

(TlGaS₂)_{1-x}(Nd₂S₃)_x (0 ≤ x ≤ 0,007) MONOKRİSTALLARININ OPTİK VƏ FOTOELEKTRİK XASSƏLƏRİP.H. İSMAYİLOVA, A.İ. HƏSƏNOV, S.S. ABDİNBOYOV, A.Ə. HACIYEVA,
X.Ş. VƏLİBOYOVAzərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutu,
H.Cavid pr. 131, AZ-1143, Bakı, Azərbaycan
e-mail: p.ismayilova@physics.science.az

Üçqat TlGaS₂ yarımkəçirici birləşməsinin fotoelektrik və optik xassələrinə nadir torpaq elementi olan neodimlə aşqarlanmanın təsiri tədqiq olunmuşdur. (TlGaS₂)_{1-x}(Nd₂S₃)_x sistemində Nd-in miqdarının artması spektrin aşqar oblastındaki (0,5 - 1,2 mkm) fotoaktiv udmanı gücləndirir. Güclü elektrik sahəsində tərkibin x=0,002 qiymətində aşqar sahədəki fotonəssaslıq iki tərtib yüksələrək məxsusi oblastdakı qiymətinə bərabər olur. 90-300 K temperatur intervalında optik udma sərhədinin tədqiqi (TlGaS₂)_{0,997}(Nd₂S₃)_{0,003} üçün qadağan zonanın eninin E_g, TlGaS₂-yə nisbətən ortalama 13 meV az olduğunu göstərdi. Neodimlə aşqarlanma E_g-nin temperatur asılılığında müsbət qradiyentliyi saxladı.

Açar sözlər: bərk məhlul, nadir torpaq elementi, optik udulma sərhədi, fotokeçiricilik
PACS: 82.33.Pt; 72.40.+w; 78.20.Ci

Nanotexnologiyanın və yarımkəçiricilər elektronikasının inkişafı fiziki parametrlərin geniş spektrinə malik yeni materialların axtarışını tələb edir. Yarımkəçiricilər və kvant elektronikasının nailiyyətləri mürəkkəb yarımkəçiricilərin axtarışı və tədqiqi ilə ayrılmaz şəkildə bağlıdır. Bu məqsədlə yeni mürəkkəb yarımkəçirici birləşmələrin sintezi və yetişdirilməsi yarımkəçiricilər fizikası qarşısında duran əsas məsələlərdən biridir. Yarımkəçirici kristallar arasında güclü anizotropiyaya və zəncirvari – laylı quruluşa malik monokristallar xüsusi yer tutur. Zəncirvari – laylı yarımkəçiricilər sinfini genişləndirmək və onlarda yeni fiziki xassələr yaratmaq, fiziki parametrləri dəyişmək üçün In, Ga atomlarının nadir torpaq elementləri (NTE) ilə qismən əvəz olunması məqsədəuyğun şəkildə aparılmışdır. TIMX₂ (M-In, Ga, X-S, Se, Te) zəncirvari-laylı monokristallar yarımkəçirici cihazların, xüsusilə də rentgen detektorların və fotoelektrik çeviricilərinin hazırlanması üçün perspektivli materiallardır [1-4].

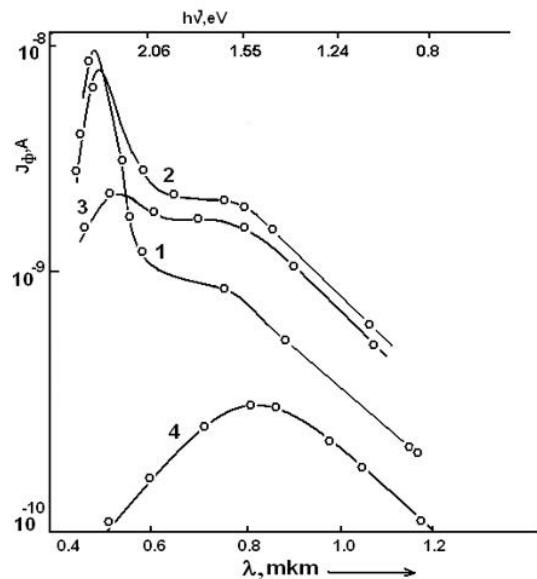
Tədqiq etdiyimiz (TlGaS₂)_{1-x}(Nd₂S₃)_x (0 ≤ x ≤ 0,003) sistemi bu baxımdan da effektiv material hesab olunur. (TlGaS₂)_{1-x}(Nd₂S₃)_x (0 ≤ x ≤ 0,003) sistemində qarşılıqlı təsiri təyin etmək üçün TlGaS₂ birləşməsinin əsasında yaranan bərk məhlulların hal diaqramı tədqiq olunmuşdur. (TlGaS₂)_{1-x}(Nd₂S₃)_x (0 ≤ x ≤ 0,003) sisteminin evtektikası 1120 K-də 20 mol% Nd₂S₃ olur. Bu temperaturda Nd₂S₃-ün TlGaS₂-də həll olması 5,0 mol%-dir [5].

(TlGaS₂)_{1-x}(Nd₂S₃)_x (0 ≤ x ≤ 0,003) monokristalları Bridjmen-Stokbarger metodu ilə alınmışdır. Alınmış monokristal nümunələrin temperaturun 300 K, fotonların enerjisinin 0,8-3 eV oblastında fotokeçiriciliyi öyrənilmişdir. Elektrik sahəsi laylar boyunca, işıq isə laylara perpendikulyar istiqamətdə yönəlmişdir. Nümunəyə indium ilə omik kontaktı qoyulmuşdur.

Şəkil 1-də alınmış (TlGaS₂)_{1-x}(Nd₂S₃)_x (0 ≤ x ≤ 0,003) birləşməsinin x=0,001; 0,002; 0,003 tərkibləri üçün zəif elektrik sahəsində, 300 K-də fotokeçiriciliyin (FK) spektral paylanması verilmişdir. Bu spektrlərdə (x=0,003-dən başqa) qısa dalğalı maksimumlar demək olar ki, üst-üstə düşür. Spektrin 0,6-

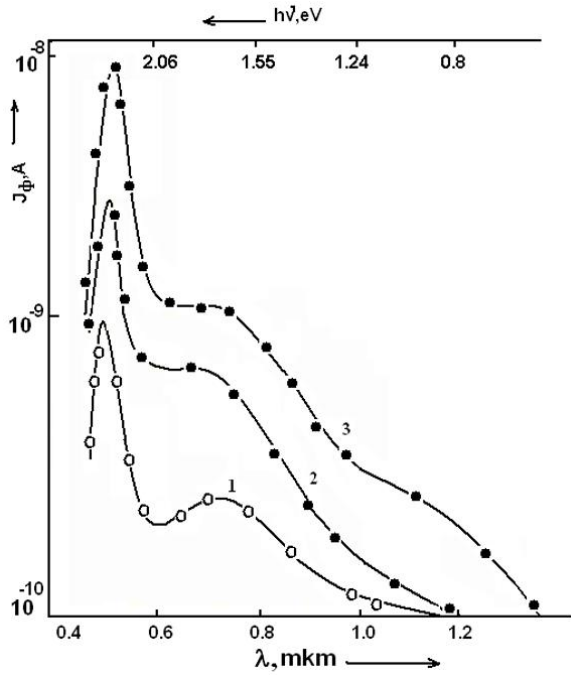
1,4 mkm oblastında bütün tərkiblər üçün maksimumu 0,8 mkm olan aşqar fotokeçiricilik mövcuddur. 300 K-də x=0,003 tərkib üçün məxsusi fotokeçiriciliyi aşkar etmək mümkün olmadı.

Bərk məhlulda nadir torpaq elementinin faizlərinin artması, zonalar arası FK-lə müqayisədə spektrin aşqar oblastında fotoaktiv udulmanı gücləndirir. TlGaS₂-də nadir torpaq elementi yeni səviyyələr yaratmır.

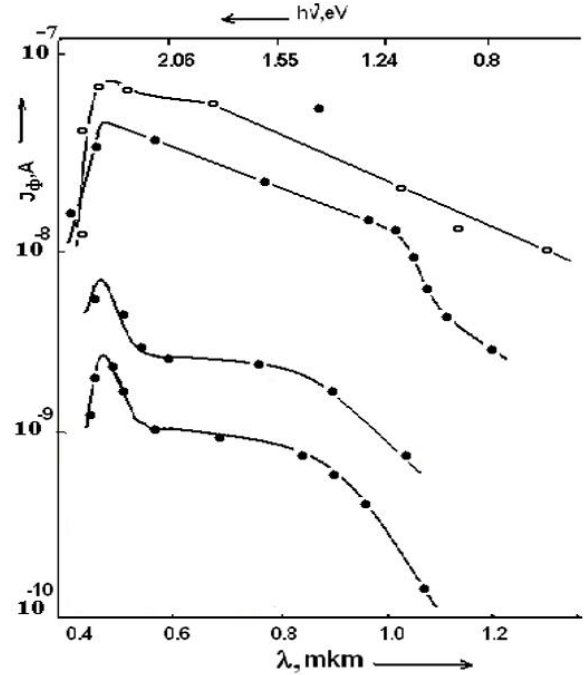


Şəkil 1. (TlGaS₂)_{1-x}(Nd₂S₃)_x monokristallarının 300K-də FK-in spektral paylanması. 1) x=0; 2) x=0,001; 3) x=0,002; 4) x=0,003.

Öyrənilən tərkiblər üçün aşqar FK nisbətən böyük gərginliklərdə (100V-dan böyük) meydana çıxır və spektrin geniş bir oblastını 0,5-1,2 mkm əhatə edir. (TlGaS₂)_{1-x}(Nd₂S₃)_x bərk məhlulunun ilkin komponentlərinin qadağan zonasının eni demək olar ki, eynidir. TlGaS₂ üçün E_g=2,67 eV, Nd₂S₃ üçün E_g=2,7 eV [509-510]. Məhz buna görə də, aşqar FK-də maksimumların yer dəyişməsi müşahidə olunmur.



Şəkil 2. (TlGaS₂)_{1-x}(Nd₂S₃)_x x=0,001 tərkibli mono-kristalın 300K-də və gərginliyin 1) 40V; 2) 80V; 3) 135V qiymətlərində fotokeçiriciliyin spektral paylanması.



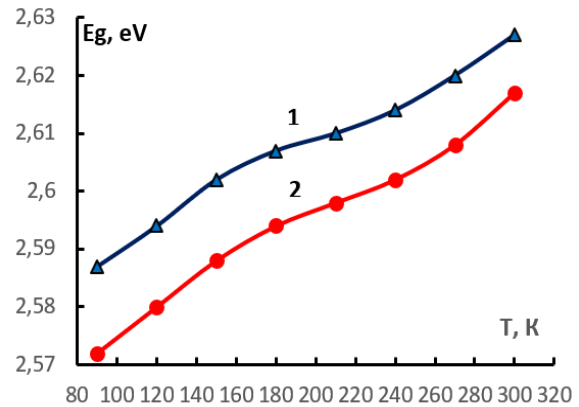
Şəkil 3. (TlGaS₂)_{1-x}(Nd₂S₃)_x x=0,002 tərkibli monokristalın 300K-də gərginliyin 1) 16 V; 2) 31 V; 3) 50 V; 4) 100 V qiymətlərində fotokeçiriciliyin spektral paylanması.

(TlGaS₂)_{1-x}(Nd₂S₃)_x bərk məhlullarının fəthəsəslığı verilmiş gərginliyin qiymətindən çox kəskin asılıdır. Gərginliyin artması x=0,001, x=0,002 tərkibləri üçün məxsusi və aşqar oblastda FK-in yüksəlməsinə səbəb olur (şəkil 2 və 3). Məhz buna görə də, aşqar fəthəsəslıq məxsusi oblastın qiymətinə nəzərən daha kəskin artır. 100 V gərginlikdə x=0,002 tərkib üçün aşqar oblastdakı fəthəsəslıq iki tərtib yüksələrək məxsusi oblastdakı qiymətinə bərabər olur. TlGaS₂ kristalından fərqli olaraq elektrik sahəsinin artması ilə kristalın aşqar keçiriciliyinin qırmızı sərhədi x≠0 uzun dalğalı oblasta tərəf sürüşür.

Belə qənaətə gəlmək olar ki, nadir torpaq elementli kristallarda elektrik sahəsinin artması, aşqar səviyyənin aktivliyini artırır. Görünür ki, TlGaS₂ kristalında nadir torpaq elementinə aid olan aşqar mərkəzlərinin potensial baryeri böyük qiymətə malikdir. Bu da qadağan zonanın eninin artması ilə əlaqələndirilir.

Temperaturun 90-300 K diapazonunda TlGaS₂ və (TlGaS₂)_{0,997}(Nd₂S₃)_{0,003} monokristallarının optik udulma sərhədi tədqiq edilmişdir. Nümunələr monokristal külçədən nazik lövhələr şəklində 20-90 mkm qalınlığında kəsilmişdir. Işıq C kristalloqrafik oxu paralel yönəldilmişdir. Optik buraxma spektrlərinin tədqiqi, MDR-23 monoxromatoru və azot kriostatı olan qurğunun köməyi ilə aparılmışdır. Qurğunun ayırma qabiliyyəti 2Å-dən az deyildir.

1-10⁵ sm⁻¹ intervalında optik udulma əmsalının α hesablanması üçün işıq selinin intensivliyinin qiymətindən istifadə edilmişdir, belə ki, bütün intervalı əhatə etmək üçün onu üç hissəyə bölərək üç cüt müxtəlif qalınlıqlı nümunələrdən keçən işıq seli nəzərə alınmışdır. Hər bir sahə üçün α, α=1/(d₂-d₁)×ln(I₁/I₂) düsturu ilə hesablanmışdır. Burada d₁ və d₂ nümunələrin qalınlığı I₁ və I₂ onlardan keçən işığın intensivliyidir.



Şəkil 4. TlGaS₂ (1) və (TlGaS₂)_{0,997}(Nd₂S₃)_{0,003} (2) kristallarının qadağan zonasının temperatur asılılığı.

Şəkil 4-də TlGaS₂ və (TlGaS₂)_{0,997}(Nd₂S₃)_{0,003} monokristallarının qadağan zonasının temperaturdan asılılığı verilmişdir. Tədqiq olunan kristalların qadağan zonasının eni E_g (αhν)²-nin düşən fotonun enerjisindən (hν) asılılığı əyrisinin düzxətli hissəsinin ekstrapolyasiyası nəticəsində absis oxu ilə kəsişmə nöqtəsinə görə müəyyən edilmişdir. Buraxma spektrinin analizi 90 - 300 K temperatur intervalında TlGaS₂ və (TlGaS₂)_{0,997}(Nd₂S₃)_{0,003} kristallarının qadağan zonasının eninin temperatur asılılığını izləməyə imkan verir. Tədqiqatlar göstərdi ki, TlGaS₂ monokristalının udulma sərhədinin strukturundan fərqli olaraq (TlGaS₂)_{0,997}(Nd₂S₃)_{0,003} kristalında aşağı temperaturlarda düz keçid yaxınlığında eksiton piki müşahidə olunmur. Lakin, udulma sərhədi temperaturdan asılı olaraq, temperatur azaldıqca uzun dalğalı oblasta doğru yerini dəyişir və temperatur əmsalı müsbət işarəsini saxlayır, yəni (TlGaS₂)_{0,997}(Nd₂S₃)_{0,003} birləşməsində

temperaturdan asılı olaraq qadağan zonasının eni artır. Qeyd etmək lazımdır ki, TlGaS₂ monokristalına nisbətən (TlGaS₂)_{0,997}(Nd₂S₃)_{0,003} –də uzun dalğalı oblasta doğru yerinin ortalama dəyişməsi 13 meV təşkil edir.

Otaq temperaturunda (TlGaS₂)_{0,997}(Nd₂S₃)_{0,003} monokristalının qadağan zonasının eni $E_g=2,617$ eV təşkil edir.

Temperaturun 90-300K intervalında (TlGaS₂)_{0,997}(Nd₂S₃)_{0,003} üçün qadağan zonanın eninin orta temperatur əmsalı $\frac{\partial E_g}{\partial T}$ hesablanmışdır. Bu əmsal TlGaS₂-də olduğu kimi [6] müsbət işarəli olub və $\frac{\partial E_g}{\partial T} = 2,1 \cdot 10^{-4} eV/K$ -dir. TlGaS₂ üçün isə orta temperatur əmsalı $\frac{\partial E_g}{\partial T} = 1,9 \cdot 10^{-4} eV/K$ –dir.

- [1] Физические свойства халькогенидов редкоземельных элементов. Под ред. Жузе. Изд-во Л., «Наука», 304 с., 1973.
- [2] Н.З.Гасанов, Э.М.Керимова. Исследование влияния внедрения редкоземельных элементов на физические свойства слоистых полупроводников TlGaS₂(Se₂). Fizika, 2008, cild XIV, №3. s. 99-100.
- [3] Э.М.Керимова, Н.З.Гасанов. Кристаллофизика сложных полупроводников на основе соединений типа TlV^{III}C₂^{VI}, включающих редкоземельные элементы и переходные металлы. АМЕА Хəбərləg, Fizika və Astronomiya seriyası. 2017, №2, С.12-26.
- [4] С.Н. Мустафаева, Ю.Г. Асадов, Э.М. Керимова, М.М. Асадов. Синтез, рентгенофазовый анализ и физические свойства твердых растворов TlGa_{1-x}Er_xS₂. Изв. НАН Азербайджана. Сер. Физика и астрономия. 2014, т. 34, №2, с.47–53.
- [5] Э.М. Керимова. Кристаллофизика низкоразмерных халькогенидов. Баку, «Елм», 712с., 2012.
- [6] С.Г.Абдуллаева, Н.А. Абдуллаев, Г.Л. Беленький, Н.Т. Мамедов, Р.А. Сулейманов. ФТП, 1983, т.17, в.11, с.2068–2070.

P.H. Ismailova, A.I. Hasanov, S.S. Abdinbekov, A.A. Hajiyeva, X.Sh. Velibekov

OPTICAL AND PHOTOELECTRIC PROPERTIES OF (TlGaS₂)_{1-x}(Nd₂S₃)_x (0≤x≤0,007) SINGLE CRYSTALS

The effect of doping with the rare-earth element neodymium of the ternary semiconductor compound TlGaS₂ on its photoelectric and optical properties has been studied. It has been established that an increase in the percentage of neodymium in the compound (TlGaS₂)_{1-x}(Nd₂S₃)_x (0≤x≤0.003) causes an increase in photoactive absorption in the impurity part of the spectrum, covering a wide range from 0.5 to 1.2 μm. In strong electric fields, the photosensitivity of the composition x = 0.002 in the impurity region becomes almost comparable to its value in the intrinsic region, while increasing by two orders of magnitude. The study of the optical absorption edge in the temperature range of 90–300 K made it possible to determine the band gap E_g of the (TlGaS₂)_{0,997}(Nd₂S₃)_{0,003} compound, which, in the studied temperature range, turned out to be, on average, 13 meV smaller than in TlGaS₂. Doping with neodymium retains a positive gradient in the temperature dependence of E_g .

П.Г. Исмаилова, А.И. Гасанов, С.С. Абдинбеков, А.А. Гаджиева, Х.Ш. Велибеков

ОПТИЧЕСКИЕ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ (TlGaS₂)_{1-x}(Nd₂S₃)_x (0≤x≤0,007)

Исследовано влияние легирования редкоземельным элементом неодимом тройного полупроводникового соединения TlGaS₂ на его фотоэлектрические и оптические свойства. Установлено, что рост процентного содержания неодима в соединении (TlGaS₂)_{1-x}(Nd₂S₃)_x (0≤x≤0,003) вызывает усиление фотоактивного поглощения в примесной части спектра, охватывающей широкую область от 0,5 до 1,2мкм. В сильных электрических полях фоточувствительность состава x=0,002 в примесной области становится почти сравнимой с ее значением в собственной области, увеличиваясь при этом на два порядка. Исследование края оптического поглощения в интервале температур 90–300 К позволило определить ширину запрещенной зоны E_g соединения (TlGaS₂)_{0,997}(Nd₂S₃)_{0,003}, которая оказалась в изученном температурном интервале в среднем на 13 мэВ меньше, чем в TlGaS₂. Легирование неодимом сохраняет положительный градиент температурной зависимости E_g .