39, 1000 Ljubljana

²Joanneum Research, Laser Center Leoben, Leobner Str. 94, 8712 Niklasdorf, Avstrija

POVZETEK

Anodni ionski izvir je konstrukcijsko preprosta naprava z dvema katodama in eno anodo, ki omogoča oblikovanje ionskega curka. Če za delovni plin uporabimo argon, je naprava primerna za jedkanje podlag, z uporabo nižjih ogljikovodikov pa lahko nanašamo prevleke diamantu podobnega ogljika (DLC).

Anode layer source

ABSTRACT

The anode layer source is from the construction point of view a simple device with two cathodes and one anode. It enables the formation of an ion beam. If argon is used as working gas, the device is used for ion etching of surfaces. Using low hydrocarbons, diamond-like carbon coatings (DLC) can be deposited.

1 UVOD

Ionski izviri so vakuumski tehniki zelo razširjeni. Uporabljamo jih za različne aplikacije: čiščenje površin, postopno odstranjevanje plasti (globinska profilna analiza), ionska spektroskopija (SIMS, ERDA), litografija, ionska implantacija. Osnovni princip je v tem, da dovajamo izbrani plin, ki ga v izviru ioniziramo, izhajajoči ionski curek pa ima želeno energijo oz. energijsko porazdelitev.

Ena aplikacija, na prvi pogled eksotična, pa je pogon vesoljskih plovil. Zanimivo je, da je prav ta aplikacija dala velik zagon razvoju ionskih izvirov v 60-ih letih. Takrat so potrebovali sistem za majhne



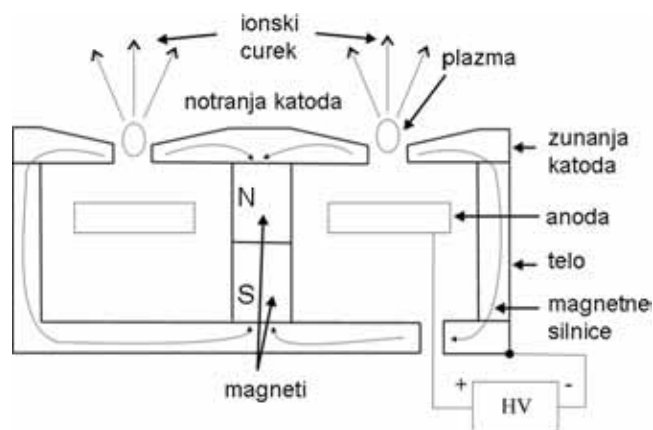
Slika 1: Fotografija anodnega ionskega izvira ⁽²⁾

korekcije orbit satelitov, ki bi imel dovolj majhno porabo goriva, da bi lahko deloval več let. Ker je bil takrat vrhunec hladne vojne, je razvoj potekal vzporedno v ZDA in v tedanji Sovjetski zvezi ⁽¹⁾. V ZDA so razvili t. i. Kaufmannov ionski izvir, ki je danes dobro poznan tudi v vakuumski tehniki. Ruski izdelek, danes ga poznamo pod imenom anodni ionski izvir (*anode layer source*, ALS), pa je ostal precej neopazen in se je v vakuumski tehniki pojavil šele nedavno.

2 OPIS NAPRAVE

Anodni ionski izvir je v osnovi zelo enostavna naprava in v grobem spominja na magnetron (slika 1). Lice naprave sestavljata dve plošči, ki ju ločuje nekaj milimetrov široka reža, imenovana katodna reža. Obe plošči sta na negativnem potencialu, ploščo znotraj reže imenujemo notranja katoda, ploščo zunaj reže pa zunanja katoda. Namesto podolgovate geometrije je lahko reža tudi krožne oblike, ionski izvir pa s tem krožno simetričen. V vsakem primeru reža tvori zaključeno zanko.

Prečni preizek naprave prikazuje slika 2. Zgoraj sta obe katodi: notranja v sredini slike in zunanja na obeh robovih. Pod režo leži anoda, ki tako kot katodna reža oblikuje zaključeno zanko (nekakšen razpotegnjen prstan). Spodnji ploskvi obeh katod in zgornja ploskev anode so vzporedne. V vzdolžni osi naprave, med notranjo in zunanjo katodo, so močni magneti (bodisi permanentni ali navitje), ki ustvarjajo magnetno polje. Silnice potekajo od magnetov preko zunanje katode, katodne reže in notranje katode nazaj do magnetov. Konfiguracija magnetnega polja je tako zelo podobna

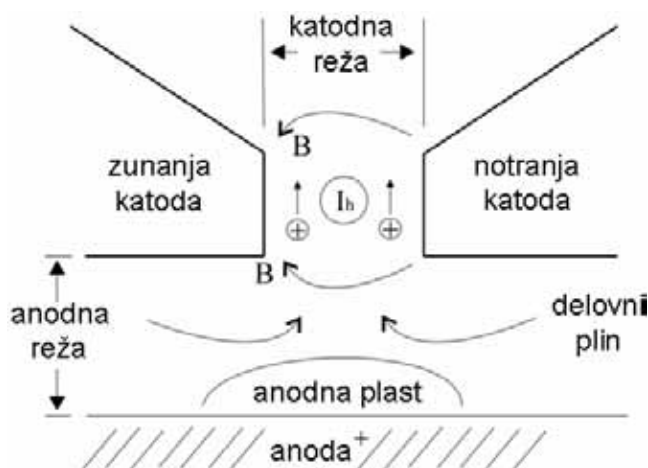


Slika 2: Prečni preizek anodnega ionskega izvira

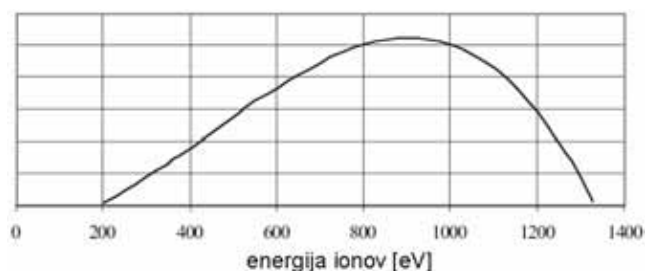
kot v magnetronu. Delovni plin dovajamo v prostor za anodo, kjer ga s primernimi razvodi usmerimo v prostor med anodo in katodo, tako da je pretok plina čim bolj enakomerno razporejen vzdolž reže.

Poglejmo si področje med katodo in anodo nekoliko podrobneje (slika 3). Katoda, narejena je iz magnetnega železa, je ob katodni mreži oblikovana konično, tako da je magnetna poljska gostota v reži čim večja. V anodni reži, tj. nekaj milimetrov debelo področje med katodo in anodo, pa je močno električno polje, ki ga napajamo z enosmerno napetostjo. V prehodu iz katodne v anodno režo sta vektorja magnetne poljske gostote in električne poljske jakosti pravokotna. Elektron, ki zapusti katodo, se pospeši proti anodi, magnetno polje pa obrne njegovo smer gibanja v smeri katodne reže. Podobno kot pri magnetronu torej dobimo močan tok elektronov v zaključeni zanki.

Pri ustreznem električnem potencialu (spodnja meja okoli 1000 V) in ustreznem pretoku delovnega plina (velikostnega reda 10 sccm) se prižge plazma. Prej omenjena zaključena zanka toka elektronov omogoča visoko stopnjo ionizacije. Značilna pot atoma (molekule) delovnega plina je torej naslednja. Atom pride v sistem skozi anodno režo. Ko vstopi v področje plazme, se ionizira in se začne pospeševati proti katodi. Del ionov trči v katodo, del pa zapusti sistem skozi katodno režo. Ionski curek ima obliko katodne reže, torej zaključene zanke, in ima zato v prerezu dva maksimuma⁽³⁾. Curek se divergentno širi v prostor, lateralno razširjanje pa lahko omejimo z vbrizgavanjem elektronov v curek, s čimer ga nevtraliziramo. To naredimo z elektronskim topom, ki ga vgradimo poleg anodnega ionskega izvira. Če so tarče prevodne in divergenca curka ni pomembna, elektronskega topa ne potrebujemo. Uveljavljeno poimenovanje je kolimirani način (z uporabo elektronskega topa) in difuzni način.



Slika 3: Detajl katodne reže



Slika 4: Značilna energijska porazdelitev izstopajočih ionov. Pospeševalna napetost je bila 1500 V⁽³⁾

Stopnja ionizacije ni homogena, temveč je največja v tankem področju tik ob anodi, ki ga imenujemo anodna plast. Od tod tudi ime naprave *anode layer source*, dobesedno *izvir z anodno plastjo*. Pomembna posledica nehomogenosti stopnje ionizacije je v tem, da je hitrostna porazdelitev izstopajočih ionov zelo široka, tako rekoč od nič do energije, ki ustreza pospeševalni napetosti (slika 4). Atom, ki v sistem prispe blizu anode, se bolj pospeši od atoma v bližini katode. Vrh energijske porazdelitve je približno na polovici energije, ki ustreza pospeševalni napetosti.

Pomembna prednost naprave je robustna konstrukcija, brez komponent, kjer po navadi pričakujemo težave (giblivi deli, žarilne nitke, ekstrakcijske mrežice itd.). Naprava omogoča tudi dolgotrajno delovanje v kisikovi atmosferi. Edini element, ki se po dolgotrajnem delovanju izrabi, je katoda, menjava pa je enostavna. Izraba je posledica razprševanja katode, razpršeni kovinski ioni pa lahko kontaminirajo ionski curek. Z ustrežno geometrijo katode lahko ta delež zmanjšamo do te mere, da je kontaminacija zanemarljiva. Pri delu z ogljikovodiki pride do nanašanja ogljikove plasti na katodo, s tem pa se poslabša karakteristika naprave. Rešitev je preprosto vpust inertnega plina v napravo za nekaj minut in ioni inertnega plina odjedkajo naneseo ogljikovo plast, tako da je površina katode spet kovinsko čista.

3 UPORABA

Karakteristike ionskega curka določamo s pospeševalno napetostjo in pretokom delovnega plina. To je lahko inertni plin (večinoma argon), široka paleta reaktivnih plinov (npr. C_2H_2 , SiH_4 , tudi O_2) ali kombinacija obeh. Tak primer je nanašanje diamantu podobnega ogljika (DLC), dopiranega s silicijem⁽⁴⁾. Pline lahko tudi dodatno uvajamo direktno v vakuumsko posodo. Še ena možnost je sočasna uporaba anodnega ionskega izvira in katere od drugih tehnik, npr. magnetronskega naprševanja.

Danes se anodni ionski izvir največkrat uporablja za čiščenje podlag. Zaradi visoke energije ionov (značilno okoli kilovolta) je čiščenje zelo intenzivno. Da očistimo podlage za standardni nanos PVD-plasti,

je dovolj le nekaj minut čiščenja z argonom. Če uporabimo tudi elektronski top, se izognemo težavam z nabijanjem neprevodnih podlag.

Velike možnosti pa se odpirajo pri uporabi anodnega ionskega izvira za nanos prevlek. Z uvajanjem ogljikovodikov dobimo curek ogljikovih (in vodikovih) ionov, in z izbiro ustreznih parametrov na podlagah raste plast DLC-prevleke. Hitrost nanašanja je reda velikosti 10 nm/min, kar je primerljivo s PVD-postopki. Visoka energija ionov zagotavlja dobro adhezijo, homogenost vzdolž izvira je dobra, homogenost prečno na izvir pa zagotovimo z vrtenjem ali oscilacijo vzorca.

Posebna prednost je zelo enostavno krmiljenje procesa. Pri PVD-postopkih sta jedkanje in nanašanje ločena postopka, pogosto vsak s svojim napajalnikom in izvirom. Preklop med jedkanjem in nanašanjem je sestavljen iz vrste korakov, ki lahko skupaj trajajo več minut (to še posebej velja za postopen dvig moči). Pri anodnem ionskem izviru pa je edina razlika med jedkanjem in nanašanjem v izbiri delovnega plina ⁽⁵⁾. Preklop iz jedkanja v nanašanje torej pomeni le odprtje ventila za npr. aceten ob hkratnem zaprtju ventila za argon, kar traja le nekaj sekund. Napajalnik ostane prižgan pri enaki moči, razen morebitnih popravkov (npr. iz 2 kV pri jedkanju na 1,5 kV pri nanašanju). Tudi v fazi nanašanja lahko spreminjamo karakteristike: večplastno prevleko naredimo s periodičnim spreminjanjem enega parametra (npr. 1 kV / 2 kV / 1 kV / 2 kV ...). Pri DLC-prevlekah lahko takšna sprememba pomeni periodično spreminjanje deleža vezi sp²:sp³ in s tem periodično spreminjanje trdote.

Nanašanje DLC-prevlek z anodnim ionskim izvirom se je pred nekaj leti uveljavilo v proizvodnji arhitekturnih stekel ⁽⁶⁾. Razvili so "in-line" sisteme za nanos trde, a tanke antiabrazijske prevleke, ki ščiti steklo pred mehanskimi poškodbami. Z drugih

področij omenimo možnost nanašanja DLC-prevlek na trde diske ⁽⁷⁾.

4 SKLEP

Anodni ionski izvir bi najlaže uvrstili v skupino postopkov PACVD (plazemsko podprto kemijsko nanašanje iz parne faze), čeprav je energija ionov bistveno višja kot pri klasičnih postopkih PACVD. Najbolj pa preseneča razkorak med po eni strani enostavnostjo postopka, enostavni in robustni konstrukciji naprave in po drugi strani skromni razširjenosti tehnike v današnjih vakuumskih tehnologijah. Raziskave v prihodnjih letih utegnejo ta razkorak odpraviti. Anodni ionski izvir je instaliran v Laser Center Leoben, vendar se ga je doslej uporabljalo le za jedkanje podlag. V letošnjem letu pa smo s to napravo naredili prve uspešne poskuse nanašanja prevlek diamantu podobnega ogljika, o čemer bomo poročali v eni od naslednjih števil Vakuumista.

5 LITERATURA

- ¹V. V. Zhurin, H. R. Kaufman, R. S. Robinson, *Plasma Sources Sci. Technol.* 8 (1999), R1–R20
- ²<http://www.msi-pse.com/Plasma%20Surface%20Engineering/Spindrift%20Sources.htm>
- ³A. Shabalin, M. Amann, M. Kishinevsky, C. Quinn, N. Capps, 43rd Annual Technical Conference Proceedings, Denver, April 15–20, 2000, Society of Vacuum Coaters, dostopno na strani http://www.advanced-energy.com/en/MAGAZINE_REPRINTS.html
- ⁴N. Capps, D. Carter, G. Roche, Ion source applications: Si-doped DLC, *prospekt*, 1999, dostopno na strani http://www.advanced-energy.com/en/WHITE_PAPERS.html
- ⁵N. Capps, B. Goldsworth, D. Carter, G. Roche, Ion source applications: DLC deposition, *prospekt*, 1999, dostopno na strani http://www.advanced-energy.com/en/WHITE_PAPERS.html
- ⁶V. S. Veerasamy, H. A. Luten, R. H. Petrmichl, S. V. Thomsen, *Thin Solid Films* 442 (2003), 1–10
- ⁷A. Shabalin, M. Amann, M. Kishinevsky, K. Nauman, C. Quinn, E. Anokin, A. Bourez, Industrial ion sources and their application for DLC coating, *prospekt*, 2001, dostopno na strani http://www.advanced-energy.com/en/WHITE_PAPERS.html