

Zh.R. PANOSYAN, S.S. VOSKANYAN, Ye.V. YENGIBARYAN,  
M.A. YERANOSYAN

## PRODUCTION OF DIAMOND-LIKE CARBON FILMS WITH REQUIRED OPTICAL PROPERTIES USING ION PLASMA

A technology has been developed for applying a three-layer carbon film with various refractive indexes on the metals Al, Fe, as well as on glass surfaces. An adhesive layer was applied with a thickness of  $d = 50$  nm and a refractive index of  $n = 2.1$  by varying the power of the ion source from 40-180 W, while the concentration of nitrogen in the chamber was 5% -45%. After that, a layer with a high absorption coefficient in the IR region with a thickness of  $d = 2.5$   $\mu\text{m}$  and a refractive index of  $n = 1.3$  was deposited on the adhesive layer. The outer protective layer had a thickness  $d = 1.5$   $\mu\text{m}$  and a refractive index  $n = 1.9$ . This structure reduced the IR reflection coefficient by 50% of the metal surface.

**Keywords:** ion-plasma technology, carbon layer, three-layer structure, adhesive layer, protective layer.

ՀՏԴ 621.38

ժ.Ռ. ՓԱՆՈՍՅԱՆ, Ս.Տ. ՄԱՅԻԼՅԱՆ, Ե.Վ. ԵՆԳԻԲԱՐՅԱՆ,  
Ս.Գ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

### ՆԱՆՈՏԻՐՈՒՅԹՆԵՐԻ ԱՌԿԱՅՈՒԹՅՈՒՆԸ ՇՓԱԿԱՌՈՒՅՑՆԵՐՈՒՄ

Շփումով ստացվող ածխածնային և մետաղական (Au, Ag, Cu, Al) շփակառույցների օպտիկական կլանման հետազոտության և ռենտգենակառուցվածքային վերլուծության արդյունքների համեմատությամբ ցույց է տրվել, որ շփակառույցներում ձևավորվում է կարգավորված տարածական ցանցով նամոմետրական հաստության տիրույթներ:

**Առանցքային բառեր.** շփագիտություն, ածխածնային թաղանթ, մետաղական թաղանթ, ռենտգենակառուցվածքային վերլուծություն:

**Ներածություն.** Էլեկտրոնային սարքերի չափերի փոքրացումը՝ մինչև նանոմետրական չափեր, բնականորեն առաջադրում են տեխնոլոգիական և հետազոտական մի շարք խնդիրներ: Առաջինը՝ նման կառույցների ստացման հնարավորինս քիչ ծախսատար և անթերի տեխնոլոգիայի մշակումն է, ապա՝ նանոմետրական կառույցները կազմող նյութի ֆիզիկական հատկությունների ուսումնասիրությունն ու դրանց օգտակար առանձնահատկությունների վերհանումն է: Հետազոտողները բախվում են մի խնդրի հետ, երբ նման չափերի դեպքում նյութի հատկություններն էապես տարբերվում են նույն նյութի ծավալի ցուցաբերած հատկություններից: Խնդիրն ավելի գործնական բնույթ կրեց հատկապես այն բանից հետո, երբ փորձնականորեն ցույց տրվեց, որ շերտավոր բյուրեղա-

կան ցանց ունեցող նյութ՝ մասնավորապես ածխածին, կարելի ստանալ մեկ ատոմական շերտի հաստությամբ [1]: Նման նյութերի ու համեմատաբար համասեռ բյուրեղական կառույցով նյութերի նանոմետրական հաստության շերտերի հատկություններն էապես տարբեր են: Այսպես, հայտնի է, որ մետաղական կառույցով նյութի նանոմետրական թաղանթի էլեկտրական հաղորդականությունը կտրուկ անկում է ապրում, ընհույ մինչև մեկուսիչ [2], այն դեպքում, երբ շերտավոր կառույցով նյութի նուրբ թաղանթը հիմնականում կիսահաղորդիչ է:

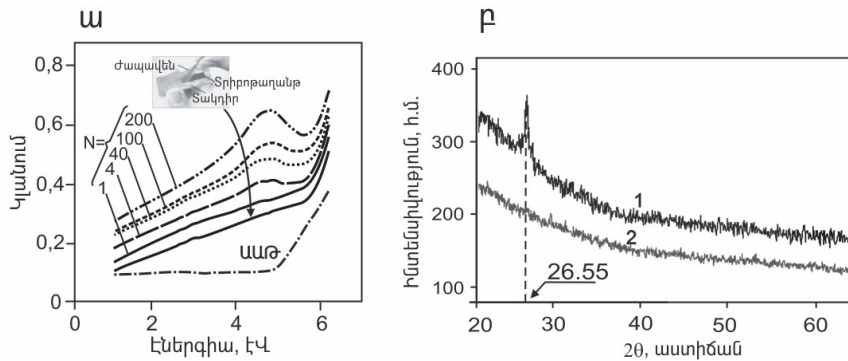
Վերջին տարիներին նկատվում է միտում՝ պարզեցնելու նուրբ թաղանթների ստացման մեթոդները: Մասնավորապես շերտավոր կառույց ունեցող գարֆիտի համար ուսումնասիրություններ են կատարվում կիրառություն գտնել տրիբոլոգիական մեթոդով ստացված ածխածնային թաղանթների համար [3,4]: Սպասվում է, որ նման թաղանթներ աճեցնելը հնարավորություն կտա ստանալ նաև ճկուն էլեկտրոնային սխեմոտեխնիկական տարրեր:

Հայտնի է, որ փափուկ մետաղները հետք են թողնում նույնիսկ թղթի մակերևույթին շփելիս: Կապարի այդ հատկությունը դարեր շարունակ օգտագործվել է գրելու և նշումներ անելու համար: Հետագայում կապարե ձողը փոխարինվել է գրաֆիտով, որով և ձևավորվել է ժամանակակից մատիտը: Եվ չնայած գրաֆիտի հետքը լայնորեն օգտագործվում է, որպես էլեկտրոնիկայում հնարավոր կիրառելի թաղանթ, այն սկսել են ուսումնասիրել բոլորովին վերջերս, իսկ մետաղների մակերևույթին գոյացող տրիբոթաղանթներն ուսումնասիրվել են միայն մեքենաների շփվող մասերի որակի կատարելագործման նպատակով և նրանց ֆիզիկական հատկությունները, ըստ էության, բացահայտված չեն:

Ներկա աշխատանքում ներկայացնում ենք ածխածնային և մի շարք մետաղների (Au, Ag, Cu, Al) շփաթաղանթների համար կատարված օպտիկական կլանման ինչպես նաև ռենտգենակառուցվածքային սպեկտրերի ուսումնասիրության արդյունքները: Ընդգծենք, որ մետաղական շփաթաղանթների նման հետազոտություն կատարվել է առաջին անգամ:

**Փորձարարական մաս.** Շփաթաղանթներ ստանալու համար պինդ տակդիրների մակերևույթները նախապես մշակվել են աբրազիվով, իսկ թղթե տակդիրի համար օգտագործվել է լազերային տպիչների համար նախատեսված լայն օգտագործման թուղթը: Փորձարկման նմուշները ստացել ենք գրաֆիտի փոշուց սեղմված աածխածնի կամ ձուլումից ստացված մետաղի ձողերը շփելով տակդիրի մակերևույթին՝ նույն հետագծով, հետ և առաջ: Օպտիկական սպեկտրերի ստացման համար օգտագործել ենք սաաֆիրե տակդիրներ: Հարկ է նշել, որ ներքևում բերվող օրինաչափությունները լիովին անկախ են տակդիրի նյութի տեսակից:

**Արդյունքներ և քննարկում.** Շփաթաղանթների (թե աշխաճնային և թե մետաղական) ստացման ընթացքին բնորոշ է այն, որ բազմաթիվ շփման ցիկլերից հետո շփումը տակդիրի և շփվող ծավալային ձողի միջև կտրուկ անկում է ապրում, որից հետո կայունանում է: Կայունացման ցիկլերի նույն քանակը նկատելի է նաև ծնիչ ձողի մաշելու դինամիկայում. այդ պահից սկսած, հետագա շփման ընթացքում ձողի սպառումը հասնում է իր կայուն նվազագույն արժեքին: Նման վարքը բնորոշ է ինքնակվամակերպման երևույթին, երբ տակդիրի վրա աճած թաղանթի մակերևույթին և ծնիչ ձողի մակերևույթին շփումից ինքնաբերաբար ձևավորվում է նույնատիպ մոլեկուլյար կառույց:



Նկ. 1. Աժխաճնային շփաթաղանթների օպտիկական և ռենտգենյան բնութագրերը. ա) օպտիկական կլանման սպեկտրի փոփոխությունը՝ կախված շփման ցիկլերի քանակից ( $N$ -ով նշված է շփման քայլերի քանակը, սլաքով ցույց է տրված կաչուն ժապավենի կիրառումից հետո սրացված սպեկտրը, ԱԱԹ-ով նշված է քիմիական փոշիացման նստեցումով սրացված ադամանդանման աժխաճնային թաղանթի կլանման սպեկտրը) բ) ռենտգեն-կառուցվածքային սպեկտրը. 1-սրացված մակերևույթը, 2 – կաչուն ժապավենի կիրառումից սրացված մակերևույթը

Թեև աժխաճնային շփաթաղանթները անզեն աչքով անթափանց են երևում, մանրադիտակով մանրամասն ուսումնասիրելիս ի հայտ է գալիս, որ դրանք պարունակում են համեմատաբար թափանցիկ լայն տիրույթներ, ինչը բացատրվում է այդ թաղանթներում շփման ուժի ազդեցությամբ  $sp^2$ - $sp^3$  ֆազային անցումով [5]: Ինչպես հայտնի է, խիստ կարգավորված  $sp^2$  փուլից ցանկացած կառուցվածքային շեղման արդյունքում ձևավորվում է ադամանդանման աժխաճնի փուլ, որը թափանցում է տեսանելի լույսը, ըստ այդմ՝ ստացված օպտիկական կլանման սպեկտրները արտահայտում են թափանցիկ տիրույթների առանձնահատկությունները (նկ. 1ա):

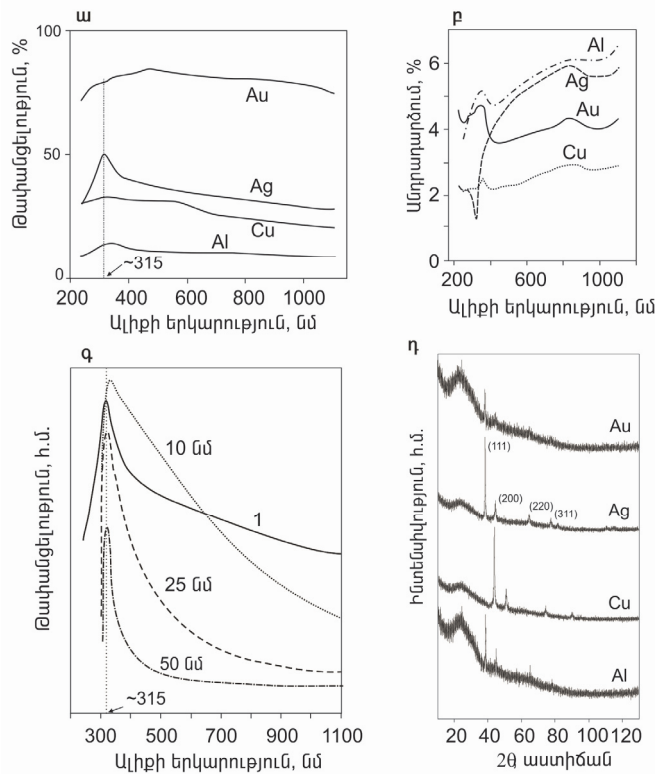
Շփման ցիկլերի հետ որոշակի ձև է ստանում նաև կլանման աժխաճնի շփաթաղանթի օպտիկական կլանման սպեկտրը: Սկզբից այն նման է ադամա-

դանման ածխածնի սպեկտրին, երբ լույսի կլանումը հիմնականում տեղի է ունենում ուլտրամանուշակագույն տիրույթում՝ սկսած ~5 էՎ էներգիայից, իսկ շփման ցիկլերի թվի մեծացման հետ առաջանում է հստակ պիկ, մոտավորապես՝ 4,6 էՎ էներգիայի արժեքի տակ: Թաղանթի օպտիկական բնութագրի հակառակ ընթացքը տեղի է ունենում, երբ բազմաթիվ շփումներից ձևավորված ածխածնային շփաթաղանթի մակերևույթից կաչուն ժապավենով հեռացվում է նուրբ շերտ: Այս դեպքում, կաչուն ժապավենի կիրառման հետ վառ արտահայտված 4,6 էՎ պիկը վերանում է, և ընդհանուր սպեկտրը նկարագրում է ադամանդանման ածխածնի վարքը. կլանում է միայն լույսի սպեկտրի ուլտրամանուշակագույն տիրույթում: Սա հիմք է տալիս պնդելու, որ ածխածնային շփաթաղանթի մակերևույթին ձևավորվում է հեքսագոնալ բյուրեղային ցանցով շերտ: Ռամանյան սպեկտրը ևս ապացուցում է այդ: Լրացուցիչ ռենտգեն-կառուցվածքային հետազոտությունը ևս ապացուցում է վերը նշված դրույթը (նկ. 1բ): Նախկինում նշել էինք, որ ռամանյան սպեկտրների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ նման թաղանթն ունի նանոմետրական հաստություն, քանի որ նրանում գերակշռում են երկշերտ գրաֆենային տիրույթները [6]:

Մետաղական շփաթաղանթները ևս թափանցիկ են լույսի սպեկտրի տեսանելի տիրույթում, ինչը հնարավորություն է տալիս գաղափար կազմել դրանց կառուցվածքային առանձնահատկությունների մասին: Այսպես, էլեկտրոնիկայում լայնորեն օգտագործվող մետաղների՝ ոսկու, արծաթի, պղնձի և ալյումինի շփաթաղանթների կլանման սպեկտրերի վրա ակնհայտ նկատելի են առանձնահատկություններ ուլտրամանուշակագույն տիրույթում (նկ. 2ա): Առանձին ուսումնասիրել ենք նաև թղթի տակդիրի վրա մետաղի շփումից ստացված հետքի օպտիկական անդրադարձման սպեկտրը: Դրանք ևս ցուցաբերում են նույն առանձնահատկությունները (նկ. 2բ):

Կլանման վարքում նման առանձնահատկություններ նկատվում են բարձր տեխնոլոգիական մեթոդներով ստացված նանոչափական մետաղական թաղանթներում [7,8]: Որպես օրինակ վերլուծել ենք արծաթի շփաթաղանթի և քիմիական փոշիացման մեթոդով նստեցված թաղանթների կլանման սպեկտրների նմանությունը [9]: Կարելի է նկատել, որ արծաթե շփաթաղանթում օպտիկական կլանումը ցուցաբերում է նույն առանձնահատկությունը, ինչ տեխնոլոգիապես ձևավորած թաղանթը (նկ. 2գ): Համեմատությունից կարելի է հետևություն անել, որ շփաթաղանթում օպտիկական պրոցեսները տեղի են ունենում 10-20 նմ հաստությամբ տիրույթներում: Մետաղների մակերևույթի օպտիկական բնութագրերի առանձնահատկությունները բացատրվում են պլազմոնային կլանման մեխանիզմով, ինչը հնարավոր է լինում դիտել հստակ կարգավորված տարածական ցանցի առկա-

յության դեպքում: Մեր թաղանթների ռենտգենակառուցվածքային բնութագրերը ցույց են տալիս, որ մետաղական շփաթաղանթների մակերևույթին գոյանում է տվյալ մետաղին բնորոշ տարածական ցանցի շերտ:



Նկ. 2. Մետաղական շփաթաղանթների օպտիկական և ռենտգենյան բնութագրերը: ա) սապֆիրի փակղիղի վրա ստացված թաղանթների թափանցման սպեկտրերը, բ) թղթի վրա ստացված թաղանթների անդրադարձման սպեկտրերը, գ) արծաթի շփաթաղանթի կլանման սպեկտրերի համեմատությունը բարձր տեխնոլոգիայով ստացված նանոթաղանթների նույն բնութագրի հետ. 1-մեր ստացած սպեկտրը, մյուսները – հողվածում հղված գրականությանից բերված սպեկտրերն են՝ թաղանթների հաստության նշումներով, դ) շփաթաղանթների ռենտգենակառուցվածքային բնութագրերը

**Եզրակացություն.** Շփման հետևանքով ինքնակազմակերպված մակերևութային շերտը ծավալային նյութից տարբերվող ֆիզիկական վարքով կառույց է: Ըստ այդմ, թե ածխածնային և թե մետաղական շփաթաղանթների մակերևութային շերտում ձևավորվում են նանոչափական հաստությամբ տիրույթներ, որոնց առկայությունը բնորոշում է ողջ թաղանթի ֆիզիկական հատկությունները:

## ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films/ **Novoselov K. S., et al** // Science.- 2004.- V. 306.-P.666-669.
2. **Hodgkinson R.J.** Possible semiconducting properties of noble metal films // J. Phys.: Condens. Matter. - 1990. –V. 2. -P. 6563-6567.
3. **Cheng-Wei Lin, Zhibo Zhao, Jaemyung Kim, Jiaxing Huang.** Pencil Drawn Strain Gauges and Chemiresistors on Paper // Scientific Reports.-2014.- 4. – P.3812.
4. **Tian-Ling Ren, He Tian Dan Xie, Yi Yang.** Flexible Graphite-on-Paper Piezoresistive Sensors. //Sensors.- 2012.-12.-P. 6685-6694.
5. **Badding, J.V., & Lueking, A.D.** Reversible High Pressure sp<sup>2</sup>-sp<sup>3</sup> Transformations in Carbon //Phase Transitions. -2007.- 80 (10-12).- P. 1033-1038.
6. Identification of Turbostratic Bilayer Graphene in Carbon Tribolayers /**A. Mailian, Zh. Panosyan, Y. Yengibaryan, et al** //American Journal of Nano Research and Applications. - 2017.- 5(3-1). –P.22-25.
7. **Axelevitch A., Gorenstein B., Golan G.** Investigation of Optical Transmission in Thin Metal Films. // Physics Procedia.- 2012- P. 32. –P. 1 – 13.
8. **Ranjgar A., Norouzi R., Zolanvari A., Sadeghi H.** Characterization and Optical Absorption Properties of Plasmonic Nanostructured Thin Films //Armenian Journal of Physics.- 2013.-v.6, No 4. –P. 198-220.
9. Ultra-thin Metal Films for Enhanced Solar Absorption / **N. Ahmad, J. Stokes, N.A. Fox, et al** //Nano Energy.- 2012.- V. 1, No 6. -P. 777-782.

**Ջ.Ր. ԲԱՆՕՍՅԱՆ, Ա.Ր. ՄԱԻԼՅԱՆ, Ե.Վ. ԵՆԴԻԲԱՐՅԱՆ, Տ.Գ. ԳՐԻԳՐՅԱՆ**

### **НАНОМЕТРИЧЕСКИЕ ОБЛАСТИ В ТРИБОСТРУКТУРАХ**

Путем сравнения данных, полученных в результате оптической спектроскопии и рентгеноструктурного анализа, выявлено существование областей нанометрической толщины на поверхности трибологически полученных слоев углерода и металлов (Au, Ag, Cu, Al).

**Ключевые слова:** трибология, углеродный слой, металлический слой, рентгеноструктурный анализ.

**ZH.R. PANOSYAN, A.R. MAILIAN, Y.V. YENGIBARYAN,  
S.G. GRIGORYAN**

### **NANOMETRIC AREAS IN TRIBOSTRUCTURES**

By comparing the data obtained by optical spectroscopy and the X-ray diffraction analysis, the existence of nanometric thickness on the surface tribologically developed layers of carbon and metals of Au, Ag, Cu, Al are revealed.

**Keywords:** tribology, carbon layer, metal layer, X-ray diffraction analysis.