

**GAZ RAZRYADLI YARIMO‘TKAZGICHGA EGA FOTOGRAFIK  
IONIZATSION KAMERADA UZOQ TO‘LQINLI INFRAQIZIL NURLANISHNI QAYD  
ETISH MEXANIZMLARI**

**Sh.B. Utamuradova**

Yarimo‘tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy-tadqiqot instituti

**B.Z. Xaydarov**

Farg‘ona davlat texnika universiteti

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20508565>

**Annotatsiya:** Yarimo‘tkazgich elektrodarga ega gaz razryadli yacheykalarda fizik jarayonlar nazariy va eksperimental jihatdan tadqiq qilindi. Plazmali kontaktlarning gaz razryadi stabiligini oshirishi aniqlandi. Qo‘shimcha dempferlovchi kaskadli fotografik ionizatsion kamera 0,38–11 mkm va undan yuqori infraqizil diapazonda obyektlarni qayd etish imkonini berdi. Eksperimental natijalar nazariy hisoblar bilan mos keldi.

**Kalit so‘zlar:** gaz razryadli yacheyka, dempferlovchi yacheyka, galliy arsenidi, kremniy, oltingugurt bilan legirlangan, yarimo‘tkazgichli fotografik ionizatsion kamera, infraqizil nurlanish, fotoelektrik gisterezis, fotografik effekt.

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ РЕГИСТРАЦИИ ДЛИННОВОЛНОВОГО  
ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ГАЗОРАЗРЯДНОЙ  
ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ФОТОГРАФИЧЕСКОЙ ИОНИЗАЦИОННОЙ КАМЕРЕ**

**Ш.Б. Утамурадова**

Научно-исследовательский институт физики полупроводников и  
микроэлектроники

**Б.З. Хайдаров**

Ферганский государственный технический университет

**Аннотация:** Теоретически и экспериментально исследованы физические процессы в газоразрядной ячейке с полупроводниковыми электродами. Установлено, что плазменные контакты повышают стабильность газового разряда. Полупроводниковая фотографическая ионизационная камера с дополнительным демпфирующим каскадом обеспечивает регистрацию объектов в ИК-диапазоне 0,38–11 мкм и выше. Экспериментальные результаты согласуются с теоретическими расчетами.

**Ключевые слова:** газоразрядная ячейка, демпфирующая ячейка, арсенид галлия, кремний, легированный серой, полупроводниковая фотографическая ионизационная камера, инфракрасное излучение, фотоэлектрический гистерезис, фотографический эффект.

**INVESTIGATION OF LONG-WAVELENGTH INFRARED RADIATION  
DETECTION MECHANISMS IN A GAS-DISCHARGE SEMICONDUCTOR  
PHOTOGRAPHIC IONIZATION CAMERA**

**Sh.B. Utamuradova**

Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics

**B.Z. Khaydarov**

Fergana State Technical University

**Abstract:** Physical processes in gas-discharge cells with semiconductor electrodes were investigated theoretically and experimentally. Plasma contacts were found to enhance the stability

of gas-discharge luminescence. A semiconductor photographic ionization camera with an additional damping cascade enabled object detection in the infrared range of 0.38–11  $\mu\text{m}$  and beyond. The experimental results were in good agreement with theoretical calculations.

**Keywords:** gas-discharge cell, damping cell, gallium arsenide, silicon doped with sulfur, semiconductor photographic ionization chamber, infrared radiation, photoelectric hysteresis, photographic effect.

## KIRISH

Yassi gaz razryadli yacheyka yarimo'tkazgichli fotosezgir elektrod bilan birgalikda yarimo'tkazgichli fotografik ionizatsion kamera (YFIK)ning asosiy elementi hisoblanadi. U fotoelektronika sohasida ko'rinuvchi va infraqizil (IR) nurlanishlarni, shuningdek obyektlarning issiqlik maydonlarini qayd etishda keng qo'llanilmoqda [1–3].

Bunday tizimda o'zgaras tokning o'tishi gaz razryad toki stabillashuviga, uning qiymatini boshqarish imkoniyatiga hamda yarimo'tkazgich elektrod o'tkazuvchanligini modulyatsiya qilish orqali razryad kesimi bo'ylab fazoviy taqsimotni boshqarishga olib keluvchi bir qator o'ziga xos hodisalar bilan kuzatiladi. Razryadning yarimo'tkazgichli stabillashuvini belgilovchi omillarning ko'pligi va ularning nochizikli funksional bog'lanishlari ushbu muammoni murakkablashtiradi. Biroq, bir jinsli taqsimlangan qarshilik ko'rinishidagi yarimo'tkazgichli fotopriyomnikning dempferlovchi xossalari alohida ahamiyat kasb etadi. Faqat yuqori qarshilikka ega bo'lgan va bir jinsli taqsimlangan qarshilik shaklidagi elektrod gaz razryadini ko'ndalang kesim yuzasi bo'ylab stabillashtirishni ta'minlaydi [4].

Mazkur ishda xona haroratida xrom bilan kompensatsiyalangan gally arsenidi (GaAs) hamda suyuq azot haroratida platina bilan legirlangan kremniy ( $\text{Si}\langle\text{Pt}\rangle$ ) [5] asosidagi yarimo'tkazgich elektrodlarga ega fotopriyomniklarda gaz bosimi va qarshilikning keng diapazonida razryadning stabillashuv sohasi tadqiq qilindi. Yarimo'tkazgichning solishtirma qarshiligi  $10^7 \text{ Om}\cdot\text{sm}$  dan  $1,3\times 10^8 \text{ Om}\cdot\text{sm}$  gacha bo'lganda, atmosfera bosimi ham daxil bo'lgan barcha o'rganilgan gaz bosimlarida keng stabillashuv sohasi mavjudligi aniqlandi. Bundan tashqari, yarimo'tkazgichning solishtirma qarshiligi  $10^6 \text{ Om}\cdot\text{sm}$  dan past bo'lganda gaz razryadli yacheykada razryad stabillashuvi yuz bermasligi qayd etildi. Shu sababli oltingugurt bilan legirlangan kremniy ( $\text{Si}\langle\text{S}\rangle$ ) [6] asosidagi yarimo'tkazgich plastina o'zgaras tokda, ya'ni kutish rejimida ishlovchi gaz razryadli yacheykada fotopriyomnik sifatida qo'llanilishi mumkin emas, chunki suyuq azot haroratida ham uning solishtirma qarshiligi  $10^6 \text{ Om}\cdot\text{sm}$  dan yuqori bo'lmaydi. Shu bois u impulsli, ya'ni strobirlovchi rejimda qo'llaniladi.

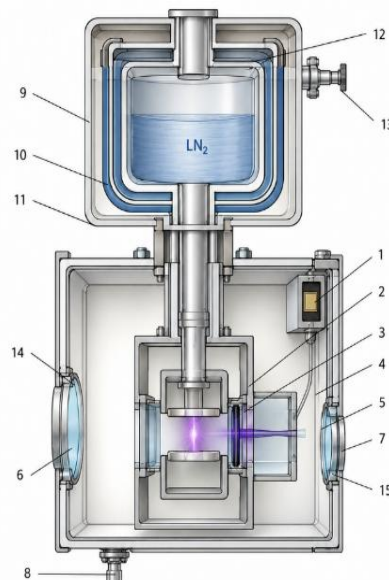
Biroq, YFIKdagi strobirlovchi rejim  $\text{Si}\langle\text{S}\rangle$  turidagi fotopriyomniklar yordamida spektrning uzun to'lqinli sohasida IR-fotografiyalash uchun zamonaviy talablarga javob bermaydi. Birinchidan, kamida 300 W quvvatli impuls generator talab etiladi. Ikkinchidan, impulsli rejimda gaz razryadli yacheykadagi razryadning muvozanat tashuvchilari kuchli fon hosil qiladi, chunki undagi elektr maydon kuchlanganligi kamida  $10^8 \text{ V/sm}$  ni tashkil etadi. Bu esa kontrastli IR-tasvirni hosil qilishga to'sqinlik qiladi. Shunga qaramay,  $\text{Si}\langle\text{S}\rangle$  asosidagi yarimo'tkazgich plastina 11 mkm gacha bo'lgan lazer nurlanishlarini fotografik qayd etish va fazoviy diagnostika qilish imkonini beradi [7–9].

Mazkur ishning maqsadi — gaz razryadli yacheykaning o'zgaras tokda, ya'ni kutish rejimida ishlashi davomida gaz razryadining barqaror yorug'lanishini ta'minlash va shu orqali spektrning uzoq infraqizil sohasida fotografik qayd etishni amalga oshirish uchun zarur sharoitlarni yaratishdan iborat.

Quyida Si<S> va GaAs elektrolari hamda plazmali kontaktlarga ega gaz razryadli yacheykalarda razryad stabillashuvini tadqiq qilish natijalari keltiriladi, muhokama qismida esa nazariy va eksperimental natijalar o‘zaro taqqoslanadi. Ushbu ishda biz yarim izolyatsiyalovchi galliy arsenidi asosidagi plazmali kontaktlarni tadqiq qilish bo‘yicha to‘plangan boy tajribadan foydalandik [10–12].

### MATERIAL VA METODLAR

YFIKning konstruksion sxemasi 1-rasm, a da ko‘rsatilgan. Rasmda quyidagi belgilashlar qabul qilingan: 1 – yarimo‘tkazgichli fotopriyomnik, 2 – gaz razryadli oraliq, 3 – shaffof qarshi elektrod, 4 – tolali-optik element, 5 – gaz bilan to‘ldiriladigan kamera, 6 – gaz to‘ldiriladigan kameraning kirish oynasi, 7 – gaz to‘ldiriladigan kameraning chiqish oynasi, 8 – gazni chiqarish va kiritish tuguni, 9 – Dyuar idishi, 10 – ichi bo‘sh halqasimon sovutgich, 11 – halqasimon sovutgichning vakuumlashtirilgan qobig‘i, 12 – Dyuar idishining vakuum hajmi, 13 – havoni so‘rib chiqarish uchun Dyuar idishining vakuum tuguni, 14 – vakuumlashtirilgan qobiqning kirish oynasi, 15 – vakuumlashtirilgan qobiq qopqog‘i.



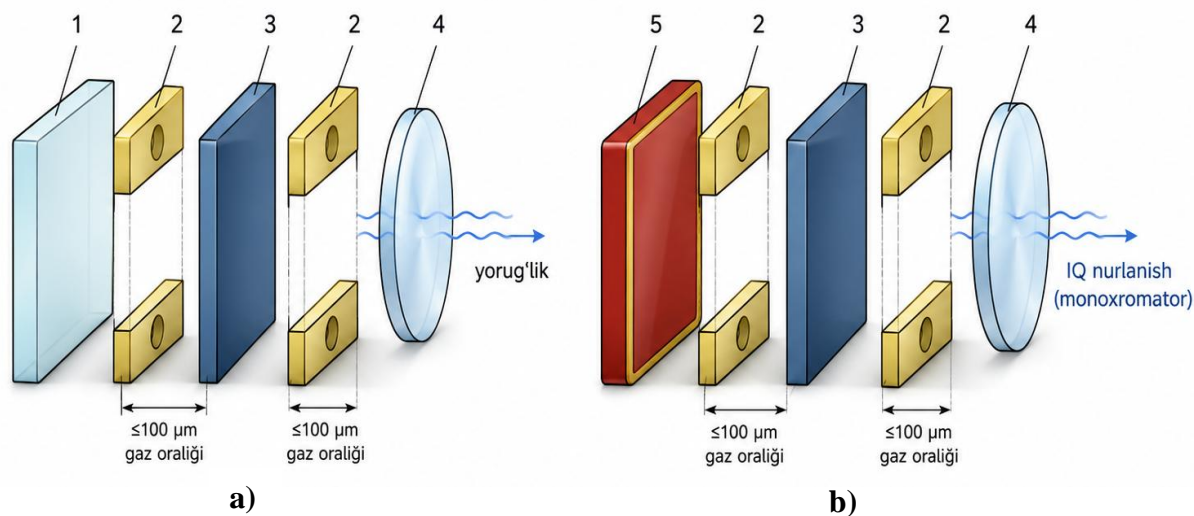
1-rasm. Yarimo‘tkazgichli fotografik ionizatsion kameraning konstruksiyasi (sxematik ko‘rinishi).

YFIKning asosiy qismi gaz razryadli yacheyka bo‘lib, u fotopriyomnik 1 va qarshi elektrod 3 dan tashkil topgan. Qarshi elektrod SnO<sub>2</sub> dan tayyorlangan o‘tkazuvchan shaffof qoplamali tolali-optik shaybadan yasaladi. Obyektning infraqizil (IR) tasviri fotopriyomnik 1 yuzasiga proyeksiyalanganda, unda tushayotgan IR-nurlanish intensivligini takrorlovchi fotoo‘tkazuvchanlik taqsimoti hosil bo‘ladi. Fotopriyomnik 1 va shaffof qarshi elektrod 3 orasiga yetarli kattalikdagi kuchlanish qo‘yilganda, gaz razryadli oraliq 2 da teshilish sodir bo‘ladi.

Gaz razryad plazmasining tok zichligi va yorug‘lanish yorqinligi yarimo‘tkazgichli fotopriyomnik 1 dagi fotoo‘tkazuvchanlik taqsimoti bilan belgilanadi. Tasvir qarshi elektrod 3 orqali ko‘rinuvchi va ultrabinafsha nurlanish ko‘rinishida tolali-optik element 4 yordamida qurilmaning chiqish qismiga uzatiladi. Tolali-optik element 4 ning uchi elektron-optik o‘zgartirgich — EP-16 (Rossiya ishlab chiqarishi) kirish qismiga ulanadi.

Tajriba davomida fotografiyalanayotgan va kuzatilayotgan obyekt sifatida NaCl prizmalı hamda ferrit sterjenli “global” turidagi yorug‘lik manbaiga ega IR-monoxromator tirqishi ishlatildi. Tirqish tasviri BaF<sub>2</sub> linzasi yordamida fotopriyomnikning qabul qiluvchi yuzasiga

proyeksiyalandi. Nurlanish intensivligi sezgirligi 0,72 V/W bo‘lgan LETI turidagi termoustun yordamida o‘lchandi.



2-rasm, a-CdTe asosidagi fotopriyomnikli gaz razryadli yacheyka, b — Si<S> asosidagi fotopriyomnik va CdTe dan tayyorlangan dempferlovchi elektrodlil gaz razryadli yacheyka.

1 – SnO<sub>2</sub> qoplamali shishadan tayyorlangan kirish elektrodi; 2 – markazida teshikka ega slyuda plastinkalari;

Tajribalar yarimo‘tkazgichlar va shaffof qarshi elektrodlarning ikki xil konfiguratsiyasi uchun olib borildi. 2-rasm, b da ko‘rsatilgan birinchi konfiguratsiyada xrom bilan kompensatsiyalangan galliy arsenidi (CdTe) dan tayyorlangan yarimo‘tkazgich plastina 3, SnO<sub>2</sub> qoplamali shisha plastinka 1 va tolali-optik shayba 4 orasiga joylashtirilgan bo‘lib, bunda yarimo‘tkazgich plastina 1 va 4 elementlardan har biri qalinligi 100 mkm gacha bo‘lgan gaz oraliqlari 2 bilan ajratilgan. Ushbu holatda tajriba xona haroratida T = 300 K ko‘rinuvchi yorug‘lik bilan yoritish sharoitida o‘tkazildi.

Elektrodlarning ikkinchi konfiguratsiyasida (2-rasm, b) infraqizil nurlanishga sezgir Si<S> asosidagi fotopriyomnik gaz razryadli yacheykaning kirish qismiga o‘rnatildi. Kremniyning qabul qiluvchi yuzasidagi omik kontakt termodiffuziya usuli bilan hosil qilingan fosfor qatlami yordamida yaratildi; uning konsentratsiyasi  $3 \times 10^{19} \text{ sm}^{-3}$ , qalinligi esa 8 mkm ni tashkil etdi. Bundan tashqari, chetki qismlariga vakuumda oltin halqa purkaldi. Si<S> asosidagi fotopriyomnikning ichki yuzasi CdTe dan tayyorlangan dempferlovchi plastinadan qalinligi 100 mkm gacha bo‘lgan gaz oralig‘i orqali ajratilgan, CdTe ning ikkinchi yuzasi esa xuddi shunday qalinlikdagi gaz oralig‘i orqali tolali-optik shaybadan ajratilgan. Ushbu holatda tajriba termoelektrik sovuqchil haroratida va IQ-monoxromatorning infraqizil nurlanishi ta‘sirida amalga oshirildi.

Gaz razryadli yacheykaning volt-amper va relaksatsion xarakteristikalari LKD4-003 turidagi ikki koordinatali potensimetr yordamida olindi. Xarakteristik egri chiziqlarni qurish uchun fotoelektron ko‘paytirgich (FEK-19A) dan foydalanildi, unda gaz razryadi yorug‘lanishiga mos keluvchi tok qiymatlari qayd qilindi. Bunda razryad yorug‘lanishi gaz razryadli yacheykaning tolali-optik shaybasi chiqish uchidan yoki EP-16 ekranidan bevosita FEK ga yo‘naltirildi.

### NATIJALAR

Gaz razryadli yacheykadagi plazmali kontaktlar yarimo‘tkazgich yuzasiga o‘ziga xos ta‘sir ko‘rsatadi. Plazma tok tashuvchilari (elektronlar va ionlar), shuningdek elektronlarning tormozlanish nurlanishi natijasida hosil bo‘luvchi fotonlar oqimining yarimo‘tkazgich yuzasiga

ta'siri gaz razryadining yorug'lanishi bilan birgalikda yarimo'tkazgichning butun chuqurligi bo'ylab tarqaladi. Bunday tasavvurda tok tashuvchilar fototok  $j_c$  ga proporsional bo'lgan bir jinsli hajmiy generatsiyani, shuningdek fotoelektronlar oqimini hosil qiladi.

bu yerda  $\mu$  — yarimo'tkazgichdagi tashuvchilar harakatchanligi,

$$I = \frac{j}{e} = \xi \mu n E$$

$n$  — fototashuvchilar konsentratsiyasi,

$E$  — elektr maydon kuchlanganligi,

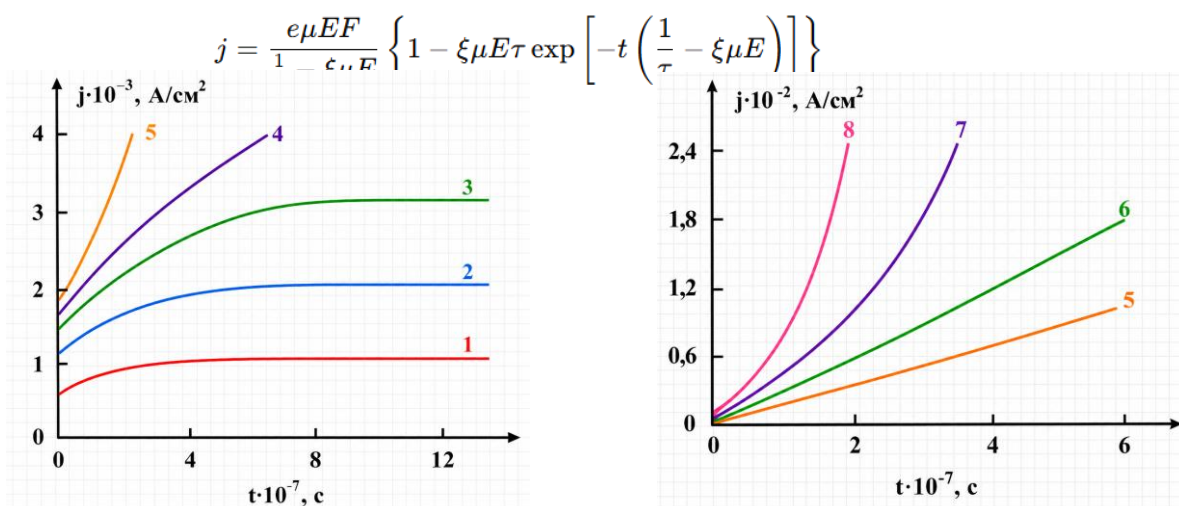
$\xi$  — proporsionallik koeffitsiyenti bo'lib, uning fizik ma'nosi quyida tushuntiriladi.

Gaz razryad plazmasining ta'sirini hisobga olgan holda nomuvozanat tashuvchilar konsentratsiyasi  $n$  ning vaqt bo'yicha o'zgarishi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi.

$$j = \frac{e\mu EF}{\frac{1}{\tau} - \xi\mu E} \left( 1 - \xi\mu E\tau \exp \left[ -t \left( \frac{1}{\tau} - \xi\mu E \right) \right] \right)$$

$$E > 1/\xi\mu\tau$$

sohasida esa quyidagi ifoda bilan aniqlanadi.



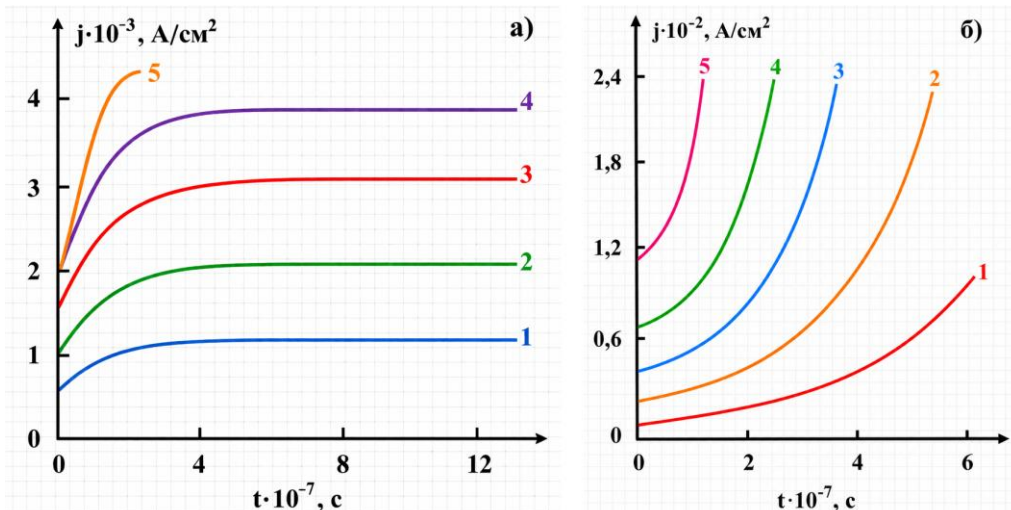
3-rasm. Elektr maydon kuchlanganligi  $E$  ning turli qiymatlarida fototok kinetikasi.

$E$  quyidagiga teng: 1 –  $0,4 \times 10^4$  V/sm, 2 –  $0,9 \times 10^4$  V/sm, 3 –  $1,3 \times 10^4$  V/sm, 4 –  $1,6 \times 10^4$  V/sm, 5 –  $2 \times 10^4$  V/sm, 6 –  $2,25 \times 10^4$  V/sm, 7 –  $3 \times 10^4$  V/sm, 8 –  $5 \times 10^4$  V/sm. Generatsiya intensivligi:  $F = 10^{16} \text{ sm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ . 5-egri chiziq effektiv yashash vaqtining cheksiz qiymatiga mos keladi.

3-rasmda qo'yilgan kuchlanishning turli qiymatlarida formulalar (2) va (3) asosida hisoblangan fototokning relaksatsion egri chiziqlari keltirilgan. 4-rasmda esa yorug'lik intensivligining turli qiymatlarida formulalar (2) va (3) asosida hisoblangan fototokning relaksatsion egri chiziqlari seriyasi tasvirlangan.

Ekspirimental natijalar: Relaksatsion egri chiziqlar 2-rasm, b da ko'rsatilgan elektrodlar konfiguratsiyasiga ega gaz razryadli yacheykadagi ikki plazmali kontaktli GaAs uchun olindi. 4-rasm, a da qo'yilgan kuchlanishning turli qiymatlarida olingan relaksatsion egri chiziqlar seriyasi,

4-rasm, b da esa yarimo'tkazgichning oq yorug'lik bilan yoritilish darajasining turli qiymatlarida olingan relaksatsion egri chiziqlar keltirilgan.



**4-rasm. Optik qo'zg'atish intensivligi  $F$  ning turli qiymatlarida fototok kinetikasi.  $F$  quyidagiga teng: a) 1 –  $0,6 \times 10^{16}$ , 2 –  $10^{16}$ , 3 –  $1,5 \times 10^{16}$ , 4 –  $2 \times 10^{16}$ , 5 –  $3 \times 10^{16}$ , elektr maydon kuchlanganligi  $E=10^4$  V/sm bo'lganda; b) 1 –  $0,8 \times 10^{15} \text{ sm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ , 2 –  $0,2 \times 10^{16}$ , 3 –  $10^{16}$ , 4 –  $2 \times 10^{16}$ , 5 –  $4 \times 10^{16} \text{ sm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ , elektr maydon kuchlanganligi  $E=3 \times 10^4$  V/sm bo'lganda.**

Si<S> va GaAs dan tashkil topgan ikki yarimo'tkazgichli elektrodga ega gaz razryadli yacheykaning xarakteristikalarini ham tadqiq qilindi. Ular 1-rasm, v da ko'rsatilgan elektrodlar konfiguratsiyasiga muvofiq joylashtirildi. Bunday konfiguratsiyada GaAs dempfer vazifasini bajaradi, ya'ni razryadning ko'ndalang kesim bo'ylab yonishini stabillashtiradi, Si<S> esa to'liq uzunligi 11 mkm gacha bo'lgan infraqizil nurlanish uchun fotografik sezgirlikni ta'minlaydi [7].

#### MUHOKAMA

Nazariy hisob-kitoblardan (2-rasm) ko'rinadiki, nomuvozanat tashuvchilar konsentratsiyasi  $n$  ning statsionar qiymati keskin ortadi (5-egri chiziq) va  $\xi\mu E$  kattalik  $1/\tau$  ga intilganda cheksizlikka intiladi. Ushbu shart asosida  $\xi$  koeffitsiyentining fizik ma'nosini aniqlash mumkin.  $\lambda=1/\xi$  deb belgilaymiz, bu yerda  $\lambda$  — plazma oqimining yarimo'tkazgichga qo'zg'atuvchi ta'sirini tavsiflovchi ma'lum effektiv uzunlikdir. U holda  $\xi\mu E \rightarrow 1/\tau$  sharti quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:  $t=\lambda/\mu E=\tau$  ya'ni:  $\lambda=\mu E\tau$  Plazmali qo'zg'atishning eng katta ta'siri yarimo'tkazgichdagi tashuvchilarning drift siljish uzunligi  $L_E = \mu E\tau$  kattalik  $\lambda$  ga teng bo'lganda yuz beradi. Boshqacha aytganda, elektr maydon kuchlanganligi ortishi natijasida tashuvchining xarakterli  $\lambda$  uzunlikni bosib o'tish vaqti  $t_{pr}$  yashash vaqti  $\tau$  ga tenglashadi. Agar tashuvchining yarimo'tkazgichning to'liq uzunligi  $L$  ni bosib o'tish vaqti  $t_{pr} = L/\mu E$  deb olinsa, u holda  $\xi\mu E \rightarrow 1/\tau$  sharti quyidagi ko'rinishda yoziladi:  $\tau=(\lambda/L) \times t_{pr}$  Bu shart eksklyuziya sharti  $\tau=t_{pr}$  ni eslatadi, ammo farqi shundaki, bu yerda  $t_{pr}$  oldida  $\lambda/L$  ko'paytuvchisi, ya'ni xarakterli uzunlikning namuna uzunligiga nisbati mavjud. Shunday qilib,  $\lambda$  kattaligi plazmaning ta'sir samaradorligi bilan bevosita bog'liqdir. 2-rasmda keltirilgan relaksatsion egri chiziqlarning xarakterli jihati shundan iboratki,  $E=1/\xi\mu\tau$  bo'lganda relaksatsiya rekombinatsiya mavjud bo'lmagan holatdagi optik generatsiya tezligiga mos keluvchi qiyalik bilan tokning chiziqli ortishi orqali ifodalanadi. Bu holda tashuvchilarning rekombinatsion yo'qotishlari plazma tomonidan hosil qilinuvchi generatsiya bilan to'liq kompensatsiyalanadi va effektiv yashash vaqti  $1/\tau_{ef} = 1/\tau - \xi\mu E$  cheksizlikka intiladi.  $E < 1/\xi\mu\tau$  sohasida  $\tau_{ef}$  musbat bo'ladi va fototok statsionar qiymatga ega bo'ladi.  $E > 1/\xi\mu\tau$

holatda esa manfiy yashash vaqti sharti amalga oshadi, statsionar holat mavjud bo'lmaydi va fototokning vaqt bo'yicha eksponensial ortishi kuzatiladi.

#### XULOSA

Mazkur ishning muhim ilmiy yutug'i shundan iboratki, gaz razryadli yacheykada gaz razryadini stabillashtirish uchun qo'shimcha dempferlovchi yacheyka (kaskad) qo'llanildi va shu tariqa infraqizil fotografiyalashni uzoq infraqizil soha — 10 mkm va undan yuqori diapazongacha kengaytirish imkoniyati yaratildi. Elektrodning bunday joylashuviga (1-rasm, v) gaz razryadli yacheykaning kirish qismidagi fotopriyomnik turi razryadning stabillashuviga sezilarli ta'sir ko'rsatmaydi, balki faqat fotografik sezgirlikni ta'minlaydi.

Shuni aytish mumkinki, elektrodning bunday konfiguratsiyasida infraqizil fotografiyalash uchun solishtirma qarshiligi  $10^6$  Om·sm dan kichik bo'lgan past qarshilikli, IR-nurlanishga sezgir fotopriyomniklardan ham foydalanish mumkin. Biroq, faqat fotoelektrik gisterezis va fotografik effektni ta'minlovchi temperatura diapazoni [2,3] YFIK da yuqori sezgirlik va kontrastlikka erishish imkonini beradi.

#### FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Utamuradova, Sh B., Z. Khaydarov, and B. Z. Khaydarov. "Characterization of plasma contacts to cadmium telluride photodetector in ultrathin gas discharge cell." *UNEC JOURNAL OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES* Учредители: Азербайджанский государственный экономический университет 4.2 (2024): 55-61..
2. Utamuradova, Sharifa B., Kakhramon M. Fayzullaev, and Bunyodbek Z. Khaydarov. "Study of Cathode-Anode Spraying in a Gas Discharge Light-Sensitive System Based on CdTe-SnO<sub>2</sub>." *East European Journal of Physics* 1 (2026): 401-405.
3. Хайдаров, З., et al. "Фотоэлектрические явления в сверхтонком (3-20 мкм) зазоре газового разряда с полупроводниковым электродом." *Журнал фізики та інженерії поверхні* 13.2 (2015): 136-140. Парицкий Л.Г., Хайдаров З., Мухамадиев О., Дадабаев О. // ФТП. 1993. Т. 27, № 11/12. С. 2009.
4. Хайдаров, Зокиржон, and Хуршиджон Толибович Йулдашев. "Новый фотографический эффект в сверхтонкой газоразрядной ячейке с полупроводниковым электродом." *Прикладная физика* 5 (2016): 75-80. Хайдаров З. и др. Авторское свидетельство России № 1697572 от 08.08.1991.
5. Йулдашев, Хуршиджон Толибович, Шавкат Сулаймонович Касымов, and Зокиржон Хайдаров. "Фотопреобразователь ИК-изображений со сверхтонкой газоразрядной ячейкой и люминофором." *Прикладная физика* 2 (2016): 94-99.