

**Ժ.Ռ. ՓԱՆՈՍՅԱՆ, Ե.Վ. ԵՆԳԻԲԱՐՅԱՆ, Մ.Ռ. ՄԱՅԻԼՅԱՆ, Ա.Ռ. ՄԱՅԻԼՅԱՆ**  
**ԷԼԵԿՏՐՈՆ-ԽՈՌՈՉ ՓՈԽԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՇՓՈՒՄՈՎ ՁԵՎԱՎՈՐՎԱԾ**  
**ԱԾԽԱԾՆԱՅԻՆ ԹԱՂԱՆԹՆԵՐՈՒՄ**

Ուսումնասիրվել են գրաֆիտի և մեկուսիչ տակդիրի շփումից ձևավորված ածխածնային թաղանթի օպտիկական հատկությունները՝ կլանման և թափանցելության սպեկտրների միջոցով: Հայտնաբերվել է, որ նման ածխածնային թաղանթների ֆիզիկական վարքը նույնն է, ինչ որ պինդ մարմնային թաղանթներին: Հայտնաբերվել է նաև, որ այդ թաղանթների օպտիկական հատկությունների վրա մեծ ազդեցություն է ունի էլեկտրոնների և խոռոչների փոխազդեցությունը, որը և որոշում է լույսի կլանումը կապակցված էլեկտրոն-խոռոչ քվազի-մասնիկի՝ էքսիտոնի կողմից: Օպտիկական սպեկտրների առանձնահատկությունից հետևություն է արվել, որ գրաֆիտի շփումից ստացված ածխածնային թաղանթներում առկա է կարգավորված բյուրեղային կառուցվածքով գրաֆենային ենթաթաղանթ:

**Առանցքային բառեր.** ածխածին, թաղանթ, գրաֆիտ, գրաֆեն, էքսիտոն:

**Ներածություն:** Այն պահից ի վեր, երբ գիտափորձով ցույց տրվեց, որ գրաֆիտի բնածին շերտավորված մորֆոլոգիան հնարավորություն է տալիս ստանալ մեկ ատոմական շերտի հաստությամբ կայուն թաղանթներ, նմանատիպ կառուցվածքների ստացման մեթոդների որոնումը աննախադեպ վերելք ապրեց՝ ընգրկելով ժամանակակից գրեթե բոլոր նուրբ և երկչափ բյուրեղական տեխնոլոգիաները [1]: Սակայն, թեկուզև գիտական ուսումնասիրությունների նպատակով, ածխածնային նուրբ թաղանթների ստացման ամենապարզ և ծայրահեղ էժան մեթոդը՝ գրաֆիտի շփումը մեկուսիչ տակդիրի մակերևույթին, հետազոտողների ուշադրությունից ամբողջովին դուրս մնաց: Հիմնական պատճառը, ամենայն հավանականությամբ, կասկածն էր նման թաղանթների համասեռության և անընդհատության վերաբերյալ:

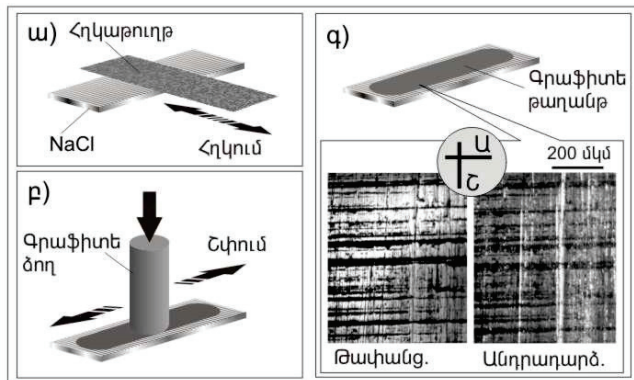
Այնուամենայնիվ, վերջին հնգամյակում մի քանի փորձեր կատարվեցին այս մեթոդի փորձարկման ուղղությամբ, և ինչպես ցույց տվեցին նախնական արդյունքները, այն բավականին խոստումնալից է [2]: Մասնավորապես ցույց տրվեց, որ շփումով ձևավորված գրաֆիտե կամ, որ նույնն է, ածխածնային թաղանթները կարող են ծառայել որպես նախնական ազդանշանի տվիչներ:

Չնայած գործնական կիրառության հեռանկարի առկայությանը, այդ թաղանթների ֆիզիկական և քիմիական հատկությունների խոր ուսումնասիրություն հազվադեպ է հանդիպում գիտական գրականության մեջ: Մինչդեռ, կատարված եզակի ուսումնասիրությունները ցույց են տալիս, որ այդ թաղանթներն իրենց հատկություններով շատ մոտ են բարդ տեխնոլոգիական մեթոդներով ստացվածներին, ինչը և պայմանավորում է դրանց հետագա ուսումնասիրության անհրաժեշտությո-

յունը: Մասնավորապես, ասվածը վերաբերում է այդ թաղանթների օպտիկական հատկություններին:

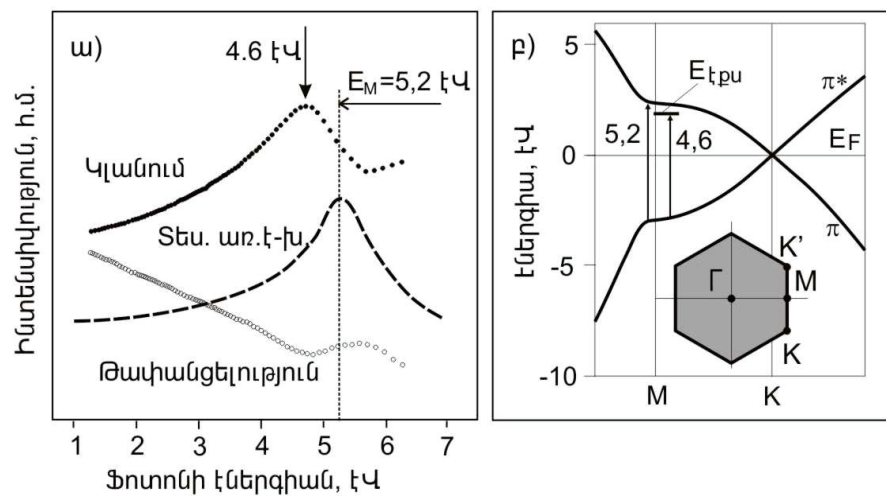
Ներկայացվող աշխատանքի նպատակն է ուսումնասիրել գրաֆիտի շփումով ձևավորվող ածխածնային թաղանթների օպտիկական հատկությունները կլանման և թափանցելության սպեկտրների վերլուծությամբ և համեմատությամբ:

**Փորձարկման մեթոդիկան:** Գրաֆիտի շփման համար որպես մեկուսիչ տակդիր օգտագործել ենք NaCl բյուրեղ, որի մակերևույթը մշակել ենք 30 մկմ հատիկայնության հղկաթղթով՝ շփելով այն ուղղագիծ և նույն հետագծով (նկ. 1ա): Նման մշակման հետևանքով բյուրեղի մակերևույթի վրա առաջացել են զուգահեռ ուղղագիծ ակոսներ: Այդ ակոսներին ուղղահայաց ուղղությամբ և բյուրեղի մակերևույթին ուղղահայաց պահելով շփվել է տեխնիկական գրաֆիտի ձողը (նկ. 1բ): Ստացված NaCl/գրաֆիտ-թաղանթ կառույցն ուսումնասիրվել է օպտիկական մանրադիտակով երկու ռեժիմներում՝ 1) թափանցման, երբ ուսումնասիրվող կառույցը դիտվում է թափանցող լուսավորությամբ և 2) անդրադարձմամբ (նկ. 1գ), երբ այն դիտվում է մակերևույթի նկատմամբ անկյան տակ ընկնող լուսավորության ներքո: Օպտիկական սպեկտրների պատկերը ստացել ենք T70+ ֆոտոսպեկտրոմետրով: Թափանցման ռեժիմում պատկերի վրա պրոյեկտվում են երկու շարք զուգահեռ մուգ բծեր՝ մեկը տակդիրի մակերևույթի ակոսների (նկ. 1գ, նշված է Ա տառով), իսկ մյուսը՝ շփման ուղղությամբ (նկ. 1գ, նշված է Շ տառով): Մուգ բծերը վերածվում են մասամբ փայլող բծերի անդրադարձման ռեժիմում, ինչը ցույց է տալիս, որ դրանք թաղանթի ստվար մասի պրոյեկցիաներն են: Բծերի արանքում լայն բացակները մնում են թափանցիկ, որոնք դրսևորում են էլեկտրահաղորդականություն [3]:



Նկ. 1. Գրաֆիտե թաղանթի՝ շփումով ստացման սխեման օպտիկական պատկերը մանրադիտակի տակ. ա) տակդիրի մակերևույթի մշակումը; բ) գրաֆիտե ձողի շփումը տակդիրի մակերևույթի հետ; գ) գրաֆիտե թաղանթի մի մասի պատկերը մանրադիտակի տակ. շրջանի մեջ ցույց են տրված մուգ բծերի ուղղությունները. Ա-տակդիրի ակոսների ուղղությունը, Շ-գրաֆիտե ձողի շփման ուղղությունը

**Հետազոտության արդյունքները:** Շփումով ձևավորված գրաֆիտե թաղանթներում թափանցիկ բացակների առկայությունը (որոշ դեպքերում մինչև 95%) հնարավորություն է տալիս ստանալ դրանց օպտիկական կլանման և թափանցելության սպեկտրները (նկ. 2ա): Ընդհանուր առմամբ օպտիկական սպեկտրներն արտահայտում են գրաֆիտի մորֆոլոգիայի յուրահատկությունները, մասնավորապես այն, որ էլեկտրոնի դիսպերսիան արտահայտվում է գրաֆիտի  $\pi$  կապերի հիբրիդացումով և ունի գծային կախվածություն ցածր էներգիաների տիրույթում (1,5~3,5 էՎ): Համեմատաբար բարձր էներգիաների տիրույթում (ուլտրամանուշակագույն տիրույթ) սպեկտրներում գերակայում է հատուկ կետ  $\sim 4,6$  էՎ էներգիայում:



Նկ. 2. Շփումով ձևավորված ածխածնային թաղանթների փրկական օպտիկական սպեկտրները (ա) և համեմատությունը գրաֆիտի մոնոշերտում էլեկտրոնի էներգետիկ դիսպերսիայի հետ (բ). ա) նկարում ընդհանուր գծով ցույց է տրված գրաֆիտի մոնոշերտում լույսի կլանման տեսական սպեկտրը՝ առանց էլեկտրոն-խոռոչ փոխազդեցության [12,13]

Ինչպես հայտնի է, գրաֆիտի մորֆոլոգիան կազմող բաղադրիչը կովալենտ կապով հեքսագոնալ բյուրեղային ցանցով ածխածնի մոնոշերտն է՝ գրաֆենը: Գրաֆիտի տարածական ցանցը ձևավորվում է  $\pi$  կապերով կազմված և իրարից հեռու (0,34 նմ) զուգահեռ ածխածնային մոնոշերտերից: Նման դասավորությունը հնարավորություն է տալիս գրաֆիտի հատկությունները բացատրելիս անտեսել շերտերի միջև փոխազդեցության էներգիան և օգտվել մոնոշերտում էլեկտրոնի դիսպերսիայի դիագրամից: Այդ դիագրամի վրա Բրիլլուենի գոտու M ուղղությամբ առկա է թամբային հատուկ կետ, որտեղ  $\pi$  և  $\pi^*$  գոտիների միջև էներգիայի բացակը կազմում է  $\sim 5,2$  էՎ: Մինչդեռ մեր ստացած սպեկտրների առանձնահատկությունն այն է, որ կլանման սպեկտրի գագաթն, ունի կարմիր շեղում այդ արժեքից  $\sim 0,6$  էՎ չափով: Նման շեղումը բնութագրական է մինչև մի քանի ատոմական շերտեր հաստությո-

յամբ գրաֆենային կառույցներին [4]: Այն բացատրվում է էլեկտրոն-խոռոչ զույգի՝ էքսիտոնի գոյությամբ, որի կապի էներգիան  $\sim 0,6$  էՎ է: Իսկ էքսիտոնի առաջացման և գոյատևման նախապայմաններից մեկը կատարյալ բյուրեղային միջավայրի առկայությունն է, որի դեպքում էլեկտրոնի ցրումը բյուրեղային ցանցի անկատարությունների վրա հասնում է նվազագույնի: Այստեղից կարելի ենթադրել, որ շփման միջոցով աճող թաղանթում շփման ուժի ներքո տեղի է ունենում ածխածնի բյուրեղական ցանցի ինքնաձևավորում [5], երբ լույսի էքսիտոնային կլանումն արտահայտվում է առավելագույն արդյունավետությամբ:

**Եզրակացություն:** Ընդհանրացնելով ստացված տվյալները, գրաֆիտի շփումով ձևավորված ածխածնի թաղանթի օպտիկական բնութագրերից կարելի է եզրակացնել.

- նման թաղանթների օպտիկական կլանման գործընթացում, էլեկտրոն-խոռոչ փոխազդեցության մեծ էներգիայի շնորհիվ, էքսիտոնային օպտիկական անցումները զգալի դեր ունեն;

- թաղանթը, չնայած ստացվում է անկանոն դասավորությամբ գրաֆիտի շփումից, պարունակում է կարգավորված բյուրեղային կառուցվածքով գրաֆենային ենթաշերտ:

#### ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Electric field effect in atomically thin carbon films / **K.S. Novoselov, et al** // Science. - 2004. - 306. - P. 666-669.
2. Surface Fractal Evolution Induced Rubbing for Rapid Room Temperture and Transfer-Free fabrication of Graphene on Flexible Polymer Substrate / **Y. Yu, et al** // Appl. Phys. Lett. - 2013. - 103. - P.011601-1-011601-5.
3. **Mailian M.R., Mailian A.R.** Separation and Electrical Properties of Self-Organized Graphene/Graphite Layers // AIP Conference Proceedings. - 2015. - 1646.- P.61-65.
4. **Mak K.F., Ju L., Wang F., Heinz T.F.** Optical Spectroscopy of Graphene from the Far Infrared to the Ultraviolet // Sol. St. Comms. - 2012. - 152. - P.1341-1349.
5. **Badding J.V., Lucking A.D.** Reversible High Pressure  $sp^2$ - $sp^3$  Transformations in Carbon // Phase Transitions. - 2007. - 80. (10-12). - P.1033-1038.

**Ж.Р. ПАНОСЯН, Е.В. ЕНГИБАРИАН, М.Р. МАИЛЯН, А.Р. МАИЛЯН**  
**ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В УГЛЕРОДНЫХ**  
**СЛОЯХ, ПОЛУЧЕННЫХ ТРЕНИЕМ**

Исследованы оптические свойства слоев углерода, их спектры поглощения и пропускания, полученных трением графита о поверхность диэлектрической подложки. Обнаружено, что физическое поведение подобных углеродных слоев подобно поведению твердотельных слоев. Обнаружено также, что на оптические свойства этих слоев большое влияние оказывает взаимодействие электронов и дырок, которое определяется поглощением света квазичастицей электронно-дырочной пары. По особенностям оптических спектров сделано заключение, что в слоях, полученных путем трения графита, существует подслои упорядоченного кристаллического графена.

**Ключевые слова:** углерод, слой, графит, графен, экситон.

**ZH.R. PANOSYAN, Y.V. YENGIBARYAN, M.R. MAILIAN, A.R. MAILIAN**  
**ELECTRON-HOLE INTERACTION IN CARBON LAYERS OBTAINED**  
**BY RUBBING**

The optical properties, spectra of absorption and transmission, of carbon layers obtained by rubbing graphite against the surface of a dielectric substrate are studied for the first time. It is revealed that the physical behavior of obtained layers is identical to that of solid-state layers. It is also found that the electron-hole interaction has great influence on layer's optical properties, determining light absorption by excitons, electron-hole pairs. By the peculiarities of optical spectra it is concluded that in carbon layers obtained by rubbing a sub-layer of ordered crystalline graphene is present.

**Keywords:** carbon, layer, graphite, graphene, exciton.

UDC 537.86/.87:621.372.2

**D.R. VOSKANYAN**  
**A SIMPLE METHOD TO OBTAIN THE RELATIONS BETWEEN THE**  
**TRANSMISSION AND REFLECTION AMPLITUDES OF THE LEFT AND**  
**RIGHT SCATTERING PROBLEMS**

The proposed approach regarding the relations between the transmission and reflection amplitudes of the left and right scattering problems has an explicit advantage compared to the method of the subject relations received based on the group theory (see, for example, [1]).

**Keywords:** left and right scattering problems, transmission and reflection amplitudes, Wronskian of the Schrodinger equation.

In this work, it is shown that the well known relations between the transmission and reflection amplitudes of the left and right scattering problems can be obtained as a