

TlGa_{1-x}Dy_xSe₂ BƏRK MƏHLULLARININ ELEKTRİK VƏ OPTİK XASSƏLƏRİ

HÜSEYNOVA KƏMALƏ MÜSƏLLİM

Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası, H.M. Abdullayev adına Fizika İnstitutu,
Bakı, Az 1143, H. Cavid, 131

kama.mag@rambler.ru

TlGa_{1-x}Dy_xSe₂ ($x = 0; 0,01; 0,03$) kristalları sintez edilmişdir. Alınan kristallarda yükdaşıyıcıların daşınma mexanizmi öyrənilmişdir. Göstərilmişdir ki, TlGa_{1-x}Dy_xSe₂-də x -in artması ilə dəyişən cərəyanın keçiriciliyi, Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış səviyyələrin sıxlığı, sıçrayışların orta məsafəsi və onlara sərf olunan zaman artır. $77\div 300\text{K}$ intervalında TlGa_{1-x}Dy_xSe₂ ($x=0; 0,01; 0,03$) monokristalların optik udulma sərhəddi tədqiq edilmişdir. dE_g/dT temperatur əmsalı $80\div 120\text{K}$ intervalında TlGaSe₂ üçün $-3\cdot 10^{-4}$ eV/K, TlGa_{0,99}Dy_{0,01}Se₂ üçün isə $\approx -7\cdot 10^{-4}$ eV/K təşkil edir. TlGa_{0,99}Dy_{0,01}Se₂ üçün qadağan olunmuş zonanın eninin qısalması yer dəyişməsi TlGaSe₂ nəzərə alın 90 meV təşkil edir. Qadağan olunmuş zonanın eninin Dy-un konsentrasiyasından asılılığı TlGaSe₂<Dy> üçün xətti xarakter daşıyır.

Açar sözlər: bərk məhlullar, sıçrayışlı elektrik keçiriciliyi, optik udulma sərhəddi.

PACS: 71.20.Eh, 72.20.Jv, 72.40.+W, 71.35.Cc.

GİRİŞ.

TlGaSe₂ kristalları praktiki tətbiq nöqtəyi nəzərə alaraq çox cəlbedici materialdır. TlGaSe₂ monokristal laylı quruluşa malikdir. Yüksək fətohəssaslığı, yaddaş effekti ilə maraqlıdır, həmçinin bu kristalda faza keçidləri müşahidə edilir [1-3]. Bu kristalın geniş tədqiq olunmasına baxmayaraq, tərkibində nadir torpaq elementi olan TlGaSe₂ nümunələri az öyrənilmişdir. Belə əvəzetmələr fiziki xassələrin, parametrlərin kəskin dəyişməsinə və nizamlı dayanıqlı fazaların yaranmasına səbəb olur.

Hazırkı işdə TlGa_{1-x}Dy_xSe₂ bərk məhlullarında dəyişən elektrik sahəsində radiotezlik diapazonunda elektrik keçiriciliyinin mexanizmi və optik udulma sərhəddi müəyyən edilmişdir.

TƏCRÜBİ HİSSƏ.

İlkin komponent olaraq Tl (Tl 00), Ga (Ga 5N), Se (OCЧ 15-2), Dy (99.99%) maddələrindən istifadə edilmişdir. TlGa_{1-x}Dy_xSe₂ ($x=0; 0,01; 0,03$) nümunələri stexiometrik ölçüdə götürülmüş elementlər vakuumlaşmış (10^{-3} Pa) kvarts ampulalarda 1000 ± 5 K temperaturda 5-7 saat ərzində əridildikdən sonra sintez edilmişdir. Keyfiyyətli monokristallar Bricsen metodu ilə sintez edilmiş TlGa_{1-x}Dy_xSe₂ nümunələrindən alınmışdır. TlGa_{1-x}Dy_xSe₂ nümunələrinin elektrik ölçüləri 1920 Precision LCR Meter (IET LABS. INC. USA) cihazında ölçülmüşdür.

Elektrik ölçüləri üçün TlGa_{1-x}Dy_xSe₂ ($x = 0; 0,01; 0,03$) nümunələri müstəvi kondensator kimi hazırlanmışdır, elektrod olaraq gümüş pastası götürülmüşdür. TlGa_{1-x}Dy_xSe₂ kristallarının elektrik keçiriciliyi “c” oxuna perpendikulyar istiqamətdə ölçülmüşdür.

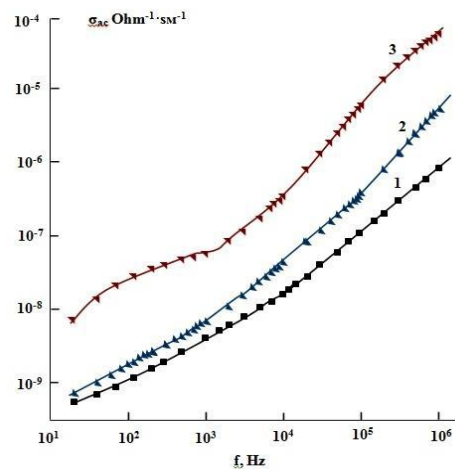
$80\div 220$ mkm qalınlıqlı nümunələrin elektrik ölçmələri 298 K-də aparılmış, dəyişən elektrik sahəsinin tezliyinin diapazonu isə $20\div 10^6$ Hz təşkil etmişdir. Nümunələrə tətbiq olunan elektrik sahəsinin gərginliyi 1 V olmuşdur. Bu gərginlik öyrənilən nümunələrin Volt-Amper xarakteristikasının omik oblastına uyğun gəlir. Nümunələrin elektrik tutumunun ölçmələri ± 0.01 pF dəqiqliyi ilə aparılmışdır, elektrik keyfiyyəti

faktorunun Q ($Q = 1/tg\delta$) ölçmə səhvi isə 0.001% təşkil etmişdir.

TlGa_{1-x}Dy_xSe₂ ($x=0; 0,01; 0,03$) nümunələrinin optik udulma spektrini öyrənmək üçün monokristallardan qalınlığı 20 mkm-dən 100 mkm-dək nazik təbəqə qoparıldı. Işıq nümunəyə kristalloqrafik “c” oxu istiqamətində yönəldilib, yəni laylara perpendikulyar salındı. Optik udulma spektrlərinin tədqiqi $77\div 300\text{K}$ intervalında MDR-23 monoxromatoru və UTREKS kriostatı vasitəsilə aparılmışdır.

NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN MÜZAKİRƏSİ.

TlGa_{1-x}Dy_xSe₂ ($x = 0; 0,01; 0,03$) nümunələrinin ac -keçiriciliyinin tezlikdən asılılığı öyrənilmişdir və şəkil 1-də verilmişdir. Şəkil 1-dən görüldüyü kimi TlGaSe₂ kristalında Dy miqdarının artması ilə ac -keçiriciliyinin qiyməti də uyğun olaraq artır.



Şəkil 1. TlGa_{1-x}Dy_xSe₂: $x = 0$ (1), 0,01 (2) və 0,03 (3), $T=298\text{K}$ -də kristalların keçiriciliyinin tezlikdən asılılığı.

TlGaSe₂ kristalı üçün $\sigma_{ac}(f)$ asılılığında 2 sahə müşahidə olunur. Tezliyin aşağı qiymətlərində $\sigma_{ac}\sim f^{0.6}$, sonra isə ($f\geq 10^4$ Hz)-də $\sigma_{ac}\sim f^{0.8}$ qanunu ilə artır. TlGa_{1-x}Dy_xSe₂ kristalı üçün isə $\sigma_{ac}(f)$ asılılığında 3

sahə müşahidə olunur: birinci hissə $\sigma_{ac} \sim f^{0.5-0.6}$, sonradan isə $\sigma_{ac} \sim f^{0.8}$ qanunu ilə əvəz olunurdu. Tezliyin 1 MHS-ə qədər sonrakı artması nəticəsində $\sigma_{ac} \sim f^{1.2}$ superxətti sahə müşahidə edildi. Alınan $\sigma_{ac} \sim f^{0.8}$ qanunu yükdaşıyıcıların Fermi səviyyəsinin yaxınlığında lokallaşmış hallarda sıçrayışlı hərəkət mexanizmini göstərir [4,5].

Cədvəlin 2-ci sütununda (Δf)-in dəyişmə intervalı göstərilir. Bu tezlik intervalında öyrənilən kristallarda $\sigma_{ac} \sim f^{0.8}$ asılılığı müşahidə olunmuşdur. $TiGa_{1-x}Dy_xSe_2$ üçün $\sigma_{ac}(f)$ -in təcrübədən tapılan qiymətlərindən Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış hallar sıxlığı (N_F) Mott modelinə görə aşağıdakı düsturdan hesablanmışdır:

$$\sigma_{ac}(f) = \frac{\pi^3}{96} e^2 k T N_F^2 a^5 f \left[\ln \left(\frac{v_{ph}}{f} \right) \right]^4 \quad (1)$$

Burada e - elektrik yükü, k - Boltzman sabiti, N_F - Fermi səviyyəsi yaxınlığındakı hallar sıxlığı, $a = 1/\alpha$ - lokallaşma radiusu, α isə lokallaşmış yük daşıyıcının dalğa funksiyasının sabiti $\psi \sim e^{-\alpha r}$; v_{ph} - fonon tezliyidir. Bərk məhlullar üçün N_F hesablayanda lokallaşmış radiusunun qiyməti $TiGaSe_2$ -də kimi $a=34 \text{ \AA}$, v_{ph} isə 10^{12} Hs götürülmüşdür [4,6].

Cədvəl.

$TiGa_{1-x}Dy_xSe_2$ bərk məhlulların Mott modelinin çərçivəsində hesablanmış parametrləri.

Kristalın tərkibi $TiGa_{1-x}Dy_xSe_2$	Δf , Hs	N_F , 10^{18} $eV^{-1}sm^{-3}$	τ , s	R , \AA	ΔE , eV
$x = 0$	10^4-10^6	1,98	10^{-6}	234	$1,9 \times 10^{-2}$
$x = 0,01$	10^3-10^5	2,97	10^{-5}	273	8×10^{-3}
$x = 0,03$	10^3-10^4	7,14	10^{-4}	312	$2,2 \times 10^{-3}$

Mott modelinin çərçivəsində hesablanmış parametrlərin qiymətlərindən görünür ki, Dy-un $TiGa_{1-x}Dy_xSe_2$ -də konsentrasiyası artdıqca, Fermi səviyyəsinin yaxınlığında yerləşən hallar sıxlığı artır.

Dəyişən cərəyanda sıçrayışlı keçiricilik nəzəriyyəsinə görə sıçrayışların orta məsafəsi (R) aşağıdakı ifadə ilə təyin edilir [5].

$$R = \frac{1}{2\alpha} \ln \left(\frac{v_{ph}}{f} \right). \quad (2)$$

Burada $f - f^{0.8}$ qanunu müşahidə olunan sahənin orta tezlik qiymətidir. İfadə (2)-dən hesablanmış sıçrayışların orta məsafəsi (R) $TiGa_{1-x}Dy_xSe_2$ kristalındakı yükdaşıyıcıların lokalizasiya mərkəzlərinin məsafəsindən təxminən 8-9 dəfə çoxdur.

Hesablanmış R -in qiyməti sıçrayışların orta vaxtı τ -nu (3) ifadəsinin köməkliliyi ilə təyin etməyə imkan verir:

$$\tau^{-1} = v_{ph} \cdot \exp(-2\alpha R) \quad (3)$$

$TiGa_{1-x}Dy_xSe_2$ -də Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış halların energetik yayılmasını (4)-ifadəsinə əsasən qiymətləndirmək olar [5].

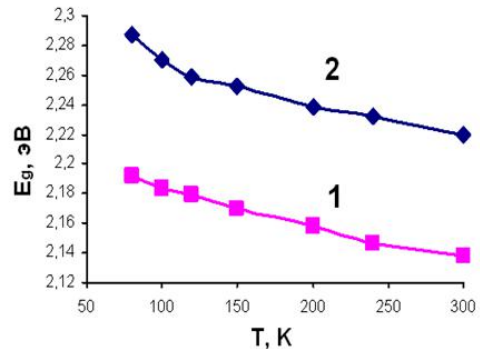
$$\Delta E = \frac{3}{2\pi R^3 \cdot N_F} \quad (4)$$

Cədvəldən görünür ki, Dy-un konsentrasiyası artdıqca $TiGa_{1-x}Dy_xSe_2$ bərk məhlulunda energetik zolağı ΔE daralır, Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış halların sıxlığı, sıçrayışların orta məsafəsi və

sərf olunan zaman artır. Beləliklə, müəyyən edilmişdir ki, Dy-un $TiGaSe_2$ -nin matrisasına daxil edilməsi onun fiziki xassələrini modifikasiya edir.

$TiGaSe_2$ və $TiGa_{0,99}Dy_{0,01}Se_2$ monokristallarının optik udulma spektrləri $77 \div 300 \text{ K}$ intervalında tədqiq olunmuşdur. Öyrənilən tərkiblər üçün $(ah\nu)^2$ düşən süənən enerjisinin asılılıq əyrisindən $(h\nu)$ düz xətti hissəsini ekstrapolyasiya edərək qadağan olunmuş zonanın eni (E_g) tapılmışdır (α – udma əmsalı). Aşağı temperaturalarda $TiGa_{0,99}Dy_{0,01}Se_2$ -də udma sərhəddi yaxınlığında eksitonun əmələ gəlməsi müşahidə olunmur. Temperatur əmsalı dE_g/dT $80 \div 120 \text{ K}$ intervalında $TiGaSe_2$ üçün $\approx 3 \cdot 10^{-4} \text{ eV/K}$, $TiGa_{0,99}Dy_{0,01}Se_2$ üçün isə $\approx 7 \cdot 10^{-4} \text{ eV/K}$ təşkil edir. $TiGa_{0,99}Dy_{0,01}Se_2$ üçün udma əmsalı $TiGaSe_2$ -yə nisbətən nəzərə çarpacaq dərəcədə, yəni təxminən 2 dəfə yüksəkdir. $120 \div 300 \text{ K}$ intervalında bütün tərkiblər üçün $dE_g/dT \approx -2,1 \cdot 10^{-4} \text{ eV/K}$ təşkil edir.

Şəkil 2-də $TiGaSe_2$ və $TiGa_{0,99}Dy_{0,01}Se_2$ kristallarının qadağan olunmuş zonasının temperaturdan asılılığı verilmişdir.



Şəkil 2. $TiGaSe_2$ (1) və $TiGa_{0,99}Dy_{0,01}Se_2$ (2) kristallarının qadağan olunmuş zonasının temperaturdan asılılığı.

TlGa_{0.99}Dy_{0.01}Se₂ üçün qadağan olunmuş zonasının eninin qısdaldığı yer dəyişməsi TlGaSe₂-yə nəzərən təxminən 90 meV təşkil edir. Məsələn 80 K temperaturda TlGaSe₂ üçün $E_g = 2,192$ eV olduğu halda TlGa_{0.99}Dy_{0.01}Se₂ üçün $-2,287$ eV olur. Yəni 1-

2% gallium atomlarının Dy atomları ilə əvəz edilməsi TlGaSe₂ kristalları üçün nəzərə çarpacaq dərəcədə qadağan olunmuş zonanın enini artırır. E_g -nin Dy-un konsentrasiyasından asılılığı TlGa_{1-x}Dy_xSe₂ üçün xətti xarakter daşıyır.

- [1] С.Н. Мустафаева, С.Д. Мамедбейли, М.М.Асадов, И.А. Мамедбейли, К.М. Ахмедли. ФТП, 30, 1996, 2154–2158.
- [2] А.У. Шелег, К.В. Иодковская, Н.Ф. Курилович. ФТТ, 40, 1998, 1328–1331.
- [3] О.Б. Плющ, А.У. Шелег. Кристаллография. 44, 1999, 873–877.
- [4] С.Н. Мустафаева, В.А. Алиев, М.М. Асадов. ФТТ, 40, 1998, 48–51.
- [5] Н.Мотт, Э.Дэвис. Электронные процессы в некристаллических веществах: пер. с англ. 2-е изд., перераб. и доп. В 2 томах. М.: Мир, 1982, т. 1, 368 с., т. 2, 664 с.
- [6] К.Р.Аллахвердиев, Е.А.Виноградов, Р.Х.Нани и др. Колебательный спектр кристаллов TlGaS₂, TlGaSe₂ и β -TlInS₂. В кн.: Физические свойства сложных полупроводников. Баку: Элм. 1982, с. 55- 63.

К.М. Huseynova

ELECTRIC AND OPTICAL PROPERTIES OF TlGa_{1-x}Dy_xSe₂ SOLID SOLUTIONS

TlGa_{1-x}Dy_xSe₂ crystals ($x = 0; 0.01$ and 0.03) are synthesized. The hopping mechanism of charge transfer is established in the obtained samples. It is shown that in TlGa_{1-x}Dy_xSe₂ the alternating current conductivity, the density of localized states near the Fermi level, the average distance and duration of charge carrier jumps increase with increasing x . The optical absorption edge of TlGa_{1-x}Dy_xSe₂ single crystals is studied in the temperature range of 77–300 K. The temperature coefficient dE_g/dT in the temperature range of 80-120 K for TlGaSe₂ is $-3 \cdot 10^{-4}$ eV/K, and for TlGa_{0.99}Dy_{0.01}Se₂ is $\approx -7 \cdot 10^{-4}$ eV/K. The short-wave shift of E_g for TlGa_{0.99}Dy_{0.01}Se₂ is respect of TlGaSe₂ is about 90 meV. The dependence of E_g on the concentration of Dy in the studied compounds TlGaSe₂<Dy> is linear.

К.М. Гусейнова

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ TlGa_{1-x}Dy_xSe₂

Синтезированы кристаллы TlGa_{1-x}Dy_xSe₂ ($x = 0; 0,01$ и $0,03$). Установлен прыжковый механизм переноса заряда в полученных образцах. Показано, что в TlGa_{1-x}Dy_xSe₂ с увеличением x проводимость на переменном токе, плотность локализованных состояний вблизи уровня Ферми, среднее расстояние и время прыжков носителей заряда увеличиваются. В интервале температур 77÷300 К исследован край оптического поглощения монокристаллов TlGa_{1-x}Dy_xSe₂. Температурный коэффициент dE_g/dT в интервале температур 80÷120 К составляет для TlGaSe₂ - $3 \cdot 10^{-4}$ эВ/К, а для TlGa_{0.99}Dy_{0.01}Se₂ $\approx -7 \cdot 10^{-4}$ эВ/К. Коротковолновое смещение E_g у TlGa_{0.99}Dy_{0.01}Se₂ по отношению к TlGaSe₂ составляет около 90 мэВ. Зависимость E_g от концентрации Dy в исследованных составах TlGaSe₂<Dy> имеет линейный вид.

Qəbul olunma tarixi: 20.06.2019