

MAYE METAL İON MƏNBƏYİ VASİTƏSİLƏ InSb NAZİK TƏBƏQƏLƏRİNİN
MÜXTƏLİF SƏTHLƏR ÜZƏRİNDƏ ALINMASIŞ.O. EMİNOV, S.A. ƏLİYEV, F.E. MƏMMƏDOV, İ.İ. QURBANOV,
E.M. ƏKBƏROV, C.A. QULİYEV, A.Ə.BƏDƏLOV, A.H. HÜSEYNOVA*Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi, Fizika İnstitutu**H Cavid, 131, AZ-1143, Bakı Azərbaycan*mammadov.f.e.@gmail.com

Bu işdə ilk dəfə InSb işçi maddəsi əsasında işləyən ion mənbəyi vasitəsilə InSb⁺ ionlarının alınması və onların müxtəlif səthlər üzərində nazik təbəqələrinin çökdürülməsi prosesləri araşdırılmışdır. Şüşə, sapfir, silisium və digər altlıqlar üzərinə çökdürülən InSb nazik təbəqələrinin keyfiyyətinin altlığın temperaturundan, dəstə cərəyanının qiymətindən və stabilliyindən asılı olduğu müəyyən edilmişdir. Kimyəvi birləşmələrin ionlaşma mexanizminin müxtəlif dövrü sistem elementlərinin və evtektik ərintilərin ionlaşma prosesindən daha mürəkkəb olduğu vurğulanmış, ionların alınması zamanı ərimiş işçi maddənin iti uca doğru axaraq iynəni kütləşdirməməsi və yaxud da uc hissənin buxarlanaraq maye axınının kəsilməsinə səbəb olmaması üçün təcrübi nəticələrə əsaslanaraq əvvəlcədən sürətləndirici elektrik sahənin qiymətinin ~4kV olması müəyyən edilmişdir.

Açar sözlər: maye metal ion mənbəyi, nazik təbəqə, müsbət ion, sürətləndirici elektrik sahəsi, emissiya cərəyanı.

PACS: 29.25.Ni; 52.25.Tx; 81.16.Rf

Giriş

İon dəstəsi vasitəsilə səthlərin emalı prosesləri əsasən maye metal ion mənbələri vasitəsilə aparılır. Maye metal ion mənbələrinin digər ion mənbələrindən üstün xüsusiyyətləri onların uzunömürlüliyü, az miqdarda işçi maddənin tələb olunması, sabit ion cərəyanına malik olması və sairidir. Hal-hazırda submillimetr ayırdetməyə malik səth relyeflərinin formalaşması, işlənməsi və analizi, fokuslanmış ion dəstələrindən istifadə etmədən mümkün deyil. İlk vaxtlar maye-metal ion mənbələrinin işçi maddəsi olaraq aşağı ərimə temperaturuna malik gallium, indium kimi təmiz metallardan istifadə olunurdu [1]. Lakin bir sıra müasir texnoloji məsələlərin həlli üçün müxtəlif kütləli, yüklü və müxtəlif kimyəvi xassələrə malik ion dəstələrindən istifadə etmək zərurəti yarandı. Son illərdə bu sahədəki davamlı tədqiqatlar nəticəsində dövrü cədvəl elementlərinin yarısına qədər ion şüası texnologiyasında istifadə edilmişdir [2]. Əlavə olaraq nəzərə alsaq ki, istifadə olunan müxtəlif ion dəstələri yaranan kiçikölçülü strukturların [3-5] fiziki və kimyəvi xüsusiyyətlərinə, xüsusən də elektrik, optik, maqnit və mexaniki xüsusiyyətlərinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir, uyğun bir seçim edərək tənzimləmə bilən böyük bir potensial tətbiq sahəsinin yarandığını görürük.

Maye metal ion mənbələri vasitəsilə müxtəlif elementlərin ionlarının alınması ilə yanaşı, hal-hazırda müxtəlif kimyəvi birləşmələrin və evtektik ərintilərin də ionlarını əldə etmək mümkün olmuşdur [6]. Emissiya müddətini və dəstə cərəyanının qiymətini idarə etməklə birləşmələrin müxtəlif səthlər üzərində müxtəlif qalınlıqlı nazik təbəqələri alınmışdır. Baxılan işdə InSb yarımkeçirici birləşməsi əsasında işləyən ion mənbəyi araşdırılmışdır. İlk dəfə ion mənbəyi vasitəsilə InSb⁺ ionları alınmış, şüşə, sapfir, silisium və digər müxtəlif səthlər üzərinə çökdürülərək InSb nazik təbəqələri əldə edilmişdir. InSb-un yüksək hərəkətlilik, keçiricilik zolağı elektronlarının aşağı effektiv kütləsi, güclü spin-orbital qarşılıqlı təsiri kimi unikal xassələri bu materialı

həm fundamental, həm də vacib tətbiqlər üçün olduqca cəlbedici edir. İndium antimonid yüksək həssaslıqlı fotoelementlərin, Holl sensorlarının, optik filtrlərin, termoelektrik generatorların və soyuducuların istehsalı üçün, həmçinin hərbi texnikada (orta İQ oblast üçün fərdi və matris radiasiya qəbulədiciləri), mikrodalğalı elektronkada və s. tətbiqlərdə istifadə olunur. Bütün bunları nəzərə alaraq, deyə bilərik ki, ion mənbəyi vasitəsilə InSb ionlarının alınması yolu ilə səth üzərində müxtəlif strukturların yaradılmasının mümkünlüyü tətbiq imkanlarının genişləndirilməsi üçün mühüm imkanlar yaradır [7].

Nəzəri hissə

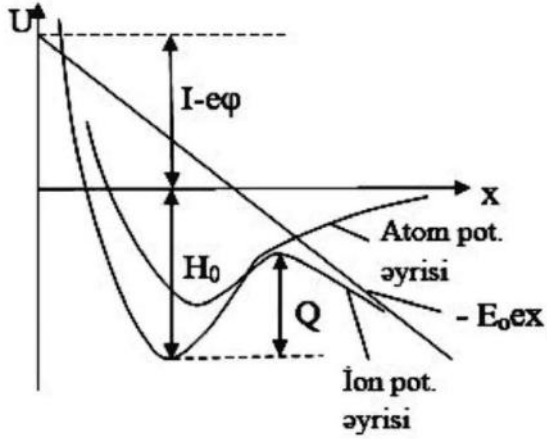
Maye metal ion mənbələrində emitterin ölçüsünün çox kiçik olması onun araşdırılmasını mümkünsüz etdiyinə görə ion emissiyasının mexanizmi uzun müddət qaranlıq qalmışdır. Tədqiqatçılar tərəfindən müxtəlif mexanizmlər təklif edilmişdir: iti ucun yaxınlığında metal buxarında boşalma, termik buxarlanmış atomların sahə ionlaşması, mayenin səthindən bilavasitə ionların sahə buxarlanması və s. Əldə olunan təcrübi faktlar ionların yüksək elektrik sahəsinin təsiri altında vakuma tunel çıxarılması mexanizmini təsdiq edir. Bu halda ionların emissiyası hadisəsi termik fəal proses kimi araşdırılır [8].

$$j = env \exp(-Q/T)$$

Burada n – atomların səthi sıxlığı, v – atomların xarakterik rəqsi tezliyi, Q – aktivləşmə enerjisi, T – mütləq temperaturdur. Təsvir edilən potensial modelində (şəkil 1) aktivləşmə enerjisi aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$Q = H_0 + I - e\phi - (e^3 E_0)^{1/2}$$

Burada H_0 – atomun sublimasiya enerjisi, I – ionlaşma enerjisi, $e\varphi$ – çıxış işi, E_0 – qopardıcı elektrik sahəsidir.

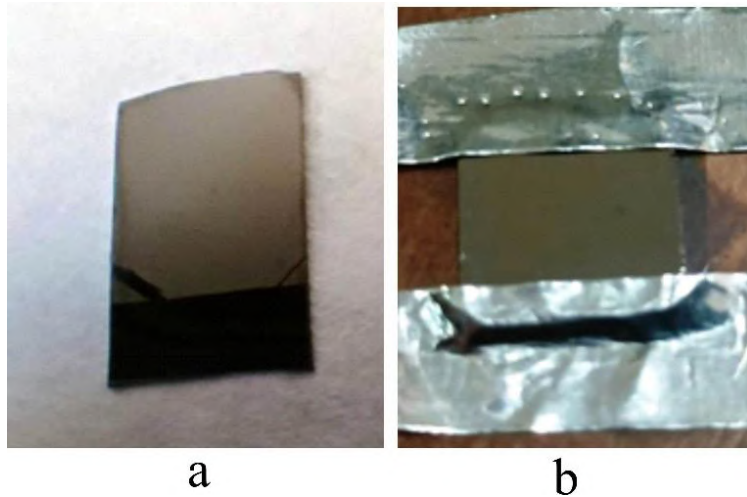


Şəkil 1. İonların tunel çıxarılması potensial modeli
 Q - aktivləşmə enerjisi, $H_0 - H_0$ atomların sublimasiya enerjisi, I - ionlaşma enerjisi, $e\varphi$ - çıxış işi, E_0 - qopardıcı elektrik sahəsinin intensivliyi.

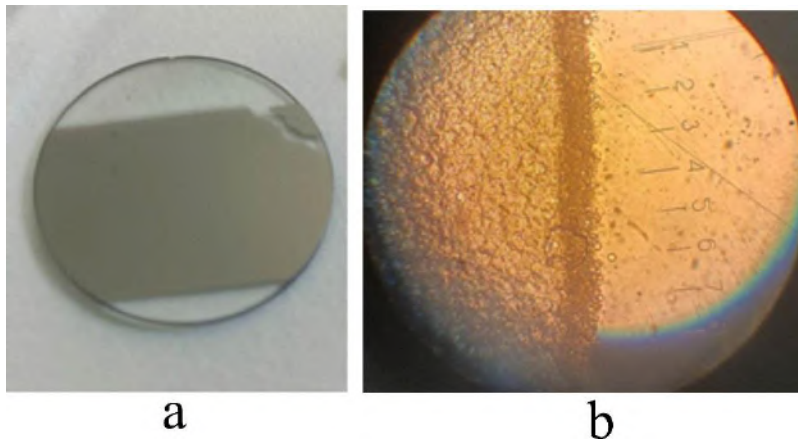
Müxtəlif emitterlər üçün qopardıcı sahənin intensivliyi $E_0 = (1,5 - 1,6) V/m$ tərtibindədir. Teylor konusunun hamar zirvəsində belə sahələri almaq mümkün deyil. Lakin müşahidələr göstərir ki, bu zaman konus uzunsov forma alır, onun zirvəsində iti çıxıntı əmələ gəlir ki, bu da elektrik sahəsinin yüksək qiymət almasını təmin edir.

Qeyd etdiyimiz kimi, tədqiq edilən ion mənbəyində işçi maddə kimi InSb-dan istifadə edilmişdir. İndium antimonidi (InSb), indium (In) və antimon (Sb) elementlərindən hazırlanmış kristal birləşmədir və qadağan olunmuş zolağının eni 300 K-temperaturda 0,17 eV və 80 K-də 0,23 eV olan yarımkeçiricidir. Əlbəttə ki, metal atomlarının və ya müxtəlif tərkibli ehtektik ərintilərin atomlarının ionlaşmasına nisbətən, kovalent rabitə ilə birləşmiş atomlardan ibarət molekulların kiməvi tərkibinin saxlanması şərti ilə ionlaşması daha mürəkkəb prosesdir. Buna nail olmaq üçün bütün mərhələlərdə, ion mənbəyinin iynələrinin işçi maddə ilə isladılması zamanı, işçi maddənin qızdırılaraq əridilməsi zamanı, elektrik sahəsinin təsiri vasitəsilə ionlaşma prosesinin aparıldığı müddətdə optimal variant seçilməlidir.

Təcrübi hissə



Şəkil 2. a) Si altlıq üzərinə çökdürülmüş InSb nazik təbəqəsi; b) Şüşə üzərinə çökdürülmüş InSb nazik təbəqəsi.



Şəkil 3. a) Sappfir altlıq üzərinə çökdürülmüş InSb nazik təbəqəsi; b) Sappfir altlıq üzərinə çökdürülmüş InSb nazik təbəqəsinin Mİ4 mikroskopu vasitəsilə çəkilmiş şəkl

InSb işçi maddəsi əsasında ion mənbələrinin hazırlanması zamanı əsas element olan iynələr elektrokimyəvi üsulla itilənərək, qrafitdən hazırlanmış xüsusi konteynerə yerləşdirilir və L560 Leybold-Heraus tipli vakuum qurğusunda işçi maddə ilə xüsusi texnoloji proses vasitəsilə isladılır. Bundan sonra təcrübələr A700Q Leybold-Heraus tipli vakuum qurğusunda 10^{-6} mbar təzyiqdə aparılmışdır. Müxtəlif metal ionlarının emissiyasını alarkən aparılan əməliyyat ardıcılığından fərqli olaraq, burada işçi maddə əriməmişdən öncə ekstraktor və iynə arasına təqribən 4 kV-a qədər elektrik sahəsi verilir. Bu addım işçi maddənin lazımlıdan artıq qızdırılmamasına, əriyən kimi ionlaşmasına, kimyəvi tərkibinin saxlanılmasına nail olmaq üçün atılır. Gərginliyin ~ 4 kV tərtibində verilməsi təcrübə nəticələri əsasında müəyyən edilmişdir. Belə ki, sahənin qiymətinin böyük olması ərimiş maye şırnağının uc hissəsinin tez bir zamanda ionlaşmasına və emissiyasına səbəb olur ki, bu da maye axınının kəsilməsi ilə nəticələnə bilər. Daha kiçik gərginliklər isə ionlaşmanın baş verməsinə səbəb olur ki, bu da ərimiş maye axını əmələ gətirir və iti ucun kütləşməsi ilə nəticələnir. Bütün bunlar nəzərə alınaraq ilkin sürətləndirici elektrik sahəsi verildikdən sonra, işçi maddə ərimə temperaturuna qədər közərən volfram katod vasitəsilə qızdırılır. Bu zaman digər sabit cərəyan mənbəyi vasitəsilə volfram katod və konteyner arasına müəyyən idarə oluna bilən gərginlik verilir, bunun nəticəsində termoelektrik emissiya hadisəsinə əsasən konteyner elektron bombardmanı vasitəsilə əlavə olaraq qızdırılır. Ərimiş işçi maddə ion mənbəyinin iti ucuna doğru axdıqda burada əmələ gələn konus formasında çıxıntı-Taylor konusu, əvvəlcədən verilmiş elektrik sahəsinin təsiri altında daha da iti forma alır. Hesablamalara görə bu zaman elektrik sahəsinin intensivliyi 10^8 V/sm-ə bərabər olur. Bu enerji nəticəsində ionların vakuuma tunel çıxarılması prosesi baş verir. İon dəstə cərəyanı sürətləndirici sahənin qiymətini dəyişməklə idarə edilir. İlkin emissiya prosesi baş verdikdən sonra termoelektrik emissiya vasitəsilə qızdırılma dayandırılır,

ion mənbəyi yalnız volfram katodla qızdırılır ki, bu da işçi maddənin lazım olandan çox qızdırılmasının, buxarlanmasının, kimyəvi tərkibinin dəyişməsinin qarşısını almaq məqsədilə edilir.

İon mənbəyi vasitəsilə Si, şüşə (şəkil 2), safir (şəkil 3) altlıqlar üzərinə InSb nazik təbəqələri çökdürülmüşdür. Altlıqlar təcrübə aparılmamışdan öncə kimyəvi məhlulda təmizlənərək vakuum kamerasına yerləşdirilmişdir. Təcrübələr zamanı sürətləndirici sahənin qiyməti ~ 6 kV, emissiya cərəyanı $\sim 40 \div 50$ μ A olmuşdur. Altlıqların müəyyən temperatura qədər qızdırılması zamanı alınan təbəqələrin keyfiyyətinin daha yüksək olması müşahidə edilmişdir. Təcrübələr zamanı safir üzərinə InSb nazik təbəqələrinin çökdürülməsi yalnız altlıq kimyəvi məhlulda təmizləndikdən sonra mümkün olmuşdur. Qeyd edək ki, şəkil 3 a-da göstərilən nümunənin alınması zamanı altlıq 250°C temperatura qədər qızdırıldıqdan sonra emissiya aparılmışdır.

İon emissiyası zaman altlıqların qızdırılmasının alınan təbəqələrin keyfiyyətinə nə dərəcədə təsir göstərdiyini araşdırmaq məqsədilə, laboratoriya şəraitində xüsusi qızdırıcı hazırlanaraq vakuum kamerasına yerləşdirilmişdir. Altlığın temperaturunu ölçmək üçün temperatur qeydedicisindən istifadə edilmişdir. Müxtəlif temperaturalarda altlıqlar üzərinə InSb⁺ ionlarının emissiyası həyata keçirilmişdir.

Nəticələr

İon mənbəyi vasitəsilə Si, şüşə, safir altlıqlar üzərinə InSb nazik təbəqələri çökdürülmüşdür. Altlıqlar təcrübə aparılmamışdan öncə kimyəvi məhlulda təmizlənərək vakuum kamerasına yerləşdirilmişdir. Altlıqların müəyyən temperatura qədər qızdırılması zamanı alınan təbəqələrin keyfiyyətinin daha yüksək olması müşahidə edilmişdir. Təcrübələr zamanı safir üzərinə InSb nazik təbəqələrinin çökdürülməsi yalnız altlıq kimyəvi məhlulda təmizləndikdən və 250°C temperatura qədər qızdırıldıqdan sonra mümkün olmuşdur.

-
- [1] I.S. Gasanov, S.A. Aliyev, I.I. Gurbanov, E.M. Akberov, F.E. Mamedov, A.H. Kerimova. Deposition of nanodrop phase from emitter tip on nearby mobile surface. *Azerbaijan Journal of Physics*, Vol. XXVI, №1, 2020, p. 40-43.
- [2] L.W. Swanson. Liquid metal ion sources: mechanism and applications. *Nucl. Inst. Meth. in Phys. Res.*, 218, 1983, p. 347.
- [3] İ.S. Həsənov, İ.İ. Qurbanov, E.M. Əkbərov. Səth quruluşlarının yaradılması üçün nanodamcıların çökdürülməsi. "Metallurgiya və Materialşünaslığın Problemləri" Mövzusunda 2-ci Beynəlxalq Elmi-Texniki Konfrans, Bakı, 2017. s. 141-143.
- [4] İ.S. Hasanov, İ.İ. Gurbanov, E.M. Akbarov. İons passage through nanodroplets in a multicomponent beam. *Acta Physica Polonica A.*, 2018, Vol. 134, №3, p. 119-121.
- [5] E.M. Əkbərov. Maye metal ion mənbələri vasitəsilə səth üzərində kiçik ölçülü quruluşların yaradılması. *Fizika*, Bakı, 2019. Vol. XXV, №3, p. 31-33.
- [6] Lothar Bischoff, Paul Mazarov, Lars Bruchhaus, and Jacques Gierak. Liquid metal alloy ion sources—An alternative for focussed ion beam technology *Appl. Phys. Rev.* 3, 021101 (2016); doi: 10.1063/1.4947095.
- [7] Rezek Mohammad, Şenay Katircioğlu, Musa El-Hasan. The electronic band structure of InN, InAs and InSb compounds Springer Science+Business Media, LLC 2007, DOI 10.1007/s10853-007-1794-4.
- [8] П.Ф. Мажаров, В.Г. Дудников, А.Б. Толстогузov. Электродинамические источники ионных пучков, УФН, том 190, №12, 2020, с.1293-1333.

**Sh.O. Eminov, S.A. Aliyev, F.E. Mammadov, I.I. Gurbanov,
E.M. Akbarov, C.A. Guliyev, A.A.Badalov, A.H. Huseinova**

**FORMATION OF THIN InSb FILMS ON DIFFERENT SURFACES USING A LIQUID
METAL IONIC SOURCE**

In this work, for the first time, the processes of obtaining InSb^+ ions and depositing their thin layers on various surfaces using an ion source based on InSb as the working substance have been investigated. It was found that the quality of thin InSb films deposited on glass, sapphire, silicon, and other substrates depends on the substrate temperature, the magnitude, and stability of beam currents. Emphasizing that the ionization mechanism of chemical compounds is more intricate than the ionization process of various elements from the periodic table and eutectic alloys. Based on experimental results, the magnitude of the accelerating electric field was determined to be approximately ~ 4 kV. This implies that the molten working substance does not flow towards a sharp tip, thus preventing blunting of the needle, and the tip does not evaporate, avoiding disruptions in the liquid flow.

**Ш.О. Эминов, С.А. Алиев, Ф.Э. Мамедов, И.И. Гурбанов,
Э.М. Акбаров, Дж.А. Гулиев, А.А. Бадалов, А.Х. Гусейнова**

**ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК InSb НА РАЗЛИЧНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЖИДКО-МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ИОННОГО ИСТОЧНИКА**

В данной работе впервые исследованы процессы получения ионов InSb^+ и нанесения их тонких слоев на различные поверхности через источник ионов, работающий на основе рабочего вещества InSb. Установлено, что качество тонких пленок InSb, нанесенных на стеклянные, сапфировые, кремниевые и другие подложки, зависит от температуры подложки, величины и стабильности тока пучков. Подчеркнуто, что механизм ионизации химических соединений более сложен, чем процесс ионизации различных элементов периодической системы и эвтектических сплавов, на основе экспериментальных результатов определена величина ускоряющего электрического поля 4 кВ, т.е. что расплавленное рабочее вещество не течет к острому кончику и не тупит иглу, или кончик не испаряется и не вызывает прерывания потока жидкости.