

## ЭЛЕКТР МАЙДОНИДА ТУННЕЛЬ ДИОДИДА ҲОСИЛ БЎЛАДИГАН ОРТИҚЧА ТОКНИНГ ВОЛЬТ-АМПЕР ХАРАКТЕРИСТИКАСИГА ТАЪСИРИ

Дадамирзаев Муҳаммаджон Гуломқодирович,

Наманган муҳандислик - қурилиш институти

Ўктамova Мунира Комилжон қизи

Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги Яримўтказгичлар физикаси ва  
микроэлектроника илмий-тадқиқот институти

E-mail: [umk9391@gmail.com](mailto:umk9391@gmail.com)

**Аннотация:** Ушбу ишда туннель диодида ҳосил бўладиган ортиқча ток Чайновет модели асосида таҳлил қилиб чиқилди. Туннель диодидаги ортиқча токнинг ўзгариши бўйича Франц-Кельдеш модели асосида электр майдоннинг турли қийматларида туннель диодининг вольт-ампер характеристикаси олинди. Тсу–Эсаки модели асосида диффузион ток таъсирини ҳам ўрганилди.

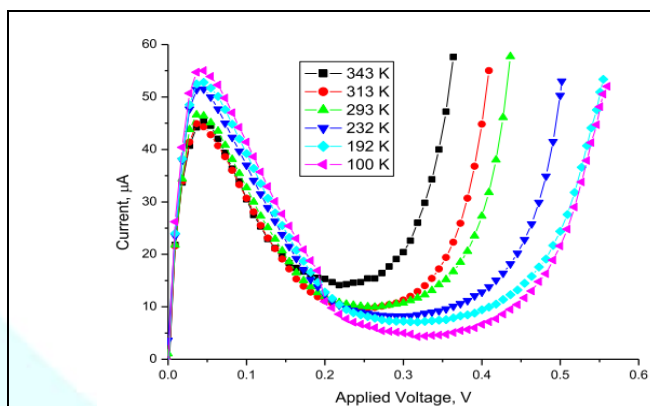
**Калит сўзлар:** Чайновет модели, Тсу-Эсаки модели, барернинг шаффофлик коэффициенти, ортиқча ток, Франц-Кельдеш эффекти.

Туннель диодидаги ортиқча токни ҳисоблаш учун аниқ моделлар ишлаб чиқилган. Моделлар қанча кўп бўлмасин асосан улардан туннель диодига ҳос бўлган асосий учта зарурий сифатлар мавжуд бўлиши керак эди. Яъни туннелланиш кучли бўлган чўққи токи, туннелланиш эҳтимоллиги минимал бўлган дрейф токининг бошланишига мос келувчи токининг чуқурдаги энг кичик қиймати ва дрейф токининг кучайиши билан боғлиқ бўлган токининг кўпайиш режимига ўтишидир. Чайновет туннель диодидаги ортиқча ток ифодаси  $I_{CH} = D_K * P$  дан [1], шаффофлик коэффициенти эса қуйидаги  $P =$

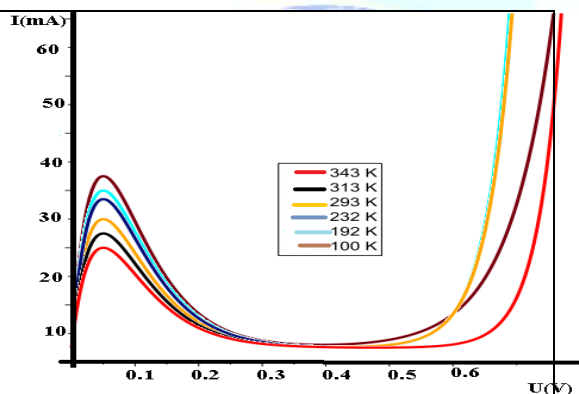
$\exp\left(-\frac{\alpha E_t^3}{F}\right)$  ифодадан фойдаланиб, бу ерда F-майдон кучланганлиги,  $E_t = E_g - qV + \mu_n + \mu_p$ ;  $\alpha = \theta \frac{4\sqrt{2m_e}}{3qh}$ ;  $\theta \approx 1$  ( $\theta$ -Чайновет моделининг ўзгармас параметри) тенгликлардан қуйидаги ифодага эга бўламиз[2]:

$$I = I_t + I_x + I_{\text{диф}} = A \int_0^{\mu_n + \mu_p - qV} \exp\left(-\frac{\theta \frac{4\sqrt{2m_e}}{3qh} (E_g - qV + \mu_n + \mu_p)^3}{F}\right) \sqrt{\varepsilon(\mu_n + \mu_p - \varepsilon - qV)} * \left(\frac{1}{\exp\left(\frac{\varepsilon - \mu_n}{kT}\right)} - \frac{1}{\exp\left(\frac{\varepsilon - \mu_n + qV}{kT}\right) + 1}\right) d\varepsilon + D * \exp\left(-\frac{\alpha E_t^3}{F}\right) + I_0 \left(\exp\left(-\frac{qV}{kT}\right) - 1\right) \quad (1)$$

$I_t$ -туннель токи,  $I_x$  –ортиқча ток,  $I_{\text{диф}}$  – диффузия токи, бунда  $P(F)$  ни ўзгарувчан ва ортиқча токни, диффузия токини ҳисобга олиб (1) ифодамиздан фойдаланган ҳолда электр майдонни ўзгармас бўлганда ҳароратнинг ортиши билан  $I_p$  –туннель токининг энг юқори нуқтасидаги қиймати ва диффузион токни ортишини 2-расмда кўришимиз ва 1-расмдаги тажриба графиги билан мослигини таҳлил қилишимиз мумкин. Ортиқча ток ифодасидаги ҳолатлар зичлиги – D ни бирга тенг деб олдик.



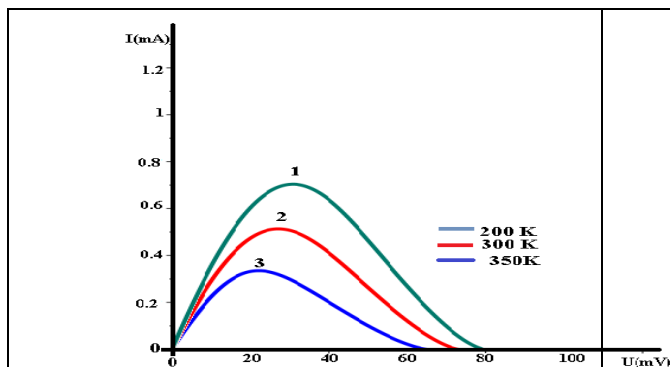
**1-расм.** BD4 Ge-асосли туннел диодада турли ҳароратлар учун олинган тажриба графиги [3]



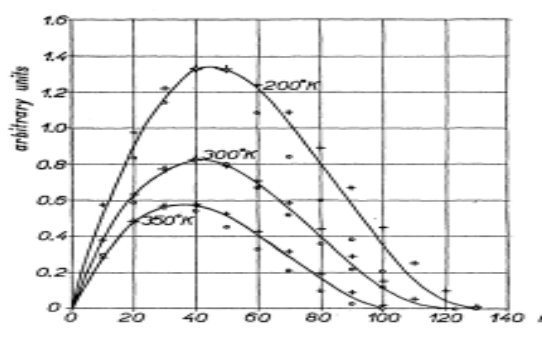
**2-расм.** (1) ифодага кўра туннел диоди VAXси

$P(F)$  ни ўзгарувчан ва ортиқча токни ҳамда, диффузион токни ҳисобга олмаган ҳолда (1) ифодамиздан фойдаланиб электр майдонини ўзгарувчан бўлганда

хароратнинг ортиши билан  $I_p$  –туннель токининг энг юқори нуқтасидаги қиймати харорат ортиши билан камайишини 3-расмда кўришимиз мумкин.



**3-расм.** (1) ифодамиздан фойдаланган ҳолда туннель диоди учун турли электр майдонлари  $F_1 = 2 * 10^4 (\frac{V}{m})$ ,  $F_2 = 2.5 * 10^4 (\frac{V}{m})$ ,  $F_3 = 2.8 * 10^4 (\frac{V}{m})$  олинган ВАХ си. Бунда ортиқча ток ва диффузион токни ҳисобга олмаймиз



**4-расм.** Карловский модели асосида олинган туннель диодининг вольт-ампер характеристикаси [4]

### Хулоса

Чайновет моделида ортиқча ток ифодаси  $P$  га тўғри пропорционал бўлганлиги учун унинг ВАХси электр майдон зичлигига ( $E$ ) га боғлиқ равишда ўзгаради [5,7]. Бу ерда ортиқча ток деярли сезилмаган, диффузия токи хароратга боғлиқ равишда ортиқча токга нисбатан устунлик қилади. Демак, тажрибаларда олинган туннель диодида ҳосил бўладиган токни баҳолаш учун бошқа моделларга нисбатан Франц-Кельдеш эффекти асосида кўрилган Чайновез модели бўйича юқори аниқликда текшириш мумкинлиги кўрсатилди.

### Фойдаланган адабиётлар

1. A.G.Chynoweth, W.L.Feldman and R.A.Logan, *Phys. Rev.* **121,684 (1961)**.
2. N. Moulin, Mohamed Amara, F. Mandorlo, M. Lemiti. Tunnel junction I ( V ) characteristics: Review and a new model for p-n homojunctions. *Journal of Applied*

Physics, American Institute of Physics, 2019, 126 (3), pp.033105.  
ff10.1063/1.5104314ff. fhal-03035269ff

3.W. Abd El-Basit, Z.I.M. Awad, S.A. Kamh, F.A.S. Soliman  
Electronic Research Lab., Physics Dept., Faculty of Women for Arts, Science, and  
Education, Ain-shams University, Cairo, Egypt  
Nuclear Materials Authority, P. O. Box 530, Maadi, 11728, Cairo, Egypt  
Temperature dependence of backward tunnel diode oscillator circuit.

4. Jaroslav Karlovsky. Simple Method for Calculating the Tunneling Current of an  
Esaki Diode. Popov Research Institute of Radio Communications, Praha,  
Czechoslovakia (Received January 3, 1962).

5. Yury Turkulets and Ilan Shalish. Franz-Keldysh effect in semiconductor built-in  
fields. 22 April 2018

6. T.A.De Massa and D.P.Knott, **Solid-St. Electron. 13,131(1970).**

7. Tyler A. Growden, Evan M. Cornuelle, David F. Storm, Weidong Zhang, Elliott R.  
Brown, Logan M. Whitaker, Jeffrey W. Daulton, Richard Molnar, David J. Meyer  
and Paul R. Berger. 930 kA/cm<sup>2</sup> peak tunneling current density in GaN/AlN resonant  
tunneling diodes grown on MOCVD GaN-on-sapphire template. Cite as: Appl. Phys.  
Lett. 114, 203503 (2019); [doi:10.1063/1.5095056](https://doi.org/10.1063/1.5095056).

