

Bi₂Se₃ VƏ Bi₂Se₃<Cu> OPTİK XASSƏLƏRİ

Ş.K. QUDAVASOV^{1,2}, N.A. ABDULLAYEV^{1,3}, C.N. CƏLİLLİ¹,
Y.A. ABDULLAYEV¹, Z.İ. BƏDƏLOVA¹, İ.A. MƏMMƏDOVA¹

¹Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutu,
AZ1143 Bakı, H.Cavid pr., 131

²Fransız-Azərbaycan Universiteti, AZ1010, Bakı, Nizami küç., 183

³Bakı Dövlət Universiteti, AZ1148, Bakı, Z.Xəlilova küç., 23

e-mail: shamilkamal1989@gmail.com

Dar zolaqlı Bi₂Se₃ klassik 3D topoloji izolyator və geniş tədqiq olunan termoelektrik materialdır. Bu işdə spektroskopik ellipsometriya yanaşmalarından istifadə edərək Bi₂Se₃ və Bi₂Se₃<Cu>-un optik xassələri (foton enerjisi 0,7 eV-dən 6,5 eV-dək) və düz keçidlərin enerjiləri müəyyənləşdirilmişdir. Cody-Lorens və Lorens optik ossilyatorlarının köməyi ilə dispersiya asılılığı eksperimental nəticələri ilə uzlaşdırılmışdır. Beləliklə, Bi₂Se₃ və Bi₂Se₃<Cu> üçün maksimum udulmanın 1.900 eV və 1.949 eV keçidlərinə uyğun olduğu müəyyən edilmişdir.

Açar sözlər: spektral ellipsometriya, ellipsometrik bucaqlar, foton enerjisi, elliptik qütbləşmə, əks əmsalları, spektral xətt, ossilyator

PACS: 78.20.-e, 78.20.Ci

GİRİŞ

Son vaxtlar topoloji xüsusiyyətlərin aşkarlanması nəticəsində tetradimit tipli strukturlara maraq artmışdır. Topoloji xüsusiyyətlərə əlavə olaraq bu tip strukturlar geniş tədqiq olunan termoelektrik materiallardır. Optik xüsusiyyətlərin araşdırılması bu strukturlarda baş verən əsas fiziki proseslərin daha ətraflı başa düşülməsi üçün lazımdır. Yük daşıyıcılarının yüksək konsentrasiyası səbəbindən (təxminən $10^{17} \sim 10^{19} \text{sm}^{-3}$) qadağan olunmuş zolağın enini eksperimental və nəzəri olaraq öyrənmək hələ də çətindir. Yük daşıyıcılarının konsentrasiyasının yüksək olması Burştein-Moss effektinə səbəb olur. Buna görə də, uzaq infraqırmızı spektrdə sərbəst elektronlar tərəfindən güclü udulma olduğundan qadağan olunmuş zolağı təyin etmək çətindir. Eyni zamanda, energetik zolağın quruluşunun qiymətləndirilməsində müəyyən uğurlar var [1]. Bu strukturların günəş hüceyrələrinə tətbiqi xüsusi maraq doğura bilər. Günəş hüceyrəsi tərəfindən udulan günəş işığının çox hissəsi istilik artımına sərf olduğundan, bu strukturların termoelektrik təsirləri istiliyi elektrik enerjisinə çevirmək üçün istifadə edilə bilər [2]. Aşağıda göstəriləndiyi kimi bu quruluşların udulmasının əsas hissəsi günəş intensivliyinin zirvəsi ilə üst-üstə düşür [3]. Məsələn, silikon üçün əsas keçid enerjisi 3.354 eV günəş intensivliyinin kənarına düşür [4].

TƏCRÜBƏ VƏ NƏTİCƏLƏRİN MÜBAHİSƏSİ

Tədqiqat M-2000 DI (J.A. WoollamCo, Inc.) spektroskopik ellipsometrə aparılmışdır. Ellipsometrik parametrlər Ψ və Δ -nin foton enerjisindən spektral asılılığı 0,7-6,5 eV foton enerjisi aralığında, 50 meV addım ilə, düşmə bucaqlarının 60° - 75° aralığında, 5° addım ilə alınmışdır. Ellipsometrik parametrlər Δ və Ψ

ilə əlaqəli olan ellipsometriyanın əsas tənliyi və eliptik olaraq qütbləşmiş işığın p və s komponentləri üçün Frinel əks əmsallarının r_p və r_s -nin kompleks dəyərləri [5] şəklində yazılmışdır:

$$tg(\Psi)e^{i\Delta} = \frac{r_p}{r_s} \quad (1)$$

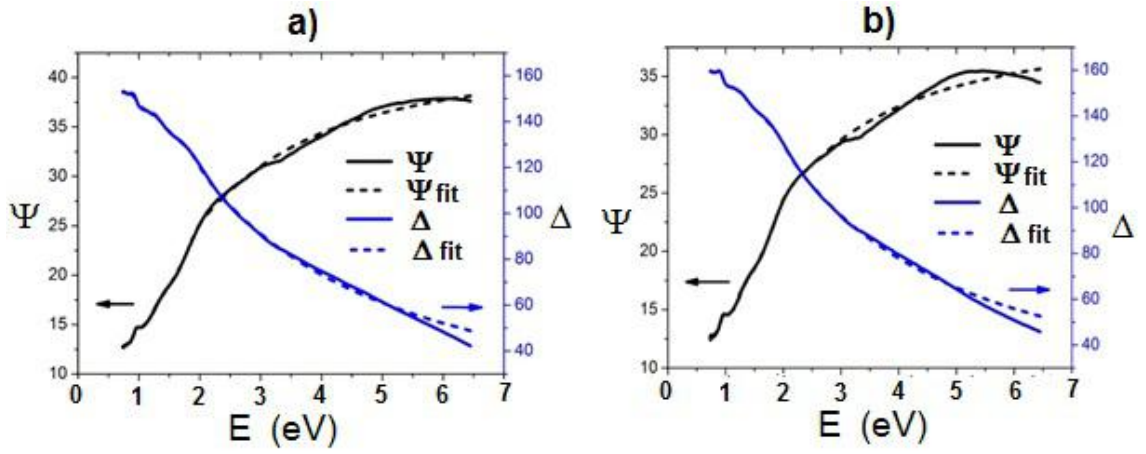
Dispersiya nisbətləri Complete EASE mühitində simulyasiya edilmişdir. Optik keçidlər əsasən Lorens spektral xəttinin formasına uyğundur, buna görə də, dispersiya əlaqəsi olaraq Lorens ossilyatoru istifadə edilmişdir:

$$L(E) = \frac{A\Gamma E_n}{E_n^2 - E^2 + i\Gamma E} \quad (2)$$

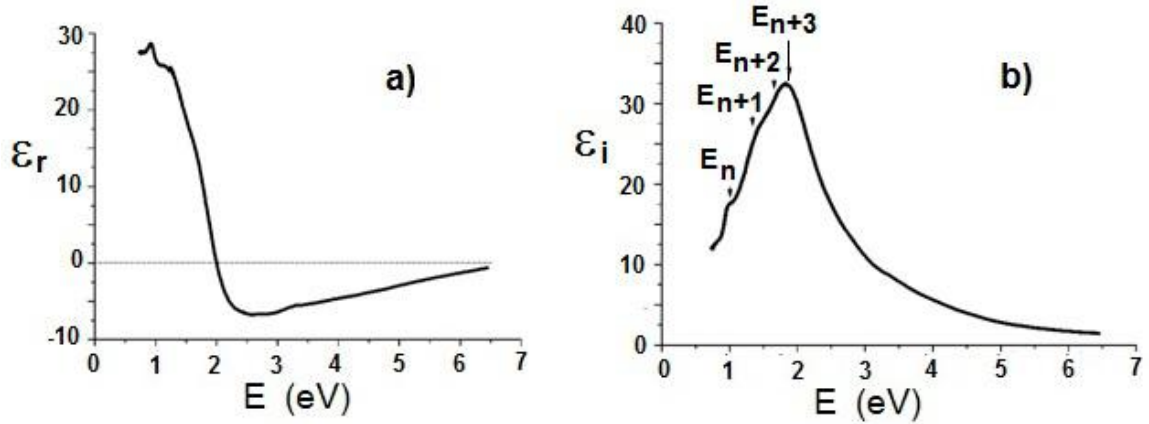
A - amplitud, Γ - genişlənmə, E_n - kritik nöqtənin enerjisi, E - fotonun enerjisidir. Cody-Lorens ossilyatoru qadağan olunmuş zonanın ölçüsünü nəzərə alan Lorens ossilyatorunun bir formasıdır. Simulyasiyaların və təcrübələrin uzlaşması orta kvadrat səhvindən istifadə edərək qiymətləndirilmişdir. Orta kvadrat səhvin 20-dən az olduqda simulyasiya etibarlı sayılır.

Simulyasiya üçün bir Cody-Lorens ossilyatoru və üç Lorens ossilyatoru istifadə edilmişdir. Hər iki quruluş üçün Bi₂Se₃ və Bi₂Se₃<Cu> təcrübə ilə yaxın uyğunluq əldə edildi, ortalama kvadrat səhvləri müvafiq olaraq 9.5 və 11.3-dir (şəkil 1).

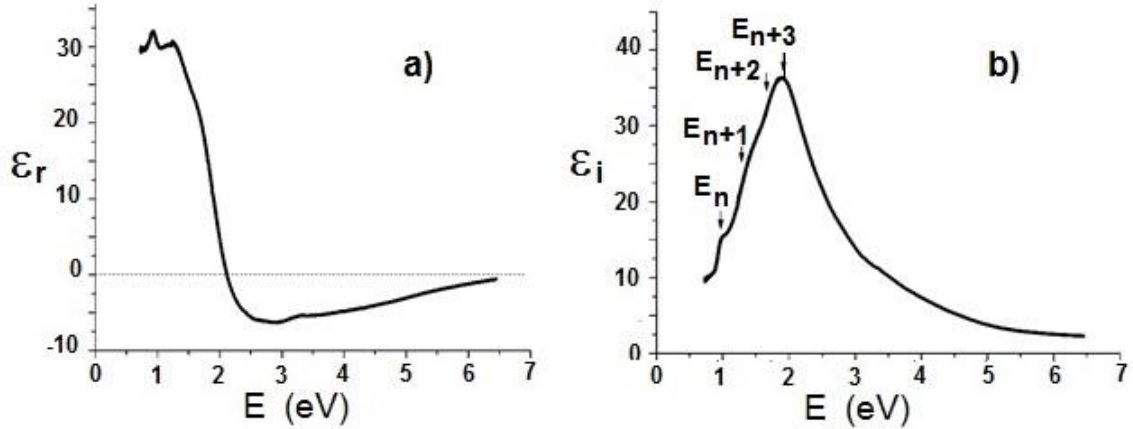
Bi₂Se₃ və Bi₂Se₃<Cu> üçün təcrübədən alınan dielektrik funksiyaların qrafikləri şəkil 2-də göstərilmişdir. Kritik nöqtələr səviyyələrin keçid sıxlığı ilə əlaqəli olan dielektrik funksiyanın xəyali hissəsində göstərilir (şəkil 2a). Pik hər iki quruluş üçün E_{n+3} kritik nöqtəsinə düşür.



Şəkil 1. Ellipsometrik bucaqların Ψ və Δ təcrübəsi (qatı xətt) və simulyasiyası (nöqtəli xətt): a) Bi₂Se₃, b) Bi₂Se₃<Cu>.



Şəkil 2. Bi₂Se₃ üçün dielektrik funksiyanın həqiqi (a) və xəyali (b) hissələri.



Şəkil 3. Bi₂Se₃<Cu> üçün dielektrik funksiyanın həqiqi (a) və (b) xəyali hissələri.

Cədvəl 1.

Bi₂Se₃ və Bi₂Se₃<Cu>-un kritik nöqtələri

Nümunə	Kritik nöqtələrin tərtibi	Kritik nöqtə enerjisi, eV	Eni, eV
Bi ₂ Se ₃	E_n	1.013	0.6164
	E_{n+1}	1.343	0.2581
	E_{n+2}	1.656	1.6450
	E_{n+3}	1.900	0.4000
Bi ₂ Se ₃ :Cu	E_n	1.012	1.7230
	E_{n+1}	1.350	0.2971
	E_{n+2}	1.774	0.3423
	E_{n+3}	1.949	0.4439

Cədvəl 1 tapılan kritik nöqtələri göstərir. Misin tətbiqi kritik nöqtələrin ultrabənövşəyi bölgəyə doğru dəyişməsinə gətirib çıxarır. E_n nöqtəsi dəyişmir, E_{n+1} nöqtəsi 7 meV, E_{n+2} nöqtəsi 118 meV dəyişir. E_{n+3} kritik nöqtəsi Bi_2Se_3 və $\text{Bi}_2\text{Se}_3\langle\text{Cu}\rangle$ üçün uyğun olaraq 1.900 eV və 1.949 eV-yə bərabərdir, enerji 49 meV miqdarında dəyişmişdir. Hər iki quruluş üçün dispersiyani simulyasiya edərəkən qadağan olunmuş zolağın eni 0,706 eV, həqiqi qadağan olan zolaq isə 0,1-0,3 eV aralığında qiymətləndirilir [1]. Bu kəmiyyətin M_0 tipli kritik nöqtənin spin-orbit parçalanmasına uyğun olduğu istisna edilmir [6].

enerjiləri ilk dəfə qiymətləndirilmişdir. Mis aşqarı əlavə edildikdə kritik nöqtələrin spektri ultrabənövşəyi bölgəyə doğru dəyişməsi müşahidə olunur.

Maraqlıdır ki, icazə olunan bütün əsas keçidlər günəşin spektral intensivliyinin əsas hissəsinə 1 ilə 3 eV arasında düşür [3]. Beləliklə, bu nəticələr yüksək səmərəli günəş panellərinin düzəldilməsi üçün səmərəli ola bilər.

Bu iş Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Elmin İnkişafı Fondu tərəfindən maliyyə dəstəyi ilə həyata keçirilmişdir (Qrant № EIF-BGM-3-BRFTF-2+/2017-15/02/1 və № EIF/MQM/Elm-Tehsil-1-2016-1(26)-71/16/1-M-01).

NƏTİCƏ

Bi_2Se_3 və $\text{Bi}_2\text{Se}_3\langle\text{Cu}\rangle$ üçün əsas kritik nöqtələrin

-
- [1] *İ.A. Nechaev, R.C. Hatch, M.Bianchi, D. Guan, C. Friedrich, I. Aguilera, J.L. Mi, B.B. Iversen, S. Blügel, Ph. Hofmann və E.V. Çulkov.* Phys. Rev. B87, 2013, 121111 (5s.).
- [2] *A. Bayramov, G. M. Əhmədov, N.A. Səfərov, S.M. Bayramova.* AJP FİZİKA, 13 (4), 2007, 156-158.
- [3] *A.P. Kirk.* Günəş fotovoltaiik hüceyrələri: Fotonlar elektrik enerjisinə. Akademik Mətbuat, 138r. 2015.
- [4] *P.Lautenschlager, M.Garriga, L.Vina, M. Cardona.* Phys. Rev.B 36, 1987, 4821-4830.
- [5] *A.Yu.Qamzaeva, E.G.Əlizadə, N.T.Məmmədov, N.A. Abdullaev, I.R. Əmiraslanov, Y.N. Əlieva, H.N. Əhmədova, G.X. Əjdarov, K.Ş. Kaxramanov, S.A. Nemov.* Yarımkəçiricilərin Fizikası və Texnologiyası, 53 (2), 2019, 235-240.
- [6] *M. Cardona.* Modulyasiya spektroskopiyası. Akademik Mətbuat, 358s.,1969; M. Cordona, Modulyasiya Spektroskopiyası, M., Mir, 1972.

Ш.К. Гудавасов, Н.А. Абдуллаев, Д.Н. Джалилли, Ю.А. Абдуллаев, З.И. Бадалова, И.А. Мамедова

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА Bi_2Se_3 И $\text{Bi}_2\text{Se}_3\langle\text{Cu}\rangle$

В данной работе методами спектроскопической эллипсометрии получены мнимые и действительные части диэлектрической функции монокристаллов Bi_2Se_3 и $\text{Bi}_2\text{Se}_3\langle\text{Cu}\rangle$ в диапазоне энергий фотонов от 0,7 эВ до 6,5 эВ, определены энергии разрешенных прямых переходов. С помощью оптических осцилляторов Коди-Лоренца и Лоренца, дисперсионное соотношение приведено в соответствие с экспериментальными данными. Также определено что, максимальное поглощение соответствуют переходам в 1,900 эВ и 1,949 эВ для Bi_2Se_3 и $\text{Bi}_2\text{Se}_3\langle\text{Cu}\rangle$ соответственно.

Sh.K. Qudavasov, N.A. Abdullayev, J.N. Jalilli, Y.A. Abdullayev, Z.I. Badalova, I.A. Mammadova

OPTICAL PROPERTIES OF Bi_2Se_3 AND $\text{Bi}_2\text{Se}_3\langle\text{Cu}\rangle$

In this work, by spectroscopic ellipsometry the imaginary and real parts of the dielectric function of Bi_2Se_3 and $\text{Bi}_2\text{Se}_3\langle\text{Cu}\rangle$ single crystals were obtained in the photon energy range from 0.7 eV to 6.5 eV, and were determined the energies of allowed direct transitions. By the help of Cody-Lorentz and Lorentz optical oscillators, the dispersion relation is adjusted in conformity with the experimental data. It was also determined that the maximum absorption corresponds to the transitions at 1.900 eV and 1.949 eV for Bi_2Se_3 and $\text{Bi}_2\text{Se}_3\langle\text{Cu}\rangle$, respectively.

Qəbul olunma tarixi: 03.02.2021