

## P – N O'TISHLI GETEROSTRUKTURALAR

*ILYOSBEK NE'MATOV RAVSHAN O'G'LI*

*NEMATULLAYEV JASURBEK RUSTAMJON O'G'LI*

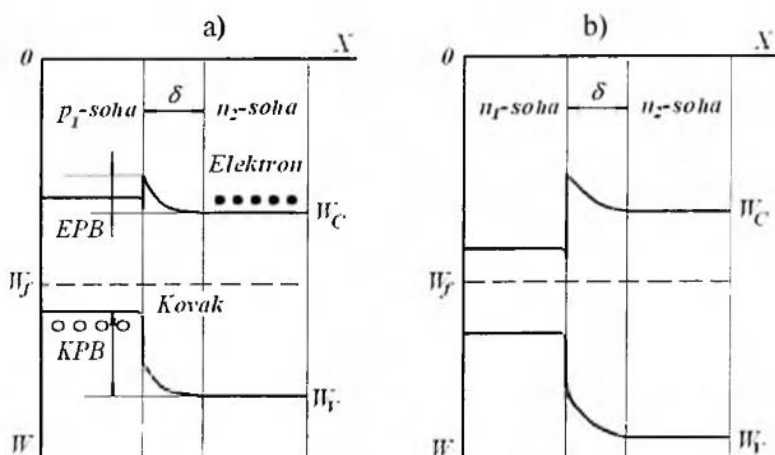
*Namangan to'qimachilik sanoati instituti*

**Annotatsiya.** Bugungi kunda energetika va ekologiya muammolari insoniyat oldida turgan eng muhim muammolardan biri bo'lib turibdi. Bu sohadagi keyingi rivojlanish, taraqqiyot abatta qayta tiklanadigan va muqobil energiya manbaalarini qidirib topishdan iborat. Bu sohada p-n o'tishli yarimo'tkazgichlarga asoslangan quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirish sohasidagi ilmiy- tadqiqot ishlari muhim ahamiyat kasb etadi. Bu esa mavzuning dolzarbligini belgilaydi.

**Kalit so'zlar.**  $\hbar$  – Plank domiysi;  $\hbar\omega$  – fotonlarni energiyasi;  $\alpha$  – optik yutilish koeffitsienti;  $\alpha(\hbar\omega)$  - optik yutilish koeffitsienti spektral xarakteristikasi;  $E_v$  – valent zonaning yuqori chegarasi;  $E_c$  – o'tkazuvchanlik zonasining quyi chegarasi;  $g(\varepsilon)$  – elektronlarni holat zichligining taqsimoti;  $g_v(\varepsilon)$  - valent zonadagi elektronlarni holat zichligining taqsimoti;  $g_c(\varepsilon)$  - o'tkazuvchanlik zonasidagi elektronlarni holat zichligining taqsimoti;  $E$  – energetik holat;  $E_g$  – taqiqlangan zonaning energetik kengligi;  $N(c)$  – o'tkazuvchanlik zonasidagi elektron holatlari zichligining effektiv qiymati;  $N(v)$  – valent zonadagi elektron holatlari zichligining effektiv qiymati;

Taqiqlangan zona kengliklari turlicha bo'lgan yarimo'tkazgichlar tutashtirilganda hosil bo'luvchi elektr o'tishlar geteroo'tishlar deb ataladi. Geteroo'tish hosil qiluvchi yarimo'tkazgichlar kristali tuzilishi bir xil bo'lib, kristali panjara doimiysi bir-birinikiga yaqin bo'lmog'i zarur. Bunday shartga quyidagi yarimo'tkazgich juftliklar javob beradi: germaniy — kremniy, germaniy — arsenid galliy, arsenid galliy — fosfld galliy va boshqalar. Geteroo'tishlar optoelektron asboblarda (nurlanuvchi diodlar, yarimo'tkazgich injeksion lazerlar, fotodiodlar va boshqalar) keng qo'llaniladi. Geteroo'tishlar asosida

geterotuzilmalar yaratganligi, ular xususiyatlarini o'rgangan hamda yarimo'tkazgich asboblarning yangi turlarini hosil qilgani uchun akademik J.I. Alferov 2000-yilda Nobel mukofotiga sazovor bo'ldi. Geteroo'tishli tuzilmalar kombinatsiyasining to'rt xilini amalga oshirish mumkin:  $p_1 \sim n_2 > n_1$ ,  $n_1 - p_2$  va  $p_1 - p_2$ . Geteroo'tishlar xususiyatlarining farqi, ularning energetik diagrammalaridan kelib chiqadi.  $p_1 - n_2$  geteroo'tish zonalar energetik diagrammasini ko'rib chiqamiz. Yarimo'tkazgichlarning  $\delta$ -turlisi tor taqiqlangan zonali,  $n$  turlisi esa keng zonali bo'lsin. Zonalar energetik diagrammasi qurilishiga ortiqcha e'tibor qaratmasdan, uning eng muhim xususiyatini elektron va kovaklar uchun potensial to'siqlar qiymati turlicha ekanligini aytib o'tamiz. Ushbu tuzilma o'tkazuvchanlik zonadagi elektronlarga bo'lgan .



1.1.-rasm  $p-n$  (a) va  $n_1-n_2$  (b) geteroo'tishlarning energetik diagrammalari.

Potensial barer (EPB) valent zonadagi kovaklar uchun potensial barer (KPB) ga nisbatan kichik. To'g'ri kuchlanish berilganda EPB kamayadi va elektronlar  $n$ -yarimo'tkazgichdan  $p$ -yarimo'tkazgichga injeksiyanadi. Bunda qo'shni sohadagi KPB kamaysa ham, kovaklarning  $p$ -sohadan  $n$ -sohaga injeksiyanishiga yo'l bermaydigan darajada kamayadi. Shuning uchun kovaklar  $p$ -sohadan  $n$ -sohaga deyarli injeksiyanmaydi. Ushbu xususiyat geteroo'tishlarning gomo- o'tishlarda amalga oshirib bo'lmaydigan qator xususiyatlarini belgilaydi. Masalan, tranzistorning baza sohasi emitterga nisbatan yuqoriroq legirlangan bo'lsa ham, emitterning injeksiya koeffitsientini birga yaqin bo'lishiga erishish mumkin. Bundan tashqari, kontaktlashuvchi

yarimo'tkazgichlar o'tkazuvchanlik turi bir xil ( $n_1$ - $n_2$  va  $P_1$ - $P_2$  tuzilmalar) bo'lganda ham geteroo'tishlarda to'g'rilash xususiyati saqlanadi.

Masalan  $n_1$ - $n_2$ ; tuzilma zonalar energetik diagrammasidan,  $n_1$  — yarimo'tkazgich  $n_2$  — ga qaraganda tor taqiqlangan zonali bo'lganida (1-rasm), to'g'ri ulanish amalga oshirilsa, injeksiyanuvchi zaryad tashuvchilar  $n_1$  va  $n_2$  sohalarining asosiy zaryad tashuvchilari bilan bir xil ishoraga ega bo'ladi. Shunday qilib, geteroo'tishlarda bir tomonlama injeksiya bo'lganligi (noasosiy zaryad tashuvchilar injeksiyasi bolmagani) sababli, elektron asboblarning tezkorligini oshirish imkonini yaratiladi. Ideallashtirilgan geteroo'tish VAXi (1) formula bilan aniqlanadi. Geteroo'tishlarning boshqa muhim xususiyatlari tegishli bo'limlarda ko'riladi.

Taqiqlangan zonalar kengligi har xil bo'lgan ikki yarimo'tkazgich chegarasida mavjud keladigan o'tish qatlami geteroo'tish deyiladi. Masalan, Ge-GaAs, GaAs-GaP kontaktlari geteroo'tishlar bo'ladi. Geteroo'tishlarni olish usullari yaxshi ishlab chiqilgan. Geteroo'tishlar keskin chegarali yoki silliq o'zgaruvchan chegarali, simmetrik yoki nosimmetrik bo'lishi mumkin. Keskin chegarali geteroo'tishlarni tashkil etgan moddalar chegarasida taqiqlangan zona kengligi sakrash bilan (keskin) o'zgaradi, silliq o'zgaruvchan chegarali geteroo'tishlarda qandaydir qatlam davomida taqiqlangan zona kengligi o'zgarib boradi (varizon geteroo'tishlar) 1.1.a-rasmda p-n-izotip geteroo'tish, 1.1.b-rasmda p-n-anizotip geteroo'tish tasvirlangan. Ularning ikkalasi ham keskin o'tishlar turiga mansub bo'lib, chegarasida o'tkazuvchanlik zonalarining  $\Delta E_c$ , valent zonalarining  $\Delta E_v$  uzilishlariga ega. Geteroo'tishlarning qo'llanishi, gomoo'tishlardan farqli ravishda, turli amaliy maqsadlarda foydalaniladigan bir qator hodisalarning yuz berishiga olib keladi. Masalan, galliy, arsenid va alyuminiy elementlari birikmasi asosida geterolazerlar ishlab chiqilgan, bunda bir xil, ammo n-va p-tur o'tkazuvchanlikli ikki kristall orasidagi boshqa tor taqiqlangan zonali yarimo'tkazgich qatlami hosil qilingan. O'rtadagi qatlamda zaryad tashuvchilar zichligini katta qilish oson bo'ladi va bu ajoyib lazer xossasi namoyon bo'lishiga imkon beradi. Geteroo'tishlarga xos yana bir muhim xususiyatini aytib o'tish zarur. Geteroo'tishning ikki modda chegarasida kristall tuzilishi o'zgaradi,

oqibatda uzilgan kimyoviy bog'lanishlar paydo bo'ladi, bu esa shu chegarada elektronlar uchun energiya holatlari hosil qiladi. Ushbu sirtiy holatlarning geteroo'tishlarda yuz beradigan jarayonlarda tutgan o'rni muhimdir. Geteroo'tish sohasidagi maydonning shakllanishida, binobarin, bu tizimning elektr sig'imi aniqlashda sirtiy holatlardagi zaryad miqdori sezilarli hissa qo'shishi mumkun. Mazkur sathlar orqali rekombinatsiya jarayonlar amalga oshadi. Ba'zi hollarda ularning ko'p bo'lishi maqsadga muvofiq emas. Xullas, geteroo'tish chegarasidagi sirtiy sathlar uning xususiyatlarini belgilaydigan muhim omillardan biri bo'lib hisoblanadi. Erish temperaturasi va kristall panjaraning davri, shuningdek, chiziqli termik kengayish koeffitsienti geterostrukturalarni yashashida asosiy rol o'ynaydi. Geterostrukturalarni yaratish uchun bir xil tipdagi kristall panjaraga panjara davridagi va termik koeffitsientlardagi farq juda kichik bo'lgan yarimo'tkazgich materiallar qo'llaniladi. Geteroo'tishning Anderson modeliga Shoklining diod nazariyasi asos qilib olingan bo'lib, bunda yarimo'tkazgichlarning taqiqlangan zonalar kengligi, elektronning tashqi chiqish ishlari, ya'ni elektron yaqinlik energiyalari ( $x_1$  va  $x_2$ ) elektronlarning termodinamik ishlari ( $x_{01}$  va  $x_{02}$ ), dielektrik singdiruvchanlik ( $\epsilon_1$  va  $\epsilon_2$ ) har xil deb qaraladi. Yarimo'tkazgichlarda taqiqlangan zonalar kengligi hamda elektron yaqinlik energiyalarining har xil bo'lishi o'tkazuvchanlik zonalari tubining va valent zonalari shipining chegara sohasida uzilishiga olib keladi. Uzilish keskin pog'ona shaklida bo'lib, ularning kattaligi quyidagicha aniqlanadi

$$\Delta E = x_{01} - x_{02}; \quad \Delta E = x_{02} - x_{01} + E_{g2} - E_{g1}; \quad (1.1)$$

Sohalar chegarasida zonalarning uzilish kattaligi ayrim holda ko'rilgan yarimo'tkazgichlarda qanday bo'lsa, geteroo'tishlarda ham shunday saqlanadi. 3-rasmda alohida-alohida ikki yarimo'tkazgichning hamda ideal p-n geteroo'tishning energetik diogrammalari keltirilgan. Bu yarimo'tkazgichlar kontaktlashtirilgandan so'ng elektronlar almashinuvi natijasida muvozanat o'rnatiladi va o'tish chegarasida sohalarning ikki tomonidan Fermi sathlari tenglashadi. Elektronlar uchun hosil bo'lgan potensial to'siq balandligi, ya'ni chegara sohasida energiyalarining vakuum sathida

uzilishi elektronning kontaktdagi potensial energiyalar ayirmasini belgilaydi hamda quyidagicha ifodalanadi:

$$F = eV_d = x_1 - x_2 \quad (1.2)$$

Elektr maydon kuchlanganligi  $E$  bo'lgan sohani hosil qilgan hajmiy zaryad hajmiy dipol ko'rinishida mavjud bo'ladi.

Elektron n-tipli yarimo'tkazgichdan p-tipli materialga o'tish sohasida balandligi

$$F = eV_{dn} \quad (1.3)$$

bo'lgan, kovak p –sohadan n-sohaga o'tishda esa balandligi  $F_p = eV_{dp} + eV_{dn} + \Delta E_V$

$$F_p = eV_{dp} + eV_{dn} + \Delta E_V \quad (1.4)$$

bo'lgan potensial to'siqni yengib o'tadi. Bundan ko'rinadiki,  $F_p \gg F_n$  bo'lgan holat amalga oshirilishi mumkin. Geteroo'tishga to'g'ri tokning injeksion tashkil etuvchisi keng zonali yarimo'tkazgichning muvozanat holatdagi elektronlari bilan aniqlanadi. Bunday hol odatdagi p-n gomoo'tishda kuzatilmaydi. 4-rasmda turli geteroo'tishlarning energetik diagrammalari keltirilgan. Shuni ta'kidlash kerakki, real (haqiqiy) geteroo'tishlarning energetik diagrammalari Anderson modeli bo'yicha olingan diagrammalardan katta farqlanishi mumkin. Bu farq chegara sohasida katta zichlikka ega bo'lgan holatlar, sirt dipollari hosil bo'lishi bilan bog'langan. Bu o'zgarishlarni va zaryad tashuvchilarning yo'nalishlarini hisobga olish VAXni nazariy hamda amaliy tekshirish natijalarining o'zaro mos kelishiga olib keladi.

## XULOSA

- p – n o'tishli getrostrukturalarni volt – amper xarakteristikalarini xisobga olishda baza va sirqish qarshiliklarini kuchlanish ta'sirida o'zgarishini xisobga olish p – n o'tishli diodlar xarakteristikalarini tahlil qilishda muhim ahamyatga ega.

- p –n o'tishli diodlarni potensial to'siq balandligi xarorat ta'sirida kamayishi natijasida to'g'ri ulangan diod ochilishi oldingi past xaroratga nisbatan kichik kuchlanishlarda ochiladi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Kaya, F. S., Duman, S., Baris, O., & Gurbulak, B. (2021). Calculation of characteristics parameters of Au /methyl green/n-Si/Ag diodes from the current-voltage measurements. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 121, 105325. (<https://doi.org/10.1016/j.mssp.2020.105325>)
2. M. Zhu, J. Zhang, H. Hou, *Microelectron. Eng.* 95 (2012) 112–115.
3. S. Duman, F.S. Ozcelik, B. Gurbulak, M. Gulnihar, A. Türüt, *Metall. Mater. Trans.* 46A (2014) 347–353.
4. Di Bartolomeo, A., Luongo, G., Giubileo, F., Funicello, N., Niu, G., Schroeder, T., Lupina, G. (2017). Hybrid graphene/silicon Schottky photodiode with intrinsic gating effect. *2D Materials*, 4(2), 025075. (<https://doi.org/10.1088/2053-1583/aa6aa0>)
5. Card H C and Rhoderick E H 1971 Studies of tunnel MOS diodes I. Interface effects in silicon Schottky diodes *J. Phys. D: Appl. Phys.* 4 1589–601
6. Sze S M and Ng K K 2006 *Physics of Semiconductor Devices: Sze/Physics*(New York: Wiley)
7. Tyagi M S 1984 *Physics of Schottky barrier junctions Metal-Semiconductor Schottky Barrier Junctions and Their Applications*ed B L Sharma (Berlin: Springer) pp 1–60
8. Werner J H and Güttler H H 1991 Barrier inhomogeneities at Schottky contacts *J. Appl. Phys.* 69 1522–33