

UOT 621.039,6

**İMPULS PLAZMA METODU İLƏ BİSMUT SİLİKAT ($\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$)
BİRLƏŞMƏSİNİN NAZİK TƏBƏQƏLƏRİNİN
ALINMASI VƏ TƏDQIQI****B.B.DAVUDOV***Bakı Dövlət Universiteti**davud@yahoo.com*

İşdə $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ birləşməsinin nazik təbəqələrinin impuls plazma buxarlandırma metodu ilə alınmasına və tədqiqinə baxılmışdır. Təbəqələr polukristal quruluşa, optik aktivliyə və yüksək səth müqavimətinə - 10^9 Om/cm^2 malikdir. Təbəqələrin maksimal spektral həssaslığı 0,9 - 1 mkm intervalında dəyişir.

İşdə, həmçinin böyük sürətli çoxkomponentli plazma selinin onun hərəkəti istiqamətinə şaquli qoyulmuş bərk altlıq üzərində kondensasiyası mexanizminə baxılmışdır.

Təbəqələrin qalınlığı impuls boşalmalarının gücündən asılı olub, 0,2 - 1 mkm diapazonunda dəyişir. Bunlar bütün səth boyunca eyni struktura malik olub, 60 - 70 % -i ölçüləri 100 mkm-dən kiçik olan hissəciklərdən təşkil olunmuşdur.

Açar sözlər: plazma, vismut, silikat, nazik təbəqə.

Sillenit strukturlu birləşmələr ($\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$, $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ və $\text{Bi}_8\text{TiO}_{14}$), məlum olduğu kimi, bir sıra praktiki əhəmiyyətli xassələrə - geniş diapazonda şəffaflığa, yüksək elektrooptik, fotokeçiricilik, yaddaş xassələrinə və eyni zamanda böyük xüsusi müqavimətə malikdir [1, 2]. Bunların optik aktivliyi kristalın daxili sahəsinin təsiri ilə bismut atomlarının oksigen kompleksini deformasiyaya uğratması ilə əlaqədardır.

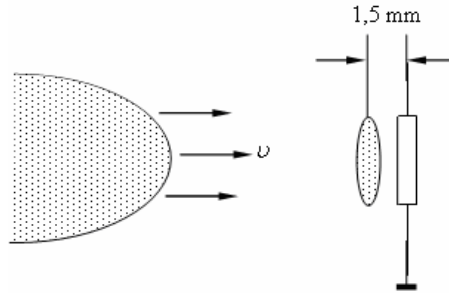
Kristal halında yuxarıda göstərilən birləşmələr məlum Çoxralski metodu ilə alınır. Lakin bu birləşmələrin nazik təbəqələrinin alınması praktiki cəhətdən daha vacibdir. Belə ki, bir çox müasir mikroelektron cihazların əsasında sillenit strukturlu birləşmələrin nazik təbəqə halında olan aktiv elementləri durur. Keyfiyyətli, etibarlı və böyük istismar müddətinə malik nazik təbəqələrin alınması müəyyən çətinliklərlə üzləşir. Bunlardan ən ümudəsi məlum stasionar üsullarla bu cür mürəkkəb birləşmələrin nazik təbəqələri formalaşdırılarkən birləşmələrin asan və çətin buxarlanan komponentlərə parçalanmasıdır. Məsələn, $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ birləşməsi dissosiasiya olunduqda Bi atomları kimi yüksək təzyiqli buxara (1 mm Hg sütunu) malik komponentlərə və Bi_2O_3 , SiO , SiO_2 kimi alçaq təzyiqli (təxminən 10^{-7} — 10^{-6} mm Hg sütunu) buxara

malik komponentlərə parçalanır. Aydındır ki, komponentlərin buxarlanma təzyiqləri müxtəlif olduqda materialın buxarlanması “uyğunsuz” olar və nəticədə birləşmənin təbəqəsi öz əvvəlki tərkibini saxlamaz, yəni təbəqə stexiometrik olmaz. Çoxkomponentli mürəkkəb materialların stexiometrik nazik təbəqələrini formalaşdırmaq üçün

$$\frac{P_1}{\sqrt{m_1}} = \frac{P_2}{\sqrt{m_2}} = \dots = \frac{P_n}{\sqrt{m_n}}$$

konkruyentlik şərtini ödəmək lazımdır. Burada P_1, P_2, P_3 - materialı təşkil edən 1-ci, 2-ci, n-ci komponentlərin doymuş buxarının təzyiqi, m_1, m_2, m_n - isə bu komponentlərin nisbi kütləsidir.

Bu işdə bismut silikatın ($Bi_{12}SiO_{20}$) nazik təbəqəsini formalaşdırmaq üçün [2,3] işlərində ətraflı şərh olunmuş İmpuls Buxarlanma Metodundan (İBM) istifadə olunmuşdur. Bu metodun mahiyyəti qısaca aşağıdakından ibarətdir: İmpuls plazma buxarlandırıcısı bir-birindən izolyatorla, məsələn, kvars (SiO_2) ayrılmış koaksial elektrodlar sistemindən ibarətdir. Elektrik boşalma aralığı buxarlandırılan maddələrdən (SiO_2, Bi_2O_3 və ya $Bi_{12}SiO_{20}$), elektrodlar isə təmiz misdən (Cu) və ya bismutdan (Bi) hazırlanır. Boşalma, alışdırıcı elektroda yüksək voltlu gərginlik impulsu verməklə alışdırılır. Qida mənbəyi olaraq 200 mkF -lıq kondensator batareyası götürülmüşdür. Boşalma cərəyanı $I=4,5$ kA ($U=1000V$), onun davam etmə müddəti isə $\tau=200$ mks olmuşdur. Metal, yarımkəçirici və dielektrik materiallarının atom və molekullarından təşkil olunmuş çoxkomponentli plazma seli onun hərəkət istiqamətinə perpendikulyar qoyulmuş sital və ya kvars altlıqları üzərinə çökdürülmüşdür (şək.1).



Şək.1. Böyük sürətli plazma selinin onun hərəkət istiqamətinə perpendikulyar yerləşdirilmiş altlıq üzərində kondensasiyası.

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

Altlığın önündə işıldayan plazma təbəqəsinin yaranmasına səbəb altlıq səthini bombardman edən atomların bir hissəsinin elastiki olaraq altlığın səthindən əks olunması, altlığın materialından qazların desorbsiyası, altlıq səthi-

nin tozlanması və s. nəticəsində altlığın səthinə düşən əsas selin əksinə yönəlmiş zərrəciklər selinin bu əsas sellə toqquşmasıdır. İndi zərrəciklər artıq bu zonadan altlığın səthinə kondensasiya olunmağa başlayır. Əgər zərrəciklərin temperaturunun 1-2 eV, konsentrasiyasının 10^{14} sm^{-3} olduğunu fərz etsək $\lambda \approx 1,5 \cdot 10^{12} T^2$ 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. İşıldayan təbəqə ilə altlıq arasında qaranlıq zonanın olması onu göstərir ki, yaranan plazma təbəqəsindən elektronlar və ionlar altlığın səthinə toqquşmasız tam sərbəst şəkildə kondensasiya olunur. Aydın ki, altlıq üzərinə eyni zamanda, neytral və həmçinin həyəcanlaşmış 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 həyəcanlaşmış 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 qüvvələrinin təsirinə düşür. Bu qüvvələr isə səth atom və molekullarının dipol və kavdrupol momentlərinin təsiri nəticəsində yaranır.

Nazik təbəqələrin klassik nəzəriyyəsinə görə altlıqla isitilik 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 zərrəciklərin 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 klasterlər əmələ gətirir. Sonra isə zərrəciklərin kondensasiya prosesində bu toplular birləşərək nazik təbəqələri formalaşdırır.

İmpuls plazma buxarlandırıcılarında plazma əmələ gətirən işçi maddə kimi həm metal elektrodlarından (*Fe, Al, Cu, Mo* və s.), həm müxtəlif dielektriklərdən (ftoroplast, polietilen, polipropilen, polistirol, germanium və silisium oksidləri və s.) istifadə oluna bilər. Belə dielektriklər əvəzində böyük müqavimətə malik yarımkeçirici materiallardan da istifadə etmək olar. Məsələn, *Si, Ge, Bi_{12}GeO_{20}, Bi_{12}SiO_{20}*. Buxarlandırıcıların elektrodları ilə kontaktda olan dielektrik və yarımkeçirici materiallar onların səthində baş verən səth boşalması nəticəsində yaranan plazma selinin təsirinə məruz qalır ki, bu da onların dağılmasına, buxarlanmasına və nəhayət, plazmaya çevrilməsinə səbəb olur.

Spektroskopik tədqiqatların göstərdiyinə görə plazma, əsasən, elektrodlarla kontaktda olan dielektrik və ya yarımkeçirici nümunələri təşkil edən elementlərin həyəcanlanmış və ionlanmış atomlardan ibarət olur. Materialların güclü buxarlanması onun səthində yüksək enerji sıxlığının əmələ gəlməsini göstərir. Konvektiv istilik seli dielektrik və yarımkeçirici materialların dağılması üçün kifayət deyildir. Belə enerji sıxlığını yalnız plazmanın şüalanması təmin edə bilər [4]. Təklif olunan impuls plazma sürətləndiricilərində plazma şüa seli $5 \cdot 10^5 \text{ Vt/sm}^2$ -dən çox olur.

İmpuls boşalmalarında alınan enerji sıxlığının lazer şüalanmasının enerji sıxlığı ilə müqayisəsi göstərir ki, sıxlığı 10^5 Vt/sm^2 -dən böyük olan lazer şüalanmasının təsirlə materialların dağılması, onların impuls boşalmasının təsiri zamanı olan istilik xarakterli dağılması kimidir.

Boşalma kanalına daxil olan ümumi enerji

$$\int_0^{\infty} JUdt = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5$$

ionlaşma enerjisinə - W_1 , molekulyar rabitənin qırılması enerjisinə - W_2 , axının kinetik enerjisinə - W_3 , elektrodların qızması üçün lazım olan enerjiyə - W_4 və şüalanma enerjisinə - W_5 sərf olunur. Şüalanma enerjisi ilə kimyəvi rabitələrin qırılmasına sərf olunan enerji arasında yaxşı uyğunluq var.

Yarımkeçirici və dielektriklərin molekulları tərəfindən işıq şüalanmasının udulması dərinliyi müəyyən - h qədər olan səth qatında baş verir. Bu qatın temperaturu

$$\Delta T = \frac{W_s}{\tau h d l c \rho}$$

qədər yüksələ bilər. Burada W_s - işıq selinin enerjisi, ρ - dielektrikin sıxlığı, c - xüsusi istilik tutumudur. d , l isə işıq selinin düşdüğü səthin eni və uzunluğudur. $\tau = 200 \text{ mks}$. plazma şüalanmasının təsir müddətidir. Hesablamalar göstərir ki, bu temperaturun qiyməti baxılan qurğularda kifayət qədər böyükdür: $\Delta T > 3000 \text{ K}$. Aydın ki, belə yüksək temperaturalarda mürəkkəb birləşmələrin bütün komponentləri eyni bir zamanda ani olaraq buxarlana bilər. Bu da yuxarıda göstərilən konqruentlik şərtinin ödənilməsi üçün kifayətdir.

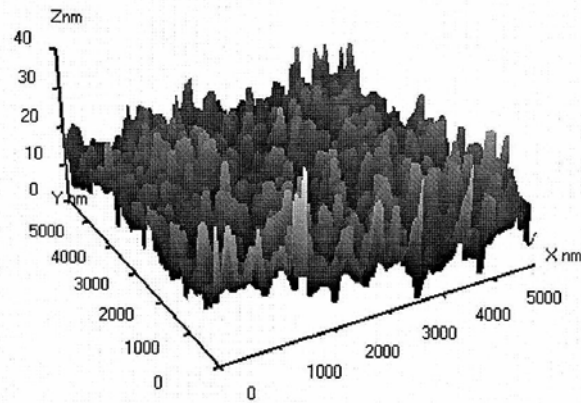
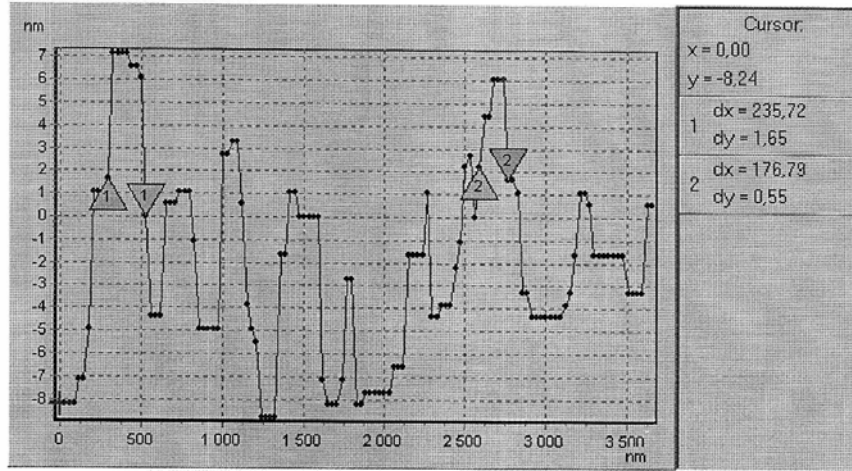
Altıq üzərində çökdürülən plazma selində, yuxarıda qeyd edildiyi kimi, bütün atomlar, praktiki olaraq, həyəcanlanmış və ionlanmış halda olur. Plazmanın spektrində iki və hətta üçqat ionlanmış oksigen atomları müşahidə olunur.

Formalaşan bismut silikatın ($Bi_{12}SiO_{20}$) nazik təbəqələri yüksəkumlu təbəqələrdir. Bunların səth müqaviməti 10^9 Om/cm^2 -a çatır. Təbəqələrin maksimal spektral həssaslığı $0,9 - 1 \text{ mkm}$ intervalında yerləşir.

Təbəqələrin qalınlığı boşalmaların gücündən asılı olub, $0,002 - 0,2 \text{ mkm}$ diapazonunda dəyişir. Bu diapazonun aşağı sərhəd qiyməti tək bir impuls boşalmasına uyğundur. Bu isə təbəqələrin qalınlıqlarını çox kiçik qiymətlərlə

məhdudlaşdırmağa və uyğun olaraq müqavimətləri təbəqələrin qalınlıqlarına görə tənzim etməyə imkan yaradır.

Bu təbəqələrin atom mikroskopu ilə tədqiqi göstərir ki, təbəqələr, demək olar ki, bütün səth boyunca eyni struktura malik olub, 60-70%-i 60-100 nanometr ölçülü hissəciklərdən təşkil olunmuşdur (şək. 2).



Şək. 2. $Bi_{12}SiO_{20}$ nazik təbəqəsinin atom mikroskopu ilə çəkilmiş quruluşu.

Bismut silikatın nazik təbəqələrinin elektronqrafik tədqiqatı göstərir ki, bunlar kubik polikristal quruluşa malikdir. $150-200^{\circ}C$ -yə qədər qızdırıldıqda isə elektronqramlar üzərində nöqtələr əmələ gəlir, yəni monokristal quruluşa keçir.

Qeyd etmək lazımdır ki, impuls plazma texnologiyası ilə bu cür mürəkkəb çoxkomponentli materialların nazik təbəqələri məlum üsullara nəzərən daha böyük sürətlərlə ($10-100$ mkm/san) almaq mümkündür ki, bu da mikroelektron proseslərinin məhsuldarlığının artması deməkdir. Plazma selinin böyük temperatura və sürətə malik olması isə daha keyfiyyətli təbəqələrin alınmasına və onların altlıqlar üzərində daha da möhkəm yapışmasına (adheziasına) imkan yaradır.

ƏDƏBİYYAT

1. Ковтонюк Н.Ф. Электронные элементы на основе структур полупроводник-диэлектрик. М.: Энергия, 1976, 184 с.
2. Давудов Б.Б., Исламов Ф.Ш. Нанесение тонких пленок германо-силленита импульсным плазменным испарением. Изв. АН Аз. ССР, сер. физ.-тех. и мат. наук, 1982, №4, с.84.
3. Davudov B.B., Məmmədov N.A. İmpuls plazma buxarlandırma üsulu ilə kermet təbəqələrinin alınması və tədqiqi. Известия БДУ, сер. физ.-мат. наук, 2009, №1, с. 173.
4. Davudov B.B. Fizikanın aktual problemləri, VI Res. elmi konf. mat. Bakı, 2010, s.173.

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК СОЕДИНЕНИЯ СИЛИКАТА ВИСМУТА ($\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$) МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОГО ПЛАЗМЕННОГО ИСПАРЕНИЯ

Б.Б.ДАВУДОВ

РЕЗЮМЕ

В работе рассмотрены и исследованы тонкие пленки соединения $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ полученных импульсным плазменным испарением. Пленки имеют поликристаллическую структуру, оптическую активность и высокое поверхностное сопротивление – 10^9 Ом/кв . Максимальная спектральная чувствительность расположена в интервале 0,9 – 1 мкм.

В работе также рассмотрен механизм конденсации плотного высокоскоростного многокомпонентного плазменного потока на твердой подложке, вертикально расположенной к потоку плазмы.

Толщина пленок зависит от мощности разрядов и в условиях экспериментов изменялась в диапазоне 0,2 - 1 мкм. Они имеют однородные повторяющиеся структуры и 60 – 70% состоят из наночастиц размерами не превышающими 100 нм.

Ключевые слова: плазма, висмут, силикат, тонкие пленки.

PREPARATION AND INVESTIGATION OF THIN FILMS OF VISMUT SILIKATE ($\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$) BY THE METHOD OF IMPULS PLAZMA EVAPORATION

B.B.DAVUDOV

SUMMARY

The paper investigates thin films of $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ prepared by the method of pulse plasma evaporation. The films possess polycrystalline structures, optical activity and high surface resistance of 10^9 Ом/кв . Maximum photosensitivity of films covers the spectrum region of 0,9 – 1 μm .

The condensation mechanism of the high-speed dense plasma stream on the solid substrate vertically located to plasma flow is considered in this work as well.

The thickness of films varies in 0,2 – 1 μm depending on the discharge power. They have homogenously repeating structures and 60 – 70% consist of nanoparticles in the size not exceeding 100 nm.

Key words: plasma, vismut, silicate, thin films.

Redaksiyaya daxil oldu 07.02.2011-ci il.

Çapa qəbul edildi 10.03.2011-ci il.

