

ÇOXDƏRƏLİ VƏ AŞQARLI YARIMKEÇİRİCİLƏRDƏ DAXİLİ DAYANIQSIZLIQ HALINDA ŞÜALANMA

E.Ö. MANSUROVA

Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutu
H.Cavid pr. 131, AZ-1143, Bakı, Azərbaycan

Dayanıqsız halında aşqarlı və çoxdərəli yarımkeçiricilərin şüalanma tezlikləri tapılıb. İsbat olunmuşdur ki, $\mu H \gg c$ güclü maqnit sahəsində şüalanma artan xarakterlidir. Yarımkeçiricinin impedansının hesablanması ilə şüalanma başlanan kritik elektrik sahəsinin qiyməti təyin olunmuşdur.

Açar söz: güclü maqnit sahəsi, elektrik sahəsi, tezlik, şüalanma, impedans, aşqar, yarımkeçirici.

PACS: 78.55, 73.22.CD, 73.22

GİRİŞ

Məlumdur ki, elektrik yükləri mühitdə biricins paylansa, mühit yüklərinin paylanmasına nəzərən tarazlıq halındadır. İxtiyari xarici təsir yüklərinin paylanmasını poza bilər və sistem tarazlıq halından qeyri-tarazlıq halına keçər. Sistem qeyri-tarazlıq halında elektrik yüklərinə görə paylanma bərabər (biricinsli) olmur. Termodinamik tarazlığa yaxın hallarda, makroskopik sistemin halı koordinata nəzərən biricinsli olur. Mühit tarazlıqdan güclü aralana bilər. Belə hal xarici elektrik, yaxud elektrik və maqnit sahələrinin təsiri ilə ola bilər. Tarazlıqdan uzaqlaşdıqca elektrik sahəsinin (həm də maqnit sahəsinin) mühit daxilində paylanması qeyri-biricins hala keçir, yəni daxilə elektrik sahə intensivliyinin az olan hissələri və ona nəzərən çox olan sahələri yaranır. Bu sahələri elektrik domenləri (elektrik və maqnit domenləri) adlandırırırlar [1]. Xarici elektrik və maqnit sahələrində yerləşən mühitlərdə yaranan qeyri-tarazlıq halları metal, yarımkeçirici və dielektriklərdə müxtəlif mexanizm vasitəsi ilə olur. Əgər mühitdə hərəkət edən yükdaşıyıcının elektrik sahəsi onda sürəti $U_d = \mu E_0$ (U_d – dreyf sürəti, μ – yürlüklük, E_0 – elektrik sahəsinin

intensivliyinin qiyməti), mühitdəki səs dalğalarının sürətindən böyük olarsa, ($U_d \geq S$) onda elektrik sahəsi güclü adlanır. Cərəyan rəqslərinin müşahidə olunması, mühit daxilində yaranan domenlərin hərəkəti, mühit daxilində yaranan domenlərin hərəkətdə olmasını göstərir. Domenlərin hərəkətləri nümunənin növündən, dövrəyə qoşulma qaydasından (yəni sərhəd şərtlərindən) kəskin asılıdır. Nümunənin dövrəyə bağlanmağı omik yaxud qeyri-omik, yəni injeksiya xarakterli olmasından asılı olaraq yaranan cərəyan rəqslərinin tezliyi müxtəlif olur. Əgər spontan yaranan rəqslər nümunənin daxilində yayılırsa, ancaq xarici dövrədə cərəyan rəqs etmərsə (yəni cərəyan sabitdirsə), belə dayanıqsızlıq daxili dayanıqsızlıq adlanır. Nümunə daxilində yaranan rəqslər cərəyan rəqslərinin olmasına səbəb olarsa, belə dayanıqsızlıq xarici dayanıqsızlıq adlanır. Daxili dayanıqsızlıq, aşqarlı yarımkeçiricilərdə ilk dəfə olaraq [3-5] işlərində nəzəri olaraq öyrənilmişdir.

DAXİLİ DAYANIQSIZLIQ

Elektron keçiricilikli mühitdə cərəyan şiddəti, xarici elektrik sahəsi olduqda aşağıdakı kimidir.

$$\vec{j} = \sigma(E_0, H_0)\vec{E} - \sigma_1(E_0, H_0)[\vec{E}\vec{h}] + \sigma_2(E_0, H_0)\vec{h}[\vec{E}\vec{h}] + D\nabla\rho - D_1(E_0, H_0)[\nabla\rho\vec{h}] + D_2(E_0, H_0)\vec{h}[\nabla\rho\vec{h}] \quad (1)$$

(1) tənliyində E_0 - xarici sabit elektrik sahəsi, H_0 - xarici sabit maqnit sahəsi, $\sigma(E_0, H_0) = en_0\mu_0(E_0, H_0)$ - omik keçiricilik, $\sigma_1(E_0, H_0) = en_0\mu_1(E_0, H_0)$ - Holl keçiriciliyi, $\sigma_2(E_0, H_0) = en_0\mu_2(E_0, H_0)$ - fokuslayıcı keçiricilik, $D = \frac{T_{ef}}{e}\mu(E_0, H_0)$ -omik diffuziya əmsalı, $D_1(E_0, H_0) = \frac{T_{ef}}{e}\mu_1(E_0, H_0)$ -Holl diffuziya əmsalı, $D_2 = \frac{T_{ef}}{e}\mu_2(E_0, H_0)$ -fokuslayıcı diffuziya əmsalı, T_{ef} - güclü elektrik sahəsində elektron temperaturu, $\rho_0 = en_0$, n_0 - elektronların tarazlıq halındakı konsentrasiyasıdır, \vec{l} - maqnit sahəsi istiqamətində vahid vektordur. Daxili dayanıqsızlıq halında rəqslərin tezliklərini

$$\frac{\partial\rho}{\partial t} + \text{div}\vec{j} = 0 \quad (2)$$

$$\text{div}\vec{E} = \frac{4\pi\rho}{\varepsilon}; \frac{\partial H}{\partial t} = -c \cdot \text{rot}\vec{E}$$

tənliklərin həllindən tapılır

$$\frac{4\pi\sigma_0}{\varepsilon} \left[1 - \frac{2E_0^2}{\mu_0} \left| \frac{d\mu}{d(E_0^2)} \right| \right] > Dk^2 \quad (3)$$

(3) şərti ödənəndə tezlikli dalğa dayanıqsız olur. Yəni $\omega = \mu_0 k E_0 + i\gamma = \omega_0 + i\gamma$ ifadəsini (E', n') $\sim e^{\gamma t}$ yerinə yazsaq, amplitudu $e^{\gamma t}$ kimi artan harmonik rəqs alınır. $\frac{2E_0^2}{\mu_0} \left| \frac{d\mu}{d(E_0^2)} \right|$ ifadəsinin mənfi olması, elektronların xarici elektrik sahəsindən aldığı $eE_0 l$ enerjisinin (l – elektronun sərbəst yolunun orta uzunluğu) hesabına yürlüklüyün azalması deməkdir. Böyük enerjiyə malik elektronlar zəif, kiçik enerjiyə malik elektronlar güclü keçiricilik yaradırlar. Belə enerji səviyyələri elektronları, yaxud dəşikləri, tuta və buraxa bilər. Müxtəlif xarici təsir olduqda, belə aşqar mərkəzlər müxtəlif cür fəal olurlar. Məsələn [3] təcrübəsində elementində bir qat

mənfi, iki qat mənfi qızıl atomları daha fəal olmuşdur. Xarici elektrik sahəsindən elektronlar və deşiklər eE_0l (e – elementar müsbət yük) qədər enerji alır. Bu enerjinin hesabına elektronlar bir qat mənfi mərkəz ətrafında olan Kulon çəpərini keçə bilər və onun tərəfindən tutula bilər (yəni rekombinasiya oluna bilər). Bundan başqa, temperatur hesabına aşqar mərkəzlərdən keçirici zonaya elektronlar keçə bilər. Beləliklə, tutulma və buraxılma hadisələri keçirici zonada elektronların sayını dəyişdirir. Deşiklərin sayı isə aşqar mər-

kəzlər valent zolaqdan elektronlar tutanda artır, valent zonasında deşiklər aşqar atomlardan elektronları tutanda azalır. Elektron və deşiklərin tutulma və buraxılma prosesləri kristalda yükdaşıyıcıların sayını dəyişdirir. Deşiklərin ətrafında müsbət Kulon çəpəri olduğundan, xarici elektrik sahəsi artdıqca [2] deşiklərin tutulma əmsalı azalır, elektronların mənfi mərkəzlərdən tutulma əmsalı isə artır. Tezliyin böyük qiymətlərində dəyişmə cərəyanı nəzərə alınmalıdır: onda tam cərəyan aşağıdakı kimidir

$$\vec{j} = \frac{\epsilon}{4\pi} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \sigma (\vec{E}_0, \vec{H}_0) \vec{E} - \sigma_1 (\vec{E}, \vec{H}) [\vec{E} \vec{h}] + \sigma_2 (\vec{E}, \vec{H}) \vec{h} [\vec{E} \vec{h}] + D \vec{\nabla} \rho + D_2 \vec{h} [\vec{\nabla} \rho \vec{h}] \quad (4)$$

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \text{div} j, \text{div} \vec{E} = \frac{4\pi \rho'}{\epsilon}, \vec{H}' = 0$$

Yuxarıdakı tənliklərin həllindən

$$\omega_1 = \frac{4\pi\alpha}{\epsilon^2} (k_y U_0 + i \frac{\beta}{\alpha}), \omega_2 = i \frac{2\pi\alpha}{\epsilon^2} \beta k_y U_0$$

tezlikləri alınır. $(E', n') \sim e^{i(kx - \omega t)}$ ifadəsindən görünür ki, ω_2 - tezliyi ilə yaranan dalğalar aperiodikdir, artandır, yəni $(E', n') \sim e^{\frac{2\pi}{\epsilon^2} \beta k_y U_0 t}$ kimidir. ω_1 - tezliyi ilə yaranan dalğa

$$(E', n') \sim e^{\frac{4\pi\alpha}{\epsilon^2} k_y U_0 t}, e^{\frac{4\pi\alpha}{\epsilon^2} k_y U_y U_0} = A_0 \frac{4\pi\alpha}{\epsilon^2} \beta k_y U_0 \cdot \cos \left(\frac{4\pi\alpha}{\epsilon^2} k_y U_0 t + \theta \right)$$

kimi harmonik rəqsdir və rəqsin amplitudu $A = A_0 e^{\frac{4\pi\alpha}{\epsilon^2} \beta k_y U_0}$ kimi artandır, yəni sistem qeyri-tənzil halındadır. Belə halda sistem

$$\omega_0 \frac{4\pi\alpha}{\epsilon^2} k_y U_0$$

tezliklə şüalanır və enerji mənbəyinə çevrilir.

NƏTİCƏLƏR

N - tip keçiricilikli keçirici mühitlərdə, xarici elektrik və maqnit sahələrinin perpendikulyar yönəlməsi ilə dayanıqsız elektromaqnit dalğaları yaranır. Maqnit sahəsinin $\mu H > c$ qiymətində bu dalğaların tezlikləri hesablanmışdır. Nümunə daxilində yayılan dalğaların istiqamətindən asılı olaraq şüalanma tezlikləri dəyişir. Belə halda olan nümunələrdən istənilən tezliyi əldə etmək mümkündür. Burada əsas tədqiq olunan nümunə ölçüləri kiçik olmalıdır. Daxildə yaranan dalğaların eninə olduğu halda, yəni $\vec{k} \perp \vec{H}'$ hasilı sıfırdan fərqli halı üçün nəzəri tədqiqat mürəkkəb olsa da, vacibdir.

- [1] E.R.Hasanov, R.K.Gasimova, A.Z.Panahov and A.I.Demirel. Adv. Studies Theor. Phys., vol.3, 2009, N8, 293-298.
- [2] E.R.Hasanov, Rasoul Nezhad Hosseyn, A.Z.Panahov. Adv. Studies Theor. Phys., vol.5, 2011, N1, 25-30.
- [3] Э.Конуэлл. Кинетические свойства полупроводников в сильных электрических полях. Издательство «Мир» Москва-1970, стр. 14-17.
- [4] В.Л.Бонч-Бруевич, И.П.Звягин, А.Г.Миронов. Доменная электрическая неустойчивость в

полупроводниках. Издательство «Наука» Москва – 1972, стр. 16-20.

- [5] Л.Э. Гуревич и Э.Р. Гасанов. ФТТ, 11, 1433, 1969.
- [6] Б.И. Давыдов. ЖЭТФ, 7, 1069, 1937.
- [7] E.R. Hasanov, R.K. Gasimova, A. Z. Panahov, A. Demirel. The Nonlinear Theory of Ganns Effect progress of Theoretical Physics, volume 121, Number 3, pp. 593-601, March 2009.

E.O. Mansurova

RADIATION IN MULTI-VALLEY AND IMPURITY SEMICONDUCTORS UNDER CONDITIONS OF INTERNAL AND EXTERNAL STABILITY

The radiation frequencies of multi-valley and impurity semiconductors are found under instability conditions. It is shown that in the presence of a strong magnetic field $\mu H \gg c$, the radiation frequency is increasing. By calculating the semiconductor impedance, definitely the critical electric field at which radiation begins.

Е.О. MANSUROVA

Э.О. Мансурова

**ИЗЛУЧЕНИЕ МНОГОДОЛИННЫХ И ПРИМЕСНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ В
УСЛОВИЯХ ВНУТРЕННЕЙ И ВНЕШНЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ**

Найдены частоты излучения многодолинных и примесных полупроводников в условиях неустойчивости. Показано, что при наличии сильного магнитного поля $\mu H \gg c$ частота излучения является нарастающей. Путем вычисления импеданса полупроводника определено критическое электрическое поле, при котором начинается излучение.

Qəbul olunma tarixi: 23.05.2022