

## YARIMKEÇİRİCİ $Hg_{1-x}Cd_xTe$ KRİSTALLARINDA ELEKTRON RAMAN SƏPİLMƏSİ

T.H. İSMAYILOV<sup>1</sup>, S.İ. ZEYNALOVA<sup>1,2</sup>

*Bakı Dövlət Universiteti<sup>1</sup>*

*Azərbaycan Elm və Təhsil Nazirliyi Fizika İnstitutu<sup>2</sup>*

[tariyel.i@gmail.com<sup>1</sup>](mailto:tariyel.i@gmail.com)

[sebina-zeynalova@mail.ru<sup>2</sup>](mailto:sebina-zeynalova@mail.ru)

İkizonalı Keyn modelində  $Hg_{1-x}Cd_xTe$  kristallarında elektron Raman səpilməsi məsələsinə baxılmışdır. Səpilmənin diferensial effektiv kəsiyi hesablanmışdır. Göstərilmişdir ki, işığın səpilməsi qeyri-rezonans və rezonans olaraq baş verə bilər. Rezonans tezliyini təyin edən düstur alınmışdır. Səpilmənin diferensial effektiv kəsiyi üçün qiymətləndirmələr göstərir ki, baxılan Raman səpilməsi təcrübədə müşahidə oluna bilər.

**Açar sözlər:**  $Hg_{1-x}Cd_xTe$  yarımkeçiricisi, ikizonalı Keyn modeli, elektron Raman səpilməsi.

Lazerlərin kəşfi və elektromaqnit şüalanmasının tutulması metodlarının təkmilləşməsi nəticəsində spektroskopiyaya bərk cisimlərin fiziki xassələrinin və onların daxilində baş verən elementar proseslərin tədqiq edilməsi sahəsində güclü metoda çevrildi. Hazırda bizim mikroaləm haqqındakı biliklərimizi terahers, görünən, infraqırmızı, radiotezlikli, mikrodalğalar, ultrabənövşəyi və rentgen oblastlarında optik şüalanmanı təmin edən vasitələrsiz təsəvvür etmək çətindir.

Yarımkeçiricilərdə meydana çıxan optik xassələr yarımkeçiricilər fizikasının müstəqil bölməsini təşkil etməklə yanaşı eyni zamanda yarımkeçirici materialların çoxsaylı parametrlərinin [1-3] təyin olunmasında istifadə olunur. Bundan əlavə, optik xassələr müxtəlif optoelektron cihazların yaradılmasının bazasını təşkil edir. Hazırda yarımkeçiricilərin və onların əsasında süni yaradılan aşağıölçülü elektron sistemlərinin xətti və qeyri-xətti optik xassələri intensiv surətdə tədqiq olunmaqdadır [4]. Bu həm aşağıölçülü ((nanoölçülü), həm də makroölçülü maddələrin keyfiyyətə yeni optik xassələrinin aşkarlanması və eləcə də yeni fiziki prinsiplər əsasında işləyən cihazların yaradılması ilə bağlıdır [3, 4].

Bərk cisimlərdə, o cümlədən yarımkeçiricilərdə, işığın Raman səpilməsi yarımkeçiricilərin və yarımkeçirici əsaslı strukturlarının tədqiqində güclü metodlardan biridir. Raman səpilməsinin spektrində bərk cisimlərdə mövcud olan elektron həyəcanlanmaları öz əksini tapır. Adı çəkilən cisim və strukturların bir çox parametrləri, onların kinetik əmsalları və bir çox başqa fiziki kəmiyyətləri Raman səpilməsinin köməyi ilə birbaşa təyin oluna bilər [5]. Yarımkeçiricilərdə, eləcə də onların əsasında süni olaraq alınan aşağıölçülü sistemlərdə real zona quruluşunun mürəkkəbliyi onlarda çox müxtəlif Raman səpilməsi proseslərinin baş verməsinə rəvac verir. Bu proseslər sırf elektron həyəcanlanmaları hesabına və həmçinin də fononların iştirakı ilə baş verə bilər [6]. Sırf elektron həyəcanlanmaları hesabına təşəkkül tapan Raman səpilməsi elektron Raman səpilməsi (ERS) adlanır. Bu tip səpilmələr kifayət qədər ətraflı öyrənilmiş olsa da, yuxarıda dediyimiz kimi, yarımkeçirici maddələrdə zona quruluşunun özəllikləri yarımkeçiricilərdə donor və akseptorların olması, simmetriya mərkəzinin mövcudluğu və ya onun olmaması,

elektronların spinə malik olmaları və s. çox fərqli elektron Raman səpilməsi proseslərinin reallaşmalarını təmin edir [7].

Son zamanlar  $Cd_{1-x}Mn_xTe$ ,  $Hg_{1-x}Cd_xTe$ ,  $Hg_{1-x}Cd_xTe$ ,  $Hg_{1-x}Mn_xTe$ ,  $Hg_{1-x}Cd_xTe$  və s. kimi yarımmaqnit yarımkeçiricilərdə [3] elektron Raman səpilməsinin tədqiqi geniş vüsət almışdır. Belə yarımkeçirici birləşmələr maqnit sahəsində həm yarımkeçirici, həm də maqnit xassələrini nümayiş etdirirlər. Raman səpilməsi metodu ilə yarımmaqnit materiallarda birbaşa maqnit xassələrini öyrənmək mümkündür. Keçiricilik elektronları spinlərinin maqnit ionlarının spinləri ilə mübadilə qarşılıqlı təsiri nəticəsində mövcud enerji səviyyələri parçalanır və elektron spektri daha mürəkkəb olur. Bu isə yeni elektron Raman səpilməsi proseslərinin yaranmasına rəvac verir [8]. Burada o da önəmlidir ki, mübadilə hesabına yaranan parçalanma enerjisi temperatur və maqnit sahəsinə qarşı çox həssas olduğu üçün elektron Raman səpilməsi spektrini bu parametrlərdən asılı olaraq idarə etmək mümkün olur. Bu isə öz növbəsində, yarımmaqnit yarımkeçiricilərdən istifadə etməklə Raman səpilməsi effektivinə əsaslanan və işçi parametrləri maqnit sahəsi və temperaturla idarə olunan qurğu və cihazların yaradılmasının mümkünüyü deməkdir.

Səpilmə prosesində impulsun və enerjinin saxlanması qanunları aşağıdakılardan ibarətdir.

$$\vec{p}' - \vec{p} = \hbar q, \quad \varepsilon_{\vec{p}'} - \varepsilon_{\vec{p}} = \hbar \omega \quad (1)$$

burada,

$$\omega = \omega_0 - \omega_1 \quad \vec{q} = \vec{k}_0 - \vec{k}_1 \quad (2)$$

$\omega$  - tezliyin sürüşməsi,  $q$ -dalğa vektorunun sürüşməsidir,  $\omega_0$ ,  $k_0$  uyğun olaraq düşən işığın tezliyi və dalğa vektoru,  $\omega_1$  və  $k_1$  isə səpələnən işığın uyğun olaraq tezliyi və dalğa vektorudur,  $\varepsilon_{\vec{p}}$  isə  $\vec{p}$  impulsu elementar həyəcanlaşmanın enerjisidir. Məlumdur ki, elastiki səpilmənin effektiv kəsiyi (Tomson səpilməsi) elektronun

$$r_0 = \frac{e^2}{m^* c^2} = 2,82 \cdot 10^{-13} \text{ sm} \quad (3)$$

klassik radiusunun kvadratına mütənasıbdır. Amma yarımkeçiricilərdə rezonansa yaxın oblastda effektiv kəsiyin qiyməti həttə 10<sup>10</sup> dəfə arta bilər. Bu artmanın səbəbi birbaşa səpilmə baş verən mühitin zona quruluşundan və yükdaşıyıcıların səpilmə mexanizmlərindən asılıdır.

Təqdim olunan işdə A<sup>2</sup>B<sup>6</sup> tipli yarımkeçiricilər qrupuna aid olan Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te, yarımkeçiricisində və onun kvant təbəqəsindəki elektron qazında Raman səpilməsi tədqiq olunmuşdur.

Normal və invers zonalı dar qadağan zolaqlı Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te kristallarında və onların əsasında süni yaradılan kvant təbəqələrində ikizonalı Keyn modelində zonalarası elektron Raman səpilməsinin nəzəriyyəsi qurulmuşdur.[8] DEK üçün tezliyin sürüşməsindən və

qadağan zolağının enindən asılı analitik ifadələr alınmışdır. Səpilmə prosesinin bir sıra ümumi xüsusiyyətləri və yekun Raman spektri araşdırılmışdır. Göstərilmişdir ki, işığın səpilməsi qeyri-rezonans və rezonans olaraq baş verə bilər. Rezonans tezliyini təyin edən düstur verilmişdir. Diferensial effektiv kəsik üçün qeyri-

rezonans halında  $\frac{d^2S}{d\Omega d\omega} \approx 10^{-25} \text{ sm}^{-1} \text{ sr}^{-1} \text{ san}$ , rezonans

halında isə  $\frac{d^2S}{d\Omega d\omega} \approx 10^{-20} \text{ sm}^{-1} \text{ sr}^{-1} \text{ san}$  qiymətləri

alınmışdır. Bu işə baxılan Raman səpilməsinin təcrübədə müşahidə oluna bilməsini göstərir.

- 
- [1] *Wen Lei, Lorenzo Faraone, Jarek Antoszewski.* “Progress, challenges, and opportunities for HgCdTe infrared materials and detectors”, *Applied Physics Reviews* 2(4):041303, December, 2015.
- [2] *John Wiley & Sons Ltd.*, “Mercury Cadmium Telluride: Growth, Properties and Applications”, Edited by Peter Capper and James Garland Applications, 2011.
- [3] *A. Rogalski.* “HgCdTe infrared detector material: history, status and outlook”, *Rep. Prog. Phys.* 68: 2267–2336, 2005.
- [4] *Junhao Chu, Arden Sher.* “Physics and Properties of Narrow Gap Semiconductors”, Springer Science: Business Media, LLS, 2008.
- [5] *A.V. Rodina and E.L. Ivchenko.* “Theory of single and double electron spin-flip Raman scattering in semiconductor nanoplatelets”, *PHYSICAL REVIEW B* 102: 235432, 2020.
- [6] *Betancourt-Riera Ri., Betancourt-Riera Re., L.A. Ferrer-Moreno, J.M. Nieto Jalil.* “Intra-band Raman scattering and gain in a double quantum well wire with asymmetrical barriers”, *Physica B* 600:412640, 2021.
- [7] *E. Burstein, D.L. Mills and R.F. Wallis.* “Phys. Rev. B” 4: 2429, 1971.
- [8] *E.O. Kane.* *J. Phys. Chem. Solids*, 1: 257, 1957.