

## GaSe KRİSTALLARININ VƏ ONUN NANOZƏRRƏCİKLƏRİNİN LÜMINESSENSİYA VƏ FOTOKEÇİRİCİLİYİ

A. M. ƏLİYEVƏ

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

Təqdim olunan iş GaSe nanozərrəciklərinin alınması, fiziki xassələrinin tədqiqinə həsr olunmuşdur. “Pulverisette” cihazı vasitəsilə GaSe nanozərrəcikləri alınmış, lüminessent və fotoelektrik xarakteristikaları təcrübi olaraq tədqiq edilmişdir. Yüksək optik həyəcanlaşmada GaSe laylı kristallarında fotokeçiricilik və fotolüminessensiya təcrübi tədqiq olunmuşdur. Fotokeçiricilik və fotolüminessensiya spektrlərində müşahidə olunan xüsusiyyətlər, eksiton rezonans oblastında qeyri-xətti optik udulmanı müəyyən edir.

**Açar sözlər:** GaSe, nanozərrəcik, lüminessensiya, fotokeçiricilik, eksiton.

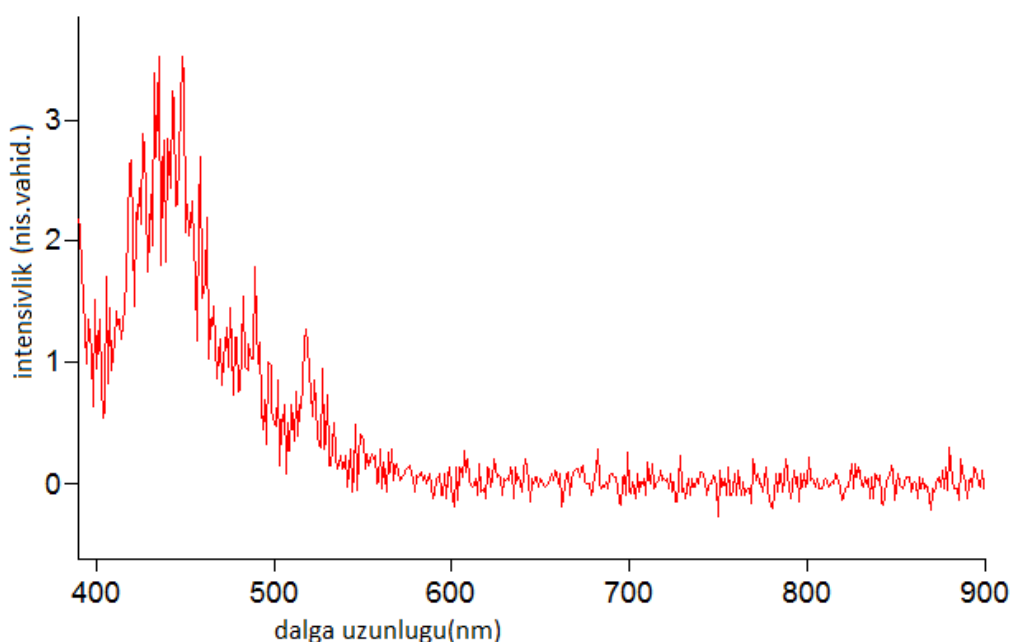
**PACS:** 76.60.Lc, 78.67.Bf, 78.67.Lf.

Hal-hazırda  $A^3B^6$  yarımkeçirici birləşmələrinin, xüsusi ilə də GaSe kristallarının nanozərrəciklərinin hazırlanması çox böyük əhəmiyyət kəsb edir. Bu maddələrin nanozərrəciklərini müxtəlif üsullarla hazırlamaq mümkün olmuşdur. D.F. Kelley [1] öz əməkdaşları ilə birlikdə GaSe kristalları əsasında lazer və termik oksidləşmə nəticəsində radiusu  $40 \div 48 \text{ \AA}$  olan “nanolülələr” hazırlamışdır. Təqdim olunan bu işdə GaSe nanohissəcikləri “Pulverisette” cihazı vasitəsi ilə hazırlanmışdır. Tədqiq olunan maddə cihazın içərisindəki küvetə qoyularaq, ağır kürə şəklindəki dəmirlərin arasında yerləşdirilmişdir. Kürələr fırlandıqca, maddə onlar arasında yavaş-yavaş kiçik hissəciklərə parçalanır. 150 saat fasiləsiz iş müddətində GaSe kristallarının kiçik ölçülü hissəciklərini əldə etmək mümkün olmuşdur.

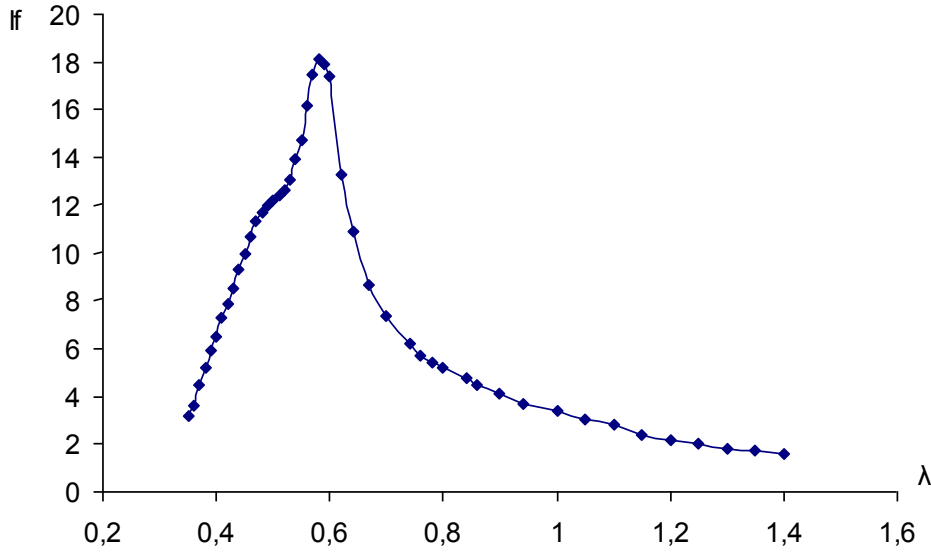
Şəkil 1-də GaSe nanozərrəciklərinin fotolüminessensiya spektri verilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi, GaSe nanozərrəciklərinin fotolüminessensiya spektrində müşahidə olunan maksimum  $\lambda=430\text{nm}$ -ə uyğun gəlir. Lüminessensiya xəttini udma spektrindəki maksimumla müqayisə

etsək, bu xəttində nanozərrəciyin fundamental udma kənarına uyğun gələn keçidlə əlaqədar olduğunu görə bilərik. Lüminessensiya spektrinin maksimumunun udma spektrindəki maksimuma nəzərən uzundalğalar tərəfə sürüşməsi Stoks sürüşməsi ilə izah oluna bilər.

GaSe nanozərrəciklərinin fəthəssaslığını ölçmək üçün xüsusi nümunələr hazırlanmışdır. Nanozərrəciklər izopropil spirtin içərisinə tökülmüş, sonra şüşə çubuqla qarışdırılmışdır və nəticədə xırda zərrəciklərin suspenziyası alınmışdır. Ağır zərrəciklər qabın dibinə çökmüşdür, sonra suspenziya başqa qaba tökülmüşdür. Şüşə pipet vasitəsi ilə suspenziya sital altlığa damcılanmışdır. Spirt buxarlandıqdan sonra, altlığın üzərində ancaq tədqiq olunan maddədən ibarət nazik lay qalmışdır. Bu layın qalınlığı  $\leq 50 \text{ mkm}$  olmuşdur. Bu üsulla alınmış nümunə 4 saat ərzində  $T=750 \text{ K}$ -ə qədər qızdırılmışdır. Nümunəyə gümüş (Ag) pastası vasitəsi ilə kontaktlar qoyulmuşdur. Nümunənin ölçüləri  $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ , elektrodun ölçüləri  $2\text{mm} \times 8\text{mm}$ , elektrodlar arasındakı məsafə  $6\text{mm}$ .



Şəkil 1. GaSe nanozərrəciklərinin fotolüminessensiya spektri



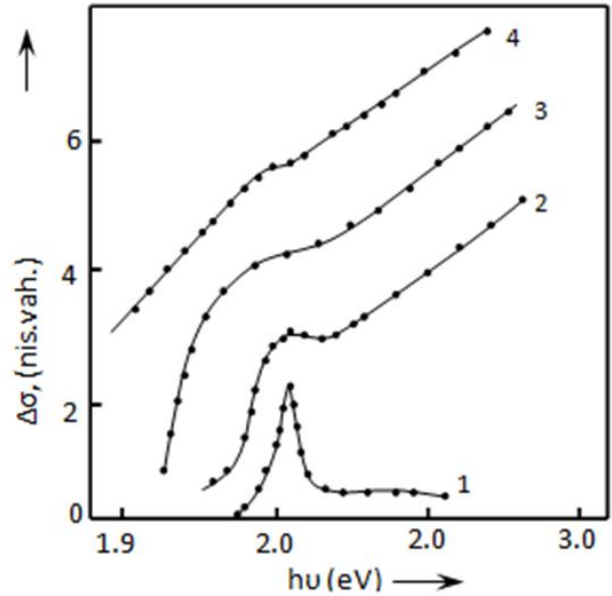
Şəkil 2. GaSe nanozərrəciklərinin fotokeçiricilik spektri.

Şəkil 2-də fotokeçiriciliyin spektral asılılığı verilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi GaSe nanozərrəcicinin fotohəssaslığı 0,35÷1,4mkm intervalı əhatə edir. Spektrin əsas maksimumu ~ 0,6 mkm uyğun gəlir. Bundan əlavə, daha qısa dalğa oblastında ( $\lambda=430\text{nm}$ ) daha bir pik müşahidə olunur. Bu pik elə fotoluminessensiya spektrində müşahidə olunan xətlə üst-üstə düşür. Fotohəssaslığın çox geniş diapazonu əhatə etməsi nanohissəciklərin müxtəlif ölçüdə olduqlarını göstərir.

Lazer şüalarının yaratdığı yüksək konsentrasiyalı elektron-deşik cüt şəraitində qeyri-tarazlıqda olan hadisələrin GaSe monokristallarında tədqiqi onların optoelektronikada tətbiqinə geniş imkanlar açır. Təqdim etdiyimiz bu işdə həmçinin GaSe kristallarının yüksək optik həyəcanlaşmada fotokeçiricilik və fotoluminessensiya hadisələrini baxılmışdır.

Təcrübələr xüsusi aşqarlanmamış *p*-GaSe kristallarında aparılmışdır. GaSe kristalları Brijman üsulu ilə alınmışdır. GaSe kristalları laylı quruluşa malik olduğu üçün, laylar optik oxuna perpendikulyar istiqamətdə yönəlmişdir. Təzəcə qoparılmış nümunələrin üzərinə In omik kontaktları çəkilmişdir. Holl effektinin ölçüləri nümunələrin xüsusi müqaviməti, konsentrasiya və yürüklüyünün, müvafiq olaraq,  $\rho = 10^3 \div 10^5 \text{Om} \cdot \text{sm}$ ,  $p = 4 \cdot 10^{14} \text{sm}^{-3}$  və  $\mu \approx 20 \text{sm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$  olduğunu göstərir. GaSe kristalları aktiv maddəsi Rodamin 6G olan maye lazer (PRA, LN-107) vasitəsilə həyəcanlanmışdır. Maye lazeri körükləmək üçün impulsu azot lazerindən istifadə olunmuşdur ( $\lambda=337\text{nm}$ ,  $\Delta t = 3\text{ns}$ ,  $W=10 \text{MVt/sm}^2$ ). Lazerin verdiyi şüaların dalğa uzunluğu (594÷643nm) tamamilə GaSe kristalının fundamental udma kənarını örtməsi, bundan başqa, lazer şüalarının maksimumuna uyğun gələn dalğa uzunluğu ( $\lambda=609 \text{nm}$ ) GaSe kristalının qadağan olunmuş zolağının eninə uyğun gəlməsi ( $E_g=2,02 \text{eV}$ ), istər eksiton səviyyəsini, istərsə də zona-zona keçidini rezonans həyəcanlandırmağa imkan vermişdir. Fotokeçiriciliyin ölçülməsi zamanı lazer şüaları nümunənin səthinə perpendikulyar istiqamətdə, “*c*” optik oxuna paralel istiqamətdə yönəlmişdir. Nümunənin səthində fokuslanan şüaların diametri ~0,1mm tərtibində idi. Lazer şüalarının nümunənin səthində qoyulmuş kontaktlara düşməməsi üçün əlavə tədbirlər görülmüşdü. Nümunəyə verilən xarici gərginlik

(10÷100)V/sm intervalında idi. Gərginliyin verilən intervalında işıq cərəyanı gərginlikdən xətti asılı olaraq dəyişirdi. Lazer şüalarının impulsunun müddəti (~10ns) yükdaşıyıcıların relaksasiya müddətindən (~3mks) kiçik olduğundan, şüalanma müddətində stasionar fotokeçiricilik halı baş verməmişdir.

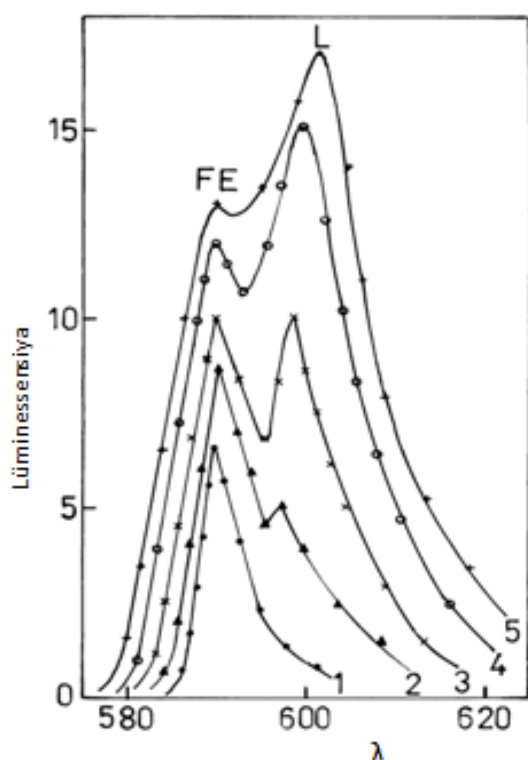


Şəkil 3. GaSe kristalında fotokeçiriciliyin ( $\Delta\sigma$ ) müxtəlif optik həyəcanlanmada ( $I_0$ ) spektral asılılıqları ( $\text{MVt/sm}^2$ ): 1- 0,46; 2- 2,28; 3- 6,14; 4- 12.

Şəkil 3-də GaSe kristalında fotokeçiriciliyin ( $\Delta\sigma$ ) müxtəlif optik həyəcanlanmada ( $I_0$ ) spektral asılılıqları verilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi, lazer şüalarının kiçik intensivliyində maksimumu ~2,00 eV-a uyğun gələn pik müşahidə olunur. GaSe kristalında eksitonların əlaqə enerjisinin 0,02 eV (20 meV) və qadağan olunmuş zolağının eninin otaq temperaturunda  $E_g=2,02 \text{eV}$  olduğunu nəzərə alsaq, 2,00 eV uyğun gələn maksimumun eksiton fotokeçiriciliyi ilə əlaqədar olduğunu söyləyə bilərik (şəkil 3, 1əyrisi). Lazer şüalarının intensivliyi artdıqca, işığın təsiri ilə yaranan yükdaşıyıcıların konsentrasiyası da artır. Bu

yükdaşıyıcılar əksər hissəsi bağlı elektron-deşik cütünə (eksitonlara) çevrildiyindən, eksiton oblastında fotokeçiriciliyin artması müşahidə olunacaqdır (şəkil 3, 2 əyrisi). Lazerin intensivliyinin sonrakı artımı eksiton pikinin genişlənməsinə və yox olmasına səbəb olur (şəkil 3, 3 və 4 əyriləri). Ancaq bu zaman fundamental udma kənarında fotokeçiriciliyin artması müşahidə olunur.

Fotoluminensensiyanın ölçülməsi zamanı lazer şüası nümunənin səthinə  $20^\circ$  bucaq altında yönəldilmiş (şəkil 4), lüminessensiya isə səthə perpendikulyar istiqamətdə müşahidə olunmuşdur. Fotoluminensensiya difraksiya qəfəsinə malik olan JOBIN–YVON monoxromatoru vasitəsilə analiz edilmiş və oradan isə FEM-100 detektoruna ötürülmüşdür. FK və FL siqnallarının çıxışı rəqəmli qeyri stasionar sistem vasitəsilə kompüter sistemində (board Master 800 ABI 8) analiz olunmuşdur.



Şəkil 4. GaSe kristalının müxtəlif həyəcanlanma intensivliyində fotoluminensensiya spektrləri ( $MVt/sm^2$ ): 1- 0,12; 2- 1,01; 3- 4,02; 4- 6,03; 5- 12.  $T=80$  K.

GaSe kristallarının fotokeçiricilik və fotoluminensensiya spektrlərində müşahidə olunan xüsusiyyətlər bu kristalların eksiton rezonansı oblastında qeyri-xətti optik udma prosesinin olması ilə izah oluna bilər. Doğrudan da, güclü lazer şüalarının təsiri ilə GaSe kristalında generasiya edən elektron-deşik cütləri neytral zərrəciklərə (eksitonlara) çevrilirlər. Lazer şüalarının intensivliyi artdıqca, eksitonların konsentrasiyası artır və eksitonların konsentrasiyasının müəyyən kritik qiymətində onlar arasında qarşılıqlı təsir baş verir. Bu qarşılıqlı təsir nəticəsində eksitonlar parçalanaraq, sərbəst elektron-deşik cütünə çevrilir. Bu da eksiton udulmasının yox olmasına səbəb olur [2]. Hesablamalar göstərir ki, GaSe kristalında lazer şüalarının  $\sim 10 MVt/sm^2$  intensivliyində generasiya edən elektron-deşik cütünün konsentrasiyası  $4,5 \cdot 10^{19} sm^{-3}$  tərtibindədir, halbuki, bu kristallarda eksiton-eksiton qarşılıqlı təsirinə baş verməsi üçün tələb olunan konsentrasiya bundan bir neçə tərtib azdır ( $n_{Momm} = 1 \cdot 10^{17} sm^{-3}$ ) [3].

GaSe kristalında müşahidə olunan fotokeçiriciliyin qeyri-xətti optik udma prosesi ilə əlaqədar olduğunu müəyyən etmək üçün, tarazlıqda olmayan yükdaşıyıcıların fotokeçiriciliyini xarakterizə edən  $\alpha \cdot I_0$  kəmiyyətinin  $I_0$ -dan asılılıq əyrisi qurulmuşdur. Bu zaman  $\alpha$  udma əmsalının müxtəlif intensivlikdəki qiyməti Kazım-zadə A.H. və başqalarının [2] sayılı işindən götürülmüşdür.  $\alpha \cdot I_0 \sim I_0$  asılılığının təcrübədən alınmış  $\Delta\sigma \sim I_0$  asılılığı ilə müqayisəsi onların hər ikisinin intensivlikdən eyni tərzdə dəyişdiyini göstərir.

Beləliklə, GaSe kristalında yüksək optik həyəcanlanmada müşahidə olunan fotokeçiriciliyin qeyri-xətti optik udma prosesi ilə əlaqədar olduğunu söyləyə bilərik. GaSe kristalının fotoluminensensiya spektrində yüksək optik həyəcanlanmada müşahidə olunan  $L$  - zolağının təbiətini araşdıraraq. Bu zolağı aşqar şüalanması, bağlı eksitonların şüalanması və sərbəst eksitonlarda fononların iştirakı ilə gedən şüalanma ilə əlaqələndirmək mümkün deyil.  $L$ -zolağının eksiton molekulunun şüalanması ilə əlaqələndirilməsi ehtimalı da azdır, çünki bu şüalanmanın vəziyyəti eksiton xəttindən cəmi 6 meV aralıdır. Odur ki, 80K-də bu şüalanmanı təcrübədə görmək mümkün deyildir.  $L$  - zolağının ən çox ehtimal olunan təbiəti yüksək optik həyəcanlanmada baş verən eksiton-elektron və ya eksiton-eksiton qarşılıqlı təsiri ola bilər. Bizim aldığımız nəticələr eksiton-eksiton qarşılıqlı təsir mexanizminə daha yaxındır.

- [1] H.Tu.S. Yang, V. Chikan, D.F. Kelley. J. Phys. Chem. 2004, B 108, 4701-. (2, nano).  
 [2] A.Г. Кязым-заде, A.A. Агаева, В.М. Салманов, A.Г. Мохтари. Неорганические материалы,

- 2007, т.43, с. 1419-. (9,нано).  
 [3] A. Frova, Ph. Schmid, A. Grisel, F. Levy. Sol. Stat. Commun. 1977, v. 23, p. 45-49.

A.M. Alieva

#### PHOTOCONDUCTIVITY AND PHOTOLUMINESCENCE OF GaSe CRYSTALS AND NANOPARTICLES

The present work is devoted to fabrication of GaSe nanoparticles and investigation of their physical properties. GaSe nanoparticles have been prepared with the use of "Pulverisette", luminescence and photoelectrical characteristics have been measured and investigated. Photoconductivity and photoluminescence in GaSe layered crystals are experimentally investigated for high levels of optical excitation. Observable features of photoconductivity and photoluminescence spectra are determined by nonlinear optical absorption in the range of exciton resonance.

A. M. ƏLİYEVƏ

**A.M. Алиева**

**ФОТОПРОВОДИМОСТЬ И ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ  
КРИСТАЛЛОВ И НАНОЧАСТИЦ GaSe**

Настоящая работа посвящена получению нано-частиц GaSe и исследованию их физических свойств. Нано-частицы GaSe изготавливались с помощью прибора "Pulverisette", люминесценция и фотоэлектрические характеристики измерялись и изучались. Экспериментально исследована фотопроводимость и люминесценция в слоистых кристаллах GaSe при высоких уровнях оптического возбуждения. Наблюдаемые особенности спектров фотопроводимости и люминесценции определяются нелинейным оптическим поглощением в области экситонного резонанса.

*Qəbul olunma tarixi: 13.02.2017*