



**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA’LIM, FAN VA
INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI**

O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI FANLAR AKADEMIYASI

**ZAHIRIDDIN MUHAMMAD BOBUR NOMIDAGI
ANDIJON DAVLAT UNIVERSITETI**

**YARIMO‘TKAZGICHLAR FIZIKASI VA MIKROELEKTRONIKA
ILMIY TADQIQOT INSTITUTI**

**Akademik S.Z. Zaynabidinov tavalludining 80 yilligiga
bag‘ishlangan**

**“ZAMONAVIY YARIMO‘TKAZGICHLI
MIKROELEKTRONIKA VA
FOTOVOLTAIKADA NANOOLCHAMLI
TIZIMLARDAN FOYDALANISH”
mavzusidagi Xalqaro ilmiy-amaliy anjuman**

MATERIALLARI TO‘PLAMI

Andijon, 2025 yil 19–20 dekabr

yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Mazkur tadqiqot ushbu jarayonlarni nazariy va amaliy nuqtai nazardan yoritib, lazer texnologiyalarida qo'llaniladigan kvant quduqli geterotuzilmalarni optimallashtirish imkoniyatlarini ilmiy asoslashga qaratilgan.

Kvant quduqlarini yaratish jarayoni turli tarmoqli kenglikka ega bo'lgan ikki yoki undan ortiq yarimo'tkazgichlarni epitaksial usulda birlashtirishga asoslanadi. Masalan, GaAs/AlGaAs, InGaAs/InP va InGaN/GaN kabi geterotuzilmalar eng ko'p qo'llaniladi. Materiallar orasidagi potensial energiya farqi natijasida potensial to'siqlar hosil bo'ladi va o'rtada joylashgan yupqa qatlam quduq rolini bajaradi. Qatlam qalinligining 5–20 nm bo'lishi elektronlar harakatini bir o'lcham bo'yicha cheklaydi⁵.

Kvant quduq qalinligini o'zgartirish orqali chiqarilayotgan nurlanishning to'lqin uzunligini juda aniq boshqarish mumkin bo'ladi. Shu sababli kvant quduqli lazerlar turli spektral diapazonlarga moslashtiriladi. Kvant quduqli lazerlarda ishlashning boshlanishi uchun zarur bo'lgan minimal tok — odatiy diodlarga nisbatan ancha past bo'ladi. Buning sabablari: tashuvchilar quduq chuqurligida yaxshi lokalizatsiyalanadi, rekombinatsiya ehtimoli ortadi, issiqlik yo'qotishlari kamayadi, sathlararo o'tish energiyasi aniq boshqariladi. Natijada lazerning samaradorligi oshadi va elektr energiyasi tejraladi. Yupqa qatlamli yarimo'tkazgichlarda kvant quduqlarining hosil bo'lishi zamonaviy optoelektronik qurilmalar, ayniqsa, lazer diodlarining samaradorligini oshirishda muhim o'rin tutadi. Epitaksial geterostrukturalar asosida yaratilgan kvant quduqlari elektron va teshiklarning fazoviy harakatini cheklab, energiya spektrining diskretlashuviga olib keladi. Bu esa tashuvchilarning quduqda samarali lokalizatsiyalanishi, zich holatlar sonining o'zgarishi va optik o'tishlarning kuchayishi orqali lazer generatsiyasi uchun optimal sharoit yaratadi.

Kvant quduqli lazer diodlari an'anaviy bir jinsli yarimo'tkazgich lazerlariga nisbatan ko'plab afzalliklarga ega: threshold tokning keskin kamayishi, ichki kvant samaradorligining oshishi, optik quvvatning yuqoriligi, harorat barqarorligining yaxshilanishi va spektral chiziqlarning torayishi shular jumlasidandir. Ko'p kvantli (MQW) strukturalarning qo'llanishi esa kuchayish hududini kengaytirib, lazerning ishlash muddatini uzaytiradi hamda energiya tejamkorligini ta'minlaydi. Umuman olganda, kvant quduqlarining fizik xossalarini nazorat qilish orqali lazer diodlarining spektral parametrlarini aniq boshqarish, ularning quvvatini oshirish va issiqlik ta'siriga chidamliligini yaxshilash mumkin. Shu sababli kvant quduqli lazerlar telekommunikatsiya, tibbiyot, axborot saqlash, mikroelektronika va ilmiy tadqiqotlar sohasida eng talabgir optoelektron qurilmalardan biri bo'lib qolmoqda.

Adabiyotlar

1. Q. Yo'ldoshev, U. Xaitov – "Yarimo'tkazgichlar fizikasi", O'zbekiston Milliy Universiteti nashri, 2018.
2. A. Oripov – "Fizikaviy elektronika", Toshkent: O'qituvchi, 2015.
3. M. Abdurahmonov – "Optoelektronika asoslari", TATU nashriyoti, 2020.
4. С. М. Сучков – "Физика полупроводников и гетероструктур", Москва: Физматлит, 2012.
5. Е. В. Демихов – "Оптоэлектроника и лазерная техника", Москва, 2016.

ФОРМИРОВАНИЕ ОКСИДНЫХ НАНОСТРУКТУР Si-Eu-O НА ПОВЕРХНОСТИ ЛЕГИРОВАННОГО КРЕМНИЯ: РЕНТГЕНОФАЗНЫЙ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

С.О. Саидов¹, И.О. Косимов², Й.А. Абдуганиев³, Г.Х. Мавлонов³

¹Бухарский государственный университет, ул. М. Икбол 11, 200118, Бухара, Узбекистан.

²Институт биоорганической химии имени А. Садыкова, пр-т Мирзо Улугбека 83, 100125, Ташкент, Узбекистан.

⁵ М. Abdurahmonov – "Optoelektronika asoslari", TATU nashriyoti, 2020

³*Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, ул.
Университетская 2, 100095, Ташкент, Узбекистан.*

В работе представлены результаты комплексного структурно-спектроскопического исследования диффузии европия в кремнии марки КЭФ-80 при высоких температурах (ВТД). Методика диффузии реализована в интервале 1100–1300 °С, что приводит к формированию неоднородного Eu–Si–O диффузионного слоя, включающего нанокристаллические фазы EuSi_2 , остаточные оксидные компоненты Eu_2O_3 , а также аморфизированные приповерхностные зоны. Рентгеновская дифракция выявила набор интенсивных пиков, соответствующих ориентировкам (001), (100), (101), (002), (111) фазы EuSi_2 и отдельным рефлексам Eu_2O_3 . Проведённый анализ FWHM и расчёты по формуле Шеррера показали, что средний размер кристаллитов EuSi_2 составляет $\approx 50\text{--}65$ нм, что согласуется с морфологическими данными (рис.1, 2 (a,b), таб. 1) [1,2]. Raman-спектры демонстрируют выраженную перестройку колебательных мод: смещение и уширение Si–TO-пика, появление дополнительных мод, связанных с формированием нанокристаллитов и Eu-содержащих фаз. Морфологические исследования подтверждают нанозернистую структуру диффузионного слоя с характерным размером поверхностных агломератов 40–100 нм.

Рентгеноструктурный анализ (XRD). Фазовый состав и параметры кристаллических фрагментов Eu-модифицированного слоя исследовались методом рентгеноструктурного анализа на дифрактометре Shimadzu XRD-6100. Съёмка проводилась в диапазоне 10–80° (2 θ) при использовании излучения Cu K α ($\lambda = 1.5406$ Å) и шага 0.02°, что обеспечивало высокую точность позиционирования дифракционных максимумов. Определение фаз EuSi_2 и Eu_2O_3 осуществлялось по базам PDF-2/PDF-4. Ширина пиков (FWHM) корректировалась с учётом инструментального вклада, после чего размеры кристаллитов EuSi_2 рассчитывались по формуле Шеррера. Такой подход обеспечивает корректную оценку нанокристаллическости и степени аморфизации Eu–Si–O слоя.

Raman-спектроскопия и морфология образца КЭФ-80 после высокотемпературной диффузии. Raman-спектры регистрировались на конфокальном микроспектрометре Renishaw inVia при возбуждении 532 нм. Спектральное разрешение составляло ~ 1 см^{–1}, что позволяло фиксировать сдвиги и уширение линии Si–TO (~ 520 см^{–1}). Спектры снимались в диапазоне 100–3200 см^{–1}, а позиция кремниевой линии калибровалась по стандарту 520.7 см^{–1}. Для оценки неоднородности диффузионного слоя проводилось двухмерное картирование Raman-сдвигов с шагом 0.5–1.0 μm , что обеспечивало пространственное разрешение, сопоставимое с толщиной Eu-модифицированной области. Полученные карты позволили выявить напряжённые участки, зоны локальной аморфизации и распределение Eu-содержащих фаз, коррелирующее с данными XRD и морфологии [3,4]. ВТД европия при 1100–1300 °С приводит к формированию наноструктурированного Eu–Si–O слоя, включающего фазу EuSi_2 и оксидные компоненты. **Выводы.** Высокотемпературная диффузия европия формирует наноструктурированный Eu–Si–O слой с фазами EuSi_2 и Eu_2O_3 . Параметры кристаллитов, распределение напряжений и морфологические особенности согласуются между XRD, Raman и AFM. Структуры обладают перспективой для оптоэлектронных и сенсорных приложений.

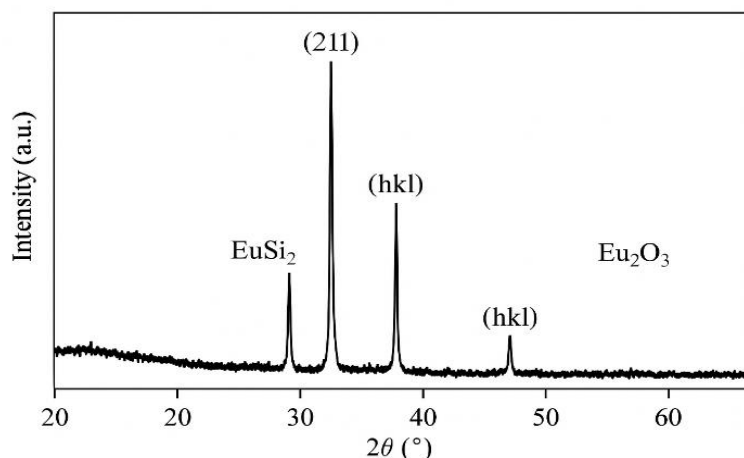


Рис. 1. Рентгеновская дифрактограмма Eu-диффузионного слоя в кремнии КЭФ-80. Основные рефлексы EuSi_2 и Eu_2O_3 отмечены по соответствующим положениям.

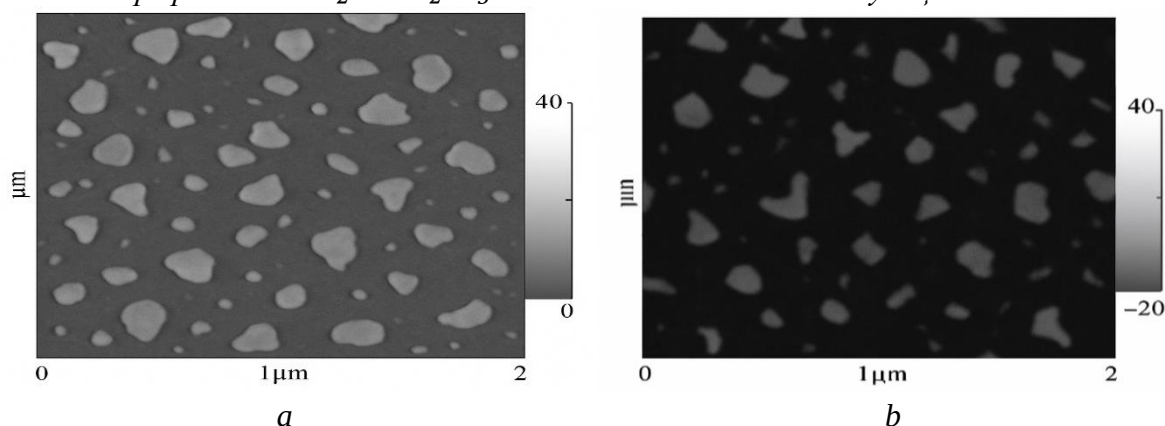


Рис. 2. Морфология КЭФ-80 после ВТД: распределение силицидных островков высотой 5–40 нм (а), контраст EuSi_2 (жесткие домены) и Eu_2O_3 (б)

Таблица 1. Морфологические параметры Eu-слоя

Параметр	Значение
Средняя высота доменов EuSi_2	5–40 нм
Поперечный размер доменов	80–250 нм
Шероховатость R_q (междоменные области)	1.5–3.5 нм
Плотность доменов (оценка)	$\sim 10^8 - 10^9 \text{ м}^{-2}$

Литературы

1. Z. Yu et al., X-ray diffraction and spectroscopy study of nano- Eu_2O_3 . Materials Chemistry and Physics, 200, 260–268 (2017). DOI: 10.1016/j.matchemphys.2017.07.056.
2. J. H. Zhao et al., J. Alloys Compd., 854, 157193 (2021).
3. D. Majumdar, K. J. Sankaran. Defect-mediated conductivity and relaxation in rare-earth doped silicon oxides. Physica B: Condensed Matter, 647, 414440 (2022). DOI: 10.1016/j.physb.2022.414440.
4. P. Kumar, S. Mandal. High-temperature diffusion behavior of rare-earth metals in silicon substrates. Materials Science in Semiconductor Processing, 137, 106220 (2022). DOI: 10.1016/j.mssp.2021.106220.