

# BƏZİ LANTANOİD ATOMLARI DAXİL EDİLMİŞ p-GaSe KRİSTALLARINDA HOLL YÜRÜKLÜYÜNÜN XÜSUSİYYƏTLƏRİ

Ə.Ş.Abdinov, Ş.A.Allahverdiyev, R.F.Babayeva  
*Bakı Dövlət Universiteti*

p-GaSe kristallarının elektrik xassələrinin tədqiqi zamanı [1-4] kvazibirjins yarımkeçiricilərin fizikasının müddəaları çərçivəsində izah edilə bilməyən bir sıra xüsusiyyətlər müşahidə olunmuş və həmin xüsusiyyətlərin bu materialın fəzaja qeyri-birjinsliyi (qismən nizamsızlığı) ilə bağlı olduğu fərz edilmişdir. [5÷8]-də isə p-GaSe kristallarının nizamsızlıq dərəcəsinin, həmin kristallara  $N \leq 10^{-1}$  at.% miqdarında Gd, Ho, Dy kimi lantanoidlərin atomlarını daxil etməklə tənzimləməyin mümkünlüyü göstərilmişdir. Təqdim olunan iş müxtəlif atom faizi miqdarlarında Gd, Ho, Dy atomları daxil olunmuş p-GaSe kristallarında sərbəst yükdaşıyıcıların Holl yürüklüyünün temperaturdan, nümunənin ölçmələrdən əvvəlki halından, spektrin müxtəlif oblastlarından olan işığın təsirindən asılılığının və kinetikasının tədqiqinə həsr edilmişdir.

Ölçmələrdə istifadə edilən nümunələr [9]-də təsvir olunan üsulla göyərdilmiş təmiz və  $10^{-5}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-1}$  at.% miqdarında Gd, Ho, Dy atomları daxil edilmiş p-GaSe monokristallarından hazırlanmışdır. Ölçmələr 77÷420K temperatur intervalında, quruluşu və ayrı-ayrı elementləri qismən dəyişdirilmiş MB-GX və MG-GX qurğularından istifadə etməklə həyata keçirilmişdir.

Təmiz p-GaSe nümunələrində müxtəlif şəraitlərdə Holl yürüklüyünün temperaturdan asılılığı və kinetikasi ölçülmüş və müəyyənləşdirilmişdir ki, aşağı temperaturlarda tədqiq olunan nümunələrin qaranlıqdakı ilkin xüsusi müqaviməti  $\sim 10^5$  Om·sm-dən  $\sim 10^8$  Om·sm-ə qədər artdıqca, onlarda sərbəst yükdaşıyıcıların  $\mu_p$ -Holl yürüklüyü  $\sim 100$  sm<sup>2</sup>/V·san-dən  $\sim 5$  sm<sup>2</sup>/V·san-ə qədər kiçilir. Həmin nümunələrdə 77K-dən başlayaraq temperaturun yüksəlməsi ilə aşağı temperaturlar oblastında Holl yürüklüyü  $\mu_p \sim T^k$  qanunu ilə artır və k-nin qiyməti nümunənin qaranlıqdakı ilkin xüsusi müqavimətindən asılı olaraq 0÷4 arasında dəyişir. Temperaturun müəyyən bir ( $T_M$ ) qiymətində  $\mu_p(T)$  asılılığı maksimumdan keçir və bütün nümunələr üçün eyni bir  $\mu_p \sim T^{-3/2}$  qanunu ilə azalır. Aparılan ölçmələr göstərir ki,  $T_M$ -in və temperaturun bu qiymətinə uyğun  $\mu_p$ -nin qiyməti də  $\rho_{TO}$ -dan asılıdır -  $\rho_{TO}$  böyükdə  $T_M$ -də yüksəlir,  $\mu_p$ -nin qiyməti isə kiçilir. Temperatur  $\sim 400$ K-ə yaxınlaşdıqda müxtəlif nümunələr üçün  $\mu_p(T)$  asılılığının qrafikləri bir-biri ilə qovuşur.

Lantanoid atomları daxil edilmiş p-GaSe kristallarında da  $\mu_p(T)$  asılılığı, təmiz kristallardakına oxşayır – temperatur yüksəldikdə aşağı temperaturlar oblastında  $\mu_p \sim T^k$  qanunu ilə artaraq müəyyən  $T_M$  temperaturunda maksimumdan keçir və tədqiq olunan nümunələrin hamısı üçün təqribən  $\mu_p \sim T^{-3/2}$  qanunu ilə azalır. Bu kristallarda təmiz kristallardakı ilə müqayisədə başlıca fərq  $\mu_p$ -nin,  $T_M$ -in və k-nin qiymətlərinin daxil edilən lantanoid atomlarının atom faizi ilə miqdarından (N) əhəmiyyətli dərəcədə asılı olmasıdır. Qeyd etmək lazımdır ki, tədqiq etdiyimiz nümunələrdə və ölçmələri apardığımız şəraitdə yol verilə bilən ölçmə xətaləri həddlərində alınmış nəticələrin yalnız N-dən asılılığı müşahidə olunur, daxil edilən lantanoidin kimyəvi təbiətindən asılılıq isə özünü göstərmir. Apardığımız ölçmələr nəticəsində aşkar edilmişdir ki, ən kiçik miqdarda ( $\sim 10^{-5}$  at.%) lantanoid atomları daxil edilmiş p-GaSe kristallarında da  $\mu_p$  eyni bir şəraitdə hətta ən böyük  $\rho_{TO}$ -a malik təmiz kristallardakı ilə müqayisədə kiçik,  $T_M$  və k isə əhəmiyyətli dərəcədə böyükdür. N-in artması ilə, əvvəlcə ( $N \leq 10^{-4}$  at.% olduqda) bu fərq daha da böyüyür, sonra ( $N > 10^{-4}$  at.% olduqda) isə tədrijən kiçilir.  $N \approx 10^{-1}$  at.% olan kristallarda aşağı temperaturlar oblastında  $\mu_p$ -nin temperaturdan asılı olaraq artması, demək olar ki, aradan qalxır və  $T \approx 150$ K-dən başlayaraq, temperaturun yüksəlməsi ilə  $\mu_p$ -nin qiyməti  $\mu_p \sim T^{-3/2}$  qanunu ilə kiçilir.

Ölçmə prosesində nümunəni həm də ağ işıqla, yaxud da məxsusi udma oblastından olan monoxromatik işıqla işıqlandırdıqda digər şərtlər eyni olduqda, aşağı temperaturalar oblastında yürüklüyün qiyməti böyüyür. Lantanoid atomları daxil edilmiş p-GaSe kristallarında N-in qiyməti artırıldıqca işığın təsiri ilə yaranan fərq əvvəljə ( $N \leq 10^{-4}$  at.% olduqda) böyüyür, sonra ( $N > 10^{-4}$  at.% olduqda) isə kiçilir.  $N \approx 10^{-1}$  at.% miqdarında p-GaSe kristallarında işığın  $\mu_p(T)$  asılılığına və  $\mu_p$ -nin ədədi qiymətinə təsiri çox zəif müşahidə olunur.

Həm  $\mu_p(T)$  asılılığı, həm də  $\mu_p$  və  $T_M$ -in qiymətləri nümunələrin ölçmələrdən əvvəlki halından da əhəmiyyətli dərəcədə asılıdır. Əgər ölçmələrdən əvvəl maye azot temperaturunda (77 K) nümunəni ağ işıqla, yaxud məxsusi udma oblastından olan monoxromatik işıqla işıqlandırsaq və sonra işığın təsirini kəssək, onda həm  $\mu_p(T)$  asılılığı, həm də  $\mu_p$ -nin və  $T_M$ -in qiymətləri üçün qaranlıqdakı və birbaşa işıq təsir edən hallardakı ilə müqayisədə aralıq bir hal və qiymətlər alınır. İşığın təsiri kəsildəndən sonra zaman keçdikcə bu fərq tədrijən (50-60 dəqiqə ərzində) aradan qalxır. Nümunəyə 3-5 dəqiqə ərzində aşqar udma oblastından olan kifayət qədər böyük intensivlikli işıqla təsir etməklə, yaxud da nümunəni qaranlıqda  $T \geq 350\text{K}$ -ə qədər qızdırıb, sonra maye azotun içərisinə daxil edib kəskin (sürətlə) soyutmaqla bu fərqi sürətlə yox etmək olar. Temperatur yüksəldikcə həm işığın, həm də nümunənin ölçmələrdən əvvəlki halının alınmış nəticələrə təsiri xeyli zəifləyir və nəhayət  $T > T_M$  oludqda, demək olar ki, müşahidə edilmir.

Aşkar edilmişdir ki, məxsusi udma oblastından olan işıqla təsir etdikdə aşağı temperaturalarda hər iki qrup kristallarda Holl yürüklüyünün qiyməti qaranlıqdakı qiymətinə nəzərən sürətlə artır və müəyyən stasionar qiymətinə çatır. Nümunə həmin işığın təsiri altında saxlanıldığı müddətdə yürüklüyün bu qiyməti yüksək dəqiqliklə saxlanılır. İşığın təsiri kəsildikdən sonra isə öz qaranlıq qiymətinə yalnız uzun müddət keçdikdən sonra düşür – «yürüklük yaddaşı» effekti müşahidə olunur. Ağ işıqla, yaxud məxsusi udma oblastından olan işıqla eyni vaxtda aşqar udma oblastından olan işıqla da təsir etdikdə,  $\mu_p$ -nin yalnız məxsusi udma oblastından olan işığın təsiri altında qərarlaşmış stasionar qiyməti, demək olar ki, dəyişmir. «Yürüklük yaddaşı» halında olan nümunəni aşqar udma oblastından olan işıqla işıqlandırdıqda isə «qalıq yürüklüyün» qiyməti əhəmiyyətli dərəcədə kiçilir – «yürüklük yaddaşı»nın infraqırmızı (İQ), yaxud da optik silinməsi baş verir. Qeyd etmək lazımdır ki, bu halda yaddaşın silinməsi 70-75%-dən çox olmur. Yürüklük yaddaşını nümunəni qaranlıqda  $T \geq 350\text{K}$ -ə qədər qızdırmaqla da silmək müm-kündür. Bu halda İQ silinmə halındakından fərqli olaraq, yaddaş tamamilə silinə bilir. Alınmış təjribi nəticələrin müqayisəli təhlili göstərir ki, təmiz və lantanoid atomları daxil olunmuş p-GaSe kristallarında yuxarı temperaturalar oblastında  $\mu_p(T)$  asılılığı sərbəst yükdaşıyıcıların qəfəs rəqslərindən səpilməsi ilə təyin olunur [10]. Təjribədə  $\mu_p$ -nin  $\rho_{TO}$ -dan, işığın təsirindən, daxil edilən lantanoid atomlarının faizlə miqdarından müşahidə olunan asılılıqları da göstərir ki, tədqiq olunan nümunələrdə aşağı temperaturalar oblastında müşahidə olunan  $\mu_p(T)$  asılılığı, həmin nümunələrdə sərbəst yükdaşıyıcıların aşqar ionlarından səpilməsi ilə bağlı olmayıb, həmin kristalların fəzaja qismən nizamsızlığı ilə bağlıdır.  $\mu_p(T)$  asılılığının bu hissəsindəki üst göstərijisi k-nın  $\rho_{TO}$ -dan, N-dən, işığın təsirindən müşahidə olunan asılılıqları isə həmin nizamsızlıq dərəcəsinin xarici amillərin təsirindən, eləjə də daxil edilən lantanoid atomlarının atom faizi ilə miqdarından uyğun asılılığından irəli gəlir.

Belə ki, kristalın qismən nizamsızlığı hesabına onda dreyf çəpərləri yaranır və nəticədə sərbəst yükdaşıyıcıların Holl yürüklüyünün qiyməti kvazibirjins yarımkeçirijilər-dəki ilə müqayisədə xeyli kiçik olur. Eyni bir şəraitdə  $\rho_{TO}$ -ın böyük qiyməti, kristalın qeyri-birjinsliyinin yüksək dərəcədə olduğunu göstərir. Ona görə də təmiz p-GaSe kristallarında eyni bir şəraitdə  $\rho_{TO}$ -ın qiyməti böyüdükcə,  $\mu_p$ -nin qiyməti kiçilir. Aşağı temperaturalar oblastında temperaturun yüksəlməsi ilə dreyf çəpərlərinin rolu azaldığından  $\mu_p$  aşqar ionlarından səpilmənin hejmon olduğu halındakından böyük sürətlə artır. Nəhayət, temperaturun  $T \geq T_m$  qiymətlərində dreyf çəpərlərinin sərbəst yükdaşıyıcılara təsirini nəzərə almamaq mümkün olur və bundan sonra  $\mu_p \sim T^{-3/2}$  qanunu üstünlük təşkil etməyə başlayır.

Kristalın nizamsızlıq dərəcəsi yüksək olduqca, dreyf çəpərlərinin də  $\mu_p$ -yə təsiri daha yüksək temperaturlarda aradan qalxır. Bu, özünü  $T_m$ -in  $\rho_{TO}$ -dan təcrübədə müşahidə olunan asılılıqlarında göstərir -  $\rho_{TO}$  böyüdükcə,  $T_m$  də yüksəlir. Daha yüksək temperaturlarda kristalın qismən nizamsızlığının və nöqtəvi defektlərin  $\mu_p$ -yə təsiri tamamilə aradan qalxdığından proseslər yalnız əsas matrisanın xüsusiyyətləri ilə təyin olunur. Ona görə də belə temperaturlarda tədqiq edilən nümunələrdə  $\rho_{TO}$ -dan asılı olmayaraq,  $\mu_p$ -nin qiymətləri bir-birinə çox yaxınlaşır. Temperaturun belə qiymətlərində sərbəst yükdaşıyıcıların Holl yürüklüyü artaraq, onların həqiqi (dreyf) yürüklüyünə bərabər olur.

p-GaSe kristallarına daxil edilən lantanoid atomlarının faizlə miqdarı dəyişdikdə kristalların qismən nizamsızlıq dərəcəsi qeyri-monoton dəyişir ki, bu da özünü N-in  $\mu_p(T)$  asılılığına,  $\mu_p$ -nin ədədi qiymətinə,  $\mu_p(t)$  asılılığına,  $T_m$ -ə təsirində göstərir.

Məxsusi udma oblastından olan işıqla nümunəni işıqlandırdıqda, onun potensial relyefinin optik hamarlanması baş verdiyindən [11]  $\mu_p$ -nin qiyməti böyüyür. Işıqın təsiri kəsildikdən sonra, fotogenerasiya hesabına yaranmış tarazlıqda olmayan sərbəst yükdaşıyıcıların bir qismi rekombinasiya çəpərlərini dəf edə bilmədiyindən, dreyf çəpərlərinin hündürlüyü uzunmüddət ilkin qiymətini ala bilmir. Ona görə də Holl yürüklüyünün qiyməti də bilavasitə işıq təsir edən haldakı qiymətindən ( $\mu_p$ ) kiçik olsa da, ilkin qaranlıq qiymətindən ( $\mu_{p0}$ ) böyük qalır – tədqiq edilən nümunələrdə «yürüklük yaddaşı» effekti müşahidə olunur.

#### Ədəbiyyat siyahısı

1. Абдинов А.Ш., Кязым-заде А.Г. Эффект фотоэлектрической памяти в p-GaSe. // ФТП. 1975. Т.9. вып.11. с.2135-2138.
2. Абдинов А.Ш., Ахмедов А.А. Аномальная фотопроводимость в монокристаллах селенида галлия. // Изв.АН Аз.ССР. 1978. №4. с.34-40.
3. Абдинов А.Ш., Акперов Я.Г., Мамедов В.К., Салаев Эль.Ю. Долговременно-релаксирующая проводимость, возбужденная электрическим полем в монокристаллах селенидов индия и галлия. // ФТП. 1981. Т.15. вып.1. с.113-119.
4. Абдинов А.Ш., Гусейнов А.М., Мулина Л.Н., Нуруллаев Ю.Г., Сеидов М.М. Особенности отрицательной фотопроводимости в монокристаллах слоистых полупроводников селенидов индия и галлия. // ДАН Аз.ССР. 1989.Т.45. №3. с.7-11.
5. Абдинов А.Ш., Гасанов Я.Г., Мамедов Ф.И. ВАХ высокоомных монокристаллов слоистых соединений  $A^{III}B^{VI}$  //ФТП, 1982, Т. 16, № 6, с.993-998.
6. Абдинов А.Ш., Бабаева Р.Ф., Рзаев Р.М., Гасанов Г.А. Фотолюминесценция монокристаллов InSe и GaSe, легированных редкоземельными элементами // Неорганические материалы, 2004, Т.40, № 6, с. 660-662.
7. Abdinov A.Sh., Babaeva R.F., Bagirova A.T., Rzayev R.M. Electroluminescence of layered monocrystals of  $A_3B_6<RE>$ . Fizika, 2006, Т.ХІІ, № 3, p. 8-10.
8. Абдинов А.Ш., Бабаева Р.Ф., Рзаев Р.М., Багирова А.Т., Аллахвердиев Ш.А. Особенности статических ВАХ легированных редкоземельными элементами монокристаллов селенида галлия // Докл. НАН Азербайджана, 2006, Т. 62. Вып. 5-6. с. 55-62.
9. Гусейнов А.М., Садыхов Т.И. Получение легированных редкоземельными элементами монокристаллов селенида индия. // В сб. «Электрофизические свойства полупроводников и плазмы газового разряда. Баку. Изд. АГУ. 1989. с.42-44.
10. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М. Наука. 1977.- 672 с.
11. Кязым-заде А.Г., Панахов М.М., Тагиров В.И. Неравновесное световое спрямление зон в барьерах Шоттки на основе широкозонных полупроводников. // Письма в ЖТФ. 1980. Т.6. №17. С.1040-1044.