RENTGEN VA GAMMA NURLANISHINI QAYD ETISHDA CdTe VA CdZnTe YARIMO‘TKAZGICH DETEKTORLARINING FIZIK XUSUSIYATLARI

Sh.A.Ro‘ziqulova
Mirzo Ulug‘bek nomidagi O‘zbekiston Milliy universiteti, Toshkent, O‘zbekiston
shahnozaroziqulova96@gmail.com
F.Y.Qo‘yliyev
Mirzo Ulug‘bek nomidagi O‘zbekiston Milliy universiteti, Toshkent, O‘zbekiston

Annotatsiya. *Ishda CdTe va CdZnTe yarimo‘tkazgich detektorlarida rentgen va gamma nurlanishini qayd etishga ta’sir etuvchi fizik omillar ilmiy adabiyotlar asosida tahlil qilinadi. Fotoeffekt, Kompton sochilishi, zaryad tashuvchilarning harakati va yig‘ilishi, detektor qalinligi hamda qayd etish samaradorligi o‘rtasidagi bog‘liqliklar ko‘rib chiqiladi. Detektor tanlashda yutilish va zaryad yig‘ish xususiyatlarini birgalikda baholash zarurligi ta’kidlanadi.*

Kalit so‘zlar: *CdTe, CdZnTe, rentgen nurlanishi, gamma nurlanishi, yarimo‘tkazgich detektor, fotoeffekt, Kompton sochilishi, zaryad yig‘ilishi.*

Аннотация. *На основе научной литературы рассмотрены физические факторы, влияющие на регистрацию рентгеновского и гамма-излучения полупроводниковыми детекторами CdTe и CdZnTe. Анализируются фотоэффект, комптоновское рассеяние, перенос и сбор носителей заряда, толщина детектора и эффективность регистрации. Подчёркивается необходимость совместной оценки поглощения излучения и сбора заряда при выборе детектора.*

Ключевые слова: *CdTe, CdZnTe, рентгеновское излучение, гамма-излучение, полупроводниковый детектор, фотоэффект, комптоновское рассеяние, сбор заряда.*

Abstract. *Based on scientific literature, this paper analyzes the physical factors governing X-ray and gamma-ray detection in CdTe and CdZnTe semiconductor detectors. The photoelectric effect, Compton scattering, charge-carrier transport and collection, detector thickness, and detection efficiency are considered. The analysis emphasizes the need to evaluate both radiation absorption and charge collection when selecting a detector.*

Keywords: *CdTe, CdZnTe, X-rays, gamma rays, semiconductor detector, photoelectric effect, Compton scattering, charge collection.*

Ushbu ishning maqsadi CdTe va CdZnTe detektorlarida rentgen va gamma nurlanishining qayd etilishini belgilovchi fizik omillarni ilmiy adabiyotlar asosida tahlil qilishdir [1–3]. Foton detektor materialida o‘zaro ta’sirlashganda hosil bo‘lgan zaryad tashuvchilar tashqi elektr maydonida harakatlanib, o‘lchanadigan signalni yuzaga keltiradi. Qayd etish xususiyatlari foton energiyasi, material tarkibi, detektor qalinligi va zaryad yig‘ilishiga bog‘liq. Fotoeffektda foton yutilib, bog‘langan elektron ajralib chiqadi; uning kinetik energiyasi foton energiyasi bilan bog‘lanish energiyasi ayirmasiga teng. Kompton sochilishida esa foton energiyasining bir qismini elektronga berib, kichikroq energiya bilan sochiladi. Yadro maydonida elektron–pozitron jufti hosil bo‘lishining energiya chegarasi taxminan 1,022 MeV. Energiyaning to‘liq qayd etilishi fotoeffektda ham, ketma-ket o‘zaro ta’sirlarda ham mumkin; buning uchun ikkilamchi nurlanish va zarralar energiyasi sezgir hajmda to‘liq yutilishi kerak.

1-rasmda [1] keltirilgan bog‘lanishlar CdTe da taxminan 200 keV gacha fotoelektr yutilishning ustunligini ko‘rsatadi. Manbada 10 mm qalinlikdagi CdTe uchun 140 keV da fotoelektr yutilishga oid samaradorlik 90% dan yuqori, 1 mm qalinlikda 40 keV da esa 100% ga yaqin deb berilgan. Bu ideal yutilish baholari real detektorning fotocho‘qqi samaradorligiga aynan teng emas: zaryad yo‘qotishlari va ikkilamchi fotonlarning chiqib ketishi o‘lchanadigan natijani kamaytiradi. 200 keV qiymati barcha yarimo‘tkazgichlar uchun universal chegara emas.

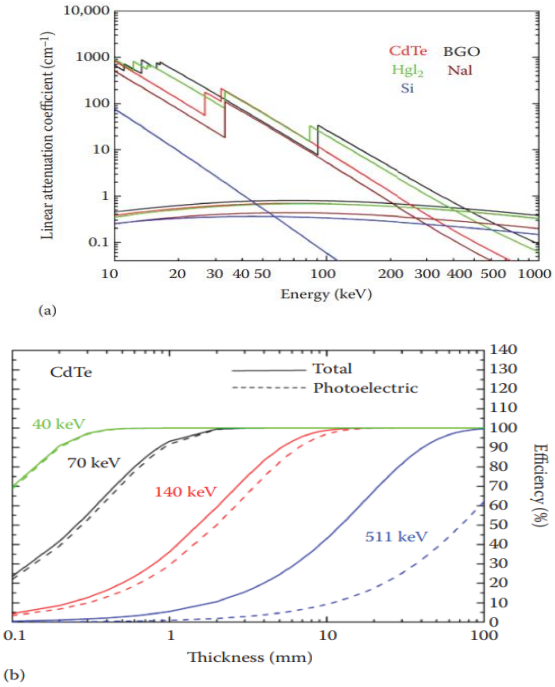
Planar detektor qarama-qarshi yuzalariga elektrodlar o‘rnatilgan yarimo‘tkazgich plastinasidan iborat (2a-rasm). Foton hosil qilgan ikkilamchi elektronlar ionlashtirish orqali elektron–kovak juftlarini yuzaga keltiradi. Elektronlar anodga, kovaklar katodga siljiydi; ularning harakati elektrodlarda signal induksiyalaydi [1, 2].

CdTe va CdZnTe ning yuqori atom raqamli tarkibiy elementlari fotonlarni yutish imkoniyatini oshiradi. Xona haroratida ishlash esa, avvalo, taqiqlangan zona kengligi va yuqori solishtirma qarshilik bilan bog‘liq. CdTe uchun zona kengligi taxminan 1,44 eV, $Cd_{0,9}Zn_{0,1}Te$ uchun 1,57 eV bo‘lib, rux qo‘shilishi sizib o‘tish tokini kamaytirishga yordam beradi [1, 3]. Biroq har ikkala materialda, ayniqsa kovaklarning tutilishi, zaryadning to‘liq yig‘ilishini cheklaydi. Shuning uchun materiallarni faqat yutilish qobiliyati bo‘yicha baholash yetarli emas.

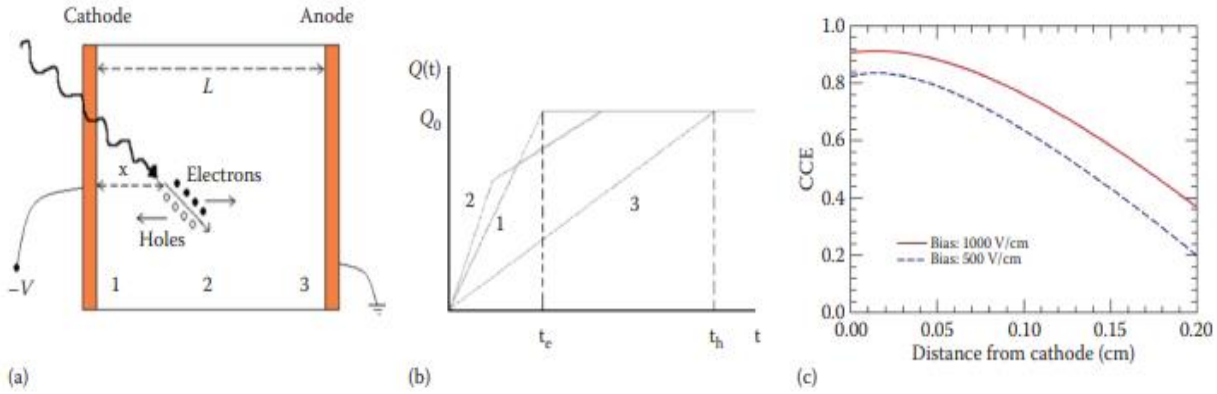
Sezgir hajmda yutilgan energiya E bo‘lsa, hosil bo‘lgan juftlar sonining o‘rtacha qiymati $N = E/w$, to‘liq yig‘ilishdagi signal zaryadi esa $Q_0 = eN = eE/w$ bo‘ladi. Bu yerda w — bitta elektron–kovak juftini hosil qilishga sarflanadigan o‘rtacha energiya, e — elementar zaryad. Q_0 elektron va kovaklardan iborat

bulutning sof zaryadi emas; u yig‘ilishi mumkin bo‘lgan signal zaryadidir. Foton energiyasini E ga tenglashtirish faqat uning energiyasi hajmda to‘liq yutilganda o‘rinli.

Elektrodda induksiyalangan zaryad Shockley–Ramo teoremasi orqali aniqlanadi [2]. Undagi vaznlash potensiali tanlangan elektrod birlik potensialda, qolgan elektrodlar nol potensialda bo‘lgan, hajmiy zaryadlar hisobga olinmagan yordamchi elektrostatik masalaga tegishli. Haqiqiy detektorda tashuvchilarning tutilishi va rekombinatsiyasi signalni kamaytiradi. Bir jinsli elektr maydonli planar detektorda bu ta’sir Hecht tenglamasi bilan baholanadi (2c-rasm) [1].



1-rasm. (a) CdTe, Si, HgI_2, NaI va BGO uchun fotoelektr yutilish va Kompton sochilishiga tegishli chiziqli susaytirish koeffitsiyentlari. (b) CdTe da umumiy o‘zaro ta’sir va fotoelektr yutilish samaradorligining qalinlikka bog‘liqligi. NaI va BGO — taqqoslash uchun keltirilgan sintillyatorlar. Manba: [1].



2-rasm. (a) Planar detektor sxemasi; (b) turli chuqurliklarda induksiyalangan zaryadning vaqtga bog‘liqligi; (c) 2 mm qalinlikdagi CdZnTe (CZT) da zaryad yig‘ish samaradorligi (CCE). Hecht modeli uchun elektr maydonlari 500 va 1000 V/cm; $\mu_e\tau_e = 1\times10^{-2}$ cm²/V va $\mu_h\tau_h = 8\times10^{-5}$ cm²/V. μ — harakatchanlik, τ — yashash vaqti. Sxema va grafiklar manbasi: [1].

Xulosa. Adabiyotlar tahlili CdTe va CdZnTe detektorlarini tanlashda fotonlarni yutish va zaryad yig‘ish xususiyatlarini birgalikda baholash zarurligini ko‘rsatadi. Qalinlik oshishi yutilishni kuchaytiradi, biroq tashuvchilarning uzoqroq yo‘l bosishi tutilish yo‘qotishlarini oshirishi mumkin. CdZnTe ning kengroq taqiqlangan zonasi sizib o‘tish tokini kamaytirishga yordam beradi; amaliy energetik ajrata olish qobiliyati esa kristall sifati, elektrod geometriyasi va ish rejimiga ham bog‘liq. Ushbu muvozanat xona haroratida ishlaydigan rentgen va gamma spektrometrlari uchun muhim [1–3].

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Del Sordo S., Abbene L., Caroli E., Mancini A. M., Zappettini A., Ubertini P. Progress in the Development of CdTe and CdZnTe Semiconductor Radiation Detectors for Astrophysical and Medical Applications // Sensors. 2009. Vol. 9(5). P. 3491–3526. https://doi.org/10.3390/s90503491

2. He Z. Review of the Shockley–Ramo theorem and its application in semiconductor gamma-ray detectors // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. 2001. Vol. 463(1–2). P. 250–267. https://doi.org/10.1016/S0168-9002(01)00223-6

3. Takahashi T., Watanabe S. Recent progress in CdTe and CdZnTe detectors // IEEE Transactions on Nuclear Science. 2001. Vol. 48(4). P. 950–959. https://doi.org/10.1109/23.958705