

BÖYÜK SÜRƏTLİ PLAZMA SELİNİN KONDENSASIYASI

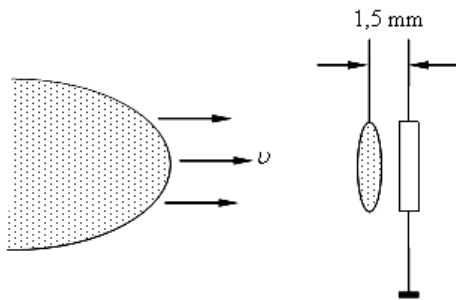
B.B. DAVUDOV, T.Q. NAĞIYEV

*Bakı Dövlət Universiteti,**Bakı, AZ-1148, Z. Xəlilov küç., 23*

Bu işdə metal, yarımkəçirici və dielektrik buxarlarından ibarət olan böyük sürətli plazma selinin onun hərəkət istiqamətinə perpendikulyar yerləşdirilmiş altlıq üzərində kondensasiyası mexanizminə baxılır. Plazmanın altlıqla qarşılıqlı təsirini əks etdirən fotoşəkillər göstərir ki, altlıqdan 1-1,5 mm məsafədə qalınlığı 2-3 mm olan parlaq işıldaayan plazma təbəqəsi əmələ gəlir. Beləliklə, altlıq üzərində plazma selinin kondensasiyası və səthində nazik təbəqənin əmələ gəlməsi onun səthinin bir-birindən asılı olmadan ayrı-ayrı elektronlar, ionlar, neytral və həyəcanlanmış atomlar tərəfindən bombardman edilməsinin nəticəsidir.

Böyük sürətli plazma selini müxtəlif altlıqlar üzərinə kondensasiya etməklə nazik təbəqələrin alınması və onlarla müxtəlif mikrokonstruksiya elementlərinin səthlərinin örtülməsi texnologiyasında tətbiqi kimi məsələlərə həsr olunmuş işlər ədəbiyyatda vardır [1-3]. Lakin bu cür texnologiyanın fiziki əsasları hələ də tam açılmayıb və onun öyrənilməsinə ehtiyac vardır.

Bu işdə metal, yarımkəçirici və dielektrik buxarlarından ibarət olan böyük sürətli plazma selinin onun hərəkət istiqamətinə perpendikulyar yerləşdirilmiş altlıq üzərində kondensasiyası mexanizminə baxılır (şəkil 1). Bu məqsədlə eroziya tipli impuls plazma buxarlandırıcısı vasitəsilə alınan, əsas etibarilə, mis atomlarından təşkil olunmuş plazma seli götürülmüşdür. Plazma selində yüklü zərrəciklərin konsentrasiyası - $n_e=10^{16}-10^{17} \text{ sm}^{-3}$, elektron temperaturu - $T_e=3 \cdot 10^4 \text{ K}$, plazma selinin ön cəbhəsinin sürəti - $v=10^4 \text{ m/san}$ olmuşdur.



Şəkil 1. Metal, yarımkəçirici və dielektrik buxarlarından ibarət olan böyük sürətli plazma selinin onun hərəkət istiqamətinə perpendikulyar yerləşdirilmiş altlıq üzərində kondensasiyanın mexanizmi.

Plazma selinin spektrində bir və ikiqat ionlaşmış mis atomları müşahidə olunur. Plazma selinin və eləcə də ayrı-ayrı spektral xətlərin zamana görə açılışı göstərir ki, metal elektrodlardan eroziya olunan kütlə onların üzərində əmələ gələn anod və katod ləkələrindən diskret şəkildə atılır. Eroziya olunan kütlənin diskret halda atılması artıq bir çox tədqiqatçılar tərəfindən müxtəlif zamanlarda müxtəlif plazma sürətləndiricilərində müşahidə olunmuşdur [4-5].

Plazmanın altlıqla qarşılıqlı təsirini əks etdirən fotoşəkillər göstərir ki, altlıqdan 1-1,5 mm məsafədə qalınlığı 2-3 mm olan parlaq işıldaayan plazma təbəqəsi əmələ gəlir. Bu təbəqənin parlaqlığı (ışılama intensivliyi) təxminən buxarlandırıcının çıxışında plazmanın şüalanması intensivliyi tərtibindədir.

Altlığın önündə işıldaayan plazma təbəqəsinin yaranması səbəblərini araşdıraraq. Altlıq səthini bombardman edən atomların bir hissəsinin elastiki olaraq altlığın səthindən əks

olunması, altlığın materialından qazların desorbsiyası, altlıq səthinin tozlanması və s. nəticəsində altlığın səthinə düşən əsas selin əksinə yönəlmiş zərrəciklər seli yaranır. Bu sellər təxminən zərrəciklərin sərbəst yolunun uzunluğu məsafəsində toqquşur. Toqquşan selləri təşkil edən zərrəciklər ionlaşaraq altlığın qabağında işıldaayan təbəqə yaradır. İndi zərrəciklər artıq bu zonanı altlığın səthinə kondensasiya olunmağa başlayır. Əgər zərrəciklərin temperaturu 1-2 eV, konsentrasiyası 10^{14} sm^{-3} olduğunu fərz etsək $\approx 1,5 \cdot 10^{12} T^2$ ifadəsindən zərrəciklərin sərbəst yolunun uzunluğu üçün tapılan qiymət təxminən 1,5 mm olur ki, bu da təcrübədə fotoqrafik üsullarla təyin olunan qiymətlə üst-üstə düşür. İşıldaayan təbəqə ilə altlıq arasında qaranlıq zonanın olması onu göstərir ki, yaranan plazma təbəqəsindən elektronlar və ionlar altlığın səthinə toqquşmasız tam sərbəst şəkildə kondensasiya olunur.

Səthə düşən elektron seli $\sqrt{\frac{m_i}{m_e}}$ dəfə ion selindən çox

olduğundan altlığın səthində ilk anlarda mənfi yüklər yığılır. Təbəqə ilə altlıq aralığında bu yüklərin yaratdığı sahə ionlar üçün sürətləndirici sahə olduğundan altlıq üzərində istənilən enerjili ionlar, elektronlar üçün isə bu sahə tormozlayıcı sahə olduğu üçün onun səthinə yalnız kifayət qədər böyük enerjili elektronlar düşə bilər. Elektron və ionların altlığın səthində yaratdığı istilik selini $Q=3,9 \cdot 10^{-9} n_i T^{3/2} (Vt/\text{sm}^2)$ ifadəsindən [6] təxmini olaraq qiymətləndirmək olar. $T_e=10^4 \text{ K}$ və $n_i=10^{14} \text{ sm}^{-3}$ olduqda bu selin qiyməti çox da böyük deyil və $Q=40 \text{ Vt}/\text{sm}^2$ -a bərabərdir. Bundan başqa elektron və ionların səth üzərinə rekombinasiya enerjisini nəzərə almaq lazımdır. Bu prosesin ehtimalı çox böyükdür. Rekombinasiya nəticəsində yaranan “soyuq atomlar” yenidən plazma təbəqəsinə qayıdıb, sürətli elektron və ionlarla toqquşaraq müəyyən enerji qazanır. Belə atomların yenidən ionlaşması nəticəsində təbəqəni təşkil edən plazmanın ümumi temperaturu aşağı düşə bilər. Aydınır ki, altlıq üzərinə, eyni zamanda, neytral və həmçinin həyəcanlanmış atomlar da heç bir maneəsiz düşə bilər.

Beləliklə, altlıq üzərində plazma selinin kondensasiyası və səthində nazik təbəqənin əmələ gəlməsi onun səthinin bir-birindən asılı olmadan ayrı-ayrı elektronlar, ionlar, neytral və həyəcanlanmış atomlar tərəfindən bombardman edilməsinin nəticəsidir. Səth tərəfindən absorbsiya olunan yüklü zərrəciklərin nisbətindən asılı olaraq səthin potensialı müsbət və ya mənfi ola bilər. Səth potensialının dəyişməsində plazma-altlıq aralığında yaranan elektrik sahəsinin də böyük rolu vardır.

Neytral atomların altlığın səthində absorbsiyası nəticəsində səthin potensialı dəyişir. Bu vaxt neytral atomla səth arasında neytral formada rabitə yaranır. Belə ki, səth üzərinə düşən neytral zərrəciklər London və Van-der-Vaals cəzətmə

BÖYÜK SÜRƏTLİ PLAZMA SELİNİN KONDENSASIYASI

qüvvələrin təsirinə düşür. Bu qüvvələr isə səth atom və molekullarının dipol və kavdrapul momentlərinin təsiri nəticəsində yaranır.

Nazik təbəqələrin klassik nəzəriyyəsinə görə altlıqla istilik tarazlığında olan səthdə absorbsiya olunmuş atomlar bu və ya digər potensial çuxura düşərək istilik rəqsi hərəkətə başlayır. Altlığın temperaturunun, absorbsiya olunmuş atomların

enerjisinin artması və ya digər fluktuasiyalar nəticəsində zərəciklərin altlığın səthi boyunca rəqsi hərəkətləri o qədər arta bilər ki, atom qonşu potensial çuxuruna düşə bilər. Səth boyunca bu cür miqrasiya edən atomlar bir-birilə rastlaşaraq altlıqla daha uzun müddətdə əlaqədə olan "toplular" və ya klassiklər əmələ gətirir. Sonra isə zərəciklərin kondensasiya prosesində bu toplular birləşərək nazik təbəqələri formalaşdırır.

- [1] *Z.Yu. Gotra*. Tekhnologiya mikroelektronnikh ustroystv: spravochnik, M., Radio i svyaz, 1991, 528 s. (Rusca)
[2] *B.B. Davudov, M.D. El Bakhravi*. Izv. AN Az. SSR, ser. fiz-tekh i mat. nauk, N4, s. 123. (Rusca)

- [3] *B.B. Davudov, F.Sh. Islamov*. Izv. AN Az. SSR, ser. fiz-tekh i mat. nauk, N4, 1982, s.84. (Rusca)
[4] *B.A. Osadin*. JTF, t. 37, 2061, 1967. (Rusca)
[5] *B.B. Davudov, L.Ya. Minko*. JTF, v. 73, 1971.
[6] *Diagnostika plazmi, pod red. R. Khaddlstonna i S.M. Leonarda*, Mir, 1967, 515 s. (Rusca)

B.B. Davudov, T.G. Nagiyev

CONDENSATION OF A HIGH-SPEED PLASMA STREAM

The condensation mechanism of the dense high-speed plasmous flow consisting from metal, dielectric and semi-conductor steams on the solid substrate vertically located to plasma flow is considered in the work. The bright luminescence in the form of a layer with 2-3mm thickness removed on distance about 1-1,5 mm from target surface is observed. The occurrence reasons of this condensed plasma bond are established. This condensation of plasma flows on substrate surface presents itself the surface bombardment by separate ions and electrons, and also by neutral atoms from the condensed plasma luminous zone of the substrate located near to substrate surface.

Б.Б. Давудов, Т.Г. Нагиев

КОНДЕНСАЦИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ПЛАЗМЕННОГО ПОТОКА

В работе рассмотрен механизм конденсации плотного высокоскоростного плазменного потока, состоящего из металлических, диэлектрических и полупроводниковых паров на твёрдой подложке, вертикально расположенной к потоку плазмы. Наблюдалось яркое свечение в виде слоя с толщиной 2-3 мм удалённого на расстоянии около 1-1,5 мм от поверхности мишени. Установлены причины возникновения этой уплотнённой зоны плазмы. Показано, что эта конденсация плазменных потоков на поверхности подложки представляет собой бомбардировку поверхности отдельными ионами и электронами, а также нейтральными атомами из уплотнённой светящейся зоны плазмы, расположенной вблизи поверхности подложки.

Received: 21.10.09