



“Яримўтказгичлар ва полимерлар физикасининг долзарб муаммолари”
мавзусидаги Республика илмий-амалий анжумани
Тошкент, 2022 йил, 1-февраль



ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

МИРЗО УЛУҒБЕК НОМИДАГИ ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ
УНИВЕРСИТЕТИ

ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАР ФИЗИКАСИ ВА МИКРОЭЛЕКТРОНИКА
ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ

ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАР ВА ПОЛИМЕРЛАР
ФИЗИКАСИНИНГ ДОЛЗАРБ МУАММОЛАРИ

мавзусидаги хорижий олимлар иштирокида

Республика илмий-амалий анжумани

МАТЕРИАЛЛАРИ

Академик А.Т. Мамадалимовнинг 75 йиллик
таваллудига бағишланади

2022 йил, 1 февраль

Тошкент-2022



**Республика илмий-амалий анжумани материаллари
гўпламини тайёрлаш учун масъуллар**

Фахрий раислар:

Тошқулов А.К. ЎзР Олий ва ўрта махсус таълим вазири
Юлдашев Б.С. ЎзР ФА президенти, ЎзР ФА академиги
Абдурахмонов И.Ю. ЎзР Инновацион ривожланиш вазири, ЎзР ФА академиги

Раис:

Маджидов И.У. ЎзМУ ректори, профессор

Ҳамраислар:

Муминов Р.А. ЎзР ФА академиги
Рашидова С.Ш. ЎзР ФА академиги
Утамурадова Ш.Б. ЯФМ ИТИ директори

Раис муовини:

Эшонкулов Ғ.Б. Физика факультети декани

Маъсул котиблар:

Холмуминов А.А. ЎзМУ, ЯЎПФ кафедраси мудири
Насриддинов С.С. ЯФМ ИТИ директори муовини

Дастурий қўмита аъзолари

Ашуров М.Х.	ЎзР ФА академиги	Абдурахманов К.П	ТАТУ
Бахрамов С.А.	ЎзР ФА академиги	Гулямов Г.	НамМҚИ
Гуляев Ю.В.	РФА академиги	Имамов Э.З.	ТАТУ
Грехов И.В.	РФА академиги	Юлдашев Н.Х.	ФарПИ
Лебедев А.А.	ФТИ РАН	Арипов Х.Қ.	ТАТУ
Зайнабиддинов С.З.	ЎзР ФА академиги	Оксендгеллер Б.Л.	ЎзР ФА ПХФИ
Мамадалимов А.Т.	ЎзР ФА академиги	Эгамбердиев Б.Э.	ЯФМ ИТИ
Мукимов К.М.	ЎзР ФА академиги	Разиков Т.М.	ЎзР ФА ФТИ
Мусаханов М.	ЎзР ФА академиги	Касимахунова А.М.	ФарПИ
Негматов С.С.	ЎзР ФА академиги	Исмайлов К.А.	ҚҚДУ
Сулайменов И.Э.	КазР ФА академиги	Зикриллаев Н.Ф.	ТДТУ
Бронников С.В.	РФА ВОМБИ	Онаркулов К.Э.	ФарДУ
Мирзаев С.З.	ЎзР ФА	Расулов Р.Я.	ФарДУ
Мухамедов Ғ.И.	ТВЧПИ	Отажонов С.М.	ФарДУ
Далиев Х.С.	МЭИ МТУ Т/ф	Каражанов С.	Норвегия
Далиев Ш.Х.	ЎзР ВМ	Олимов Л.О.	АндМИ
Турабжонов С.М.	ТДТУ	Каримов И.	АндДУ
Рахматов А.З.	АЖ “ФОТОН”	Алиев Р.У.	АндДУ
Содиқов И.И.	ЎзР ФА ЯФИ	Ашуров Н.Р.	ЎзР ФА ПХФИ
Олимов Х.К.	ЎзР ФА ФТИ	Юлдашев Ш.У.	ЎзМУ
Маматкаримов О.О.	НамМТИ	Валиев У.В.	ЎзМУ
Матчанов Н.А.	ҚЭММИТИ	Турсунметов К.А.	ЎзМУ
Ашуров Х.Б.	ЎзР ФА ИПЛТИ	Нуритдинов С.	ЎзМУ
Парпиев О.Р.	ЎзР ФА МИ	Қурбонов М.	ЎзМУ
Зоҳидов Э.А.	ЎзР ФА ИПЛТИ	Абдурахманов У.	ЎзМУ

**ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ ТУГОПЛАВКИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПРОЦЕССЫ
ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЯ В ОБЪЕМЕ КРЕМНИЯ**

Ш.Х. Далиев, Ш.А.Исмоилов, Х.Ю.Утемуратова, Ж.А.Эргашев, Мухамадиева М.Ш.
*Научно-исследовательский институт физики полупроводников и микроэлектроники при
НУУз им. Мирзо Улугбека, Ташкент*
e-mail: shakhrukhd@mail.ru

Известно, что для контролируемого управления параметрами Si в последние годы все шире используется легирование нетрадиционными примесями, примерами таких примесей являются ТПЭ. Типичные представители этих элементов в кремнии - атомы гафния, молибдена, циркония, ниобия и др. [1-3].

Цель данной работы – изучение поведения глубоких центров, создаваемых атомами Zr и Hf в Si. Проведены комплексные исследования свойств легированных образцов методами DLTS и ФЕ. В качестве исследуемых образцов использовался исходный Si, выращенный методами Чохральского и бестигельной зонной плавки с различными удельными сопротивлениями (ρ) в интервале $1 \div 300$ Ом·см и образцы Si, легированного вышеприведенными примесями при выращивании из расплава. Диффузионное легирование Si марок КЭФ, КДБ и БКЭФ примесями циркония и гафния производилось в интервале температур $T_{\text{диф}} = 900 \div 1250^\circ\text{C}$ в течение $1 \div 100$ часов из напыленного в вакууме слоя указанных металлических примесей особой чистоты (99.999%).

Охлаждение образцов после диффузии примесей ТПЭ производилось различными путями. В качестве контрольных использовались образцы n- и p-Si, термообработанные при той же температуре и времени, что и введение Zr, или Hf в Si. Измерения удельного сопротивления ρ образцов кремния с примесями ТПЭ после диффузии при $T_{\text{д}} = 900 \div 950^\circ\text{C}$ показывают, что ρ в n-Si и p-Si почти не изменялось. В образцах n-Si при $T > 1000^\circ\text{C}$ значения удельного сопротивления ρ после диффузии Zr или Hf уменьшались, а в p-Si значение ρ увеличивалось; ρ контрольных образцов, прошедших аналогичную ВТО, почти не изменялось. Из изменения значения ρ в Si после его легирования атомами ТПЭ можно сделать вывод, что все они вводят донорные центры в Si.

Для проведения емкостных измерений из некомпенсированных кристаллов изготавливались диоды или барьеры Шоттки напылением в вакууме золота на n-Si и сурьмы – на p-Si по технологии, описанной в работе [2]. Из вольт- фарадных характеристик определены зависимости $1/C^2 = f(V_{\text{обр}})$, которые во всех исследованных диодах были линейными. Концентрация ионизированных центров в CO3 в диодах из n-Si<Zr>, а также в p-Si<Zr>, определенная по зависимости $1/C^2 = f(V_{\text{обр}})$ при 300 К, хорошо согласуется с концентрацией мелких примесей в исходном Si. Во всех диодах из n-Si<Zr> темновая релаксация емкости отсутствует, т.е. концентрация уровней с $E_c < 0.15$ эВ пренебрежимо мала. Аналогичная картина наблюдалась и в образцах n-Si<Hf> .

Из измерений спектров ФЕ и DLTS образцов Si, диффузионно-легированных Zr или Hf, а также контрольных образцов, подвергнутых термообработке (без примеси ТПЭ) определялся энергетический спектр образуемых ГУ. Обнаружено, что атомы Zr и Hf образуют ряд энергетических уровней с фиксированными энергиями ионизации в запрещенной зоне кремния и проведена их идентификация.

Установлено, что эффективность процессов дефектообразования в Si, легированном примесями ТПЭ зависит от следующих факторов: способа легирования кремния, совершенства дефектной структуры исходного кремния, предварительных термических обработок, температурных режимов диффузии и условий после диффузионного охлаждения.

Литература:

1. Lemke H. Properties of Silicon Crystals Doped with Zirconium or Hafnium. Phys.Stat.solidi (a), v.122, (1990), Pp. 617-630.

2. Далиев Х.С., Утамурадова Ш.Б., Бозорова О.А., Далиев Ш.Х. Совмест-ное влияние примесных атомов никеля и гафния на фоточувствительность кремниевых солнечных элементов. Гелиотехника, 2005, №1, с.85-87.
3. Murphy J.D., McGuire R.E., Bothe K., Voronkov V.V. Minority carrier life-time in silicon photovoltaics: The effect of Zr on the oxygen precipitation. Solar Energy Materials and Solar Cells. 2014, Vol.120, Part A, P. 402-411.

ПОЛИКРИСТАЛ КРЕМНИЙДА ТЕРМОЭЛЕКТР ЮРИТУВЧИ КУЧ ВА ИССИҚЛИК ЎТКАЗУВЧАНЛИК ҲОСИЛ БЎЛИШ МЕХАНИЗМЛАРИ

¹Л.О. Олимов, ¹И.И. Анарбоев, ²Ф.Л. Омонбоев

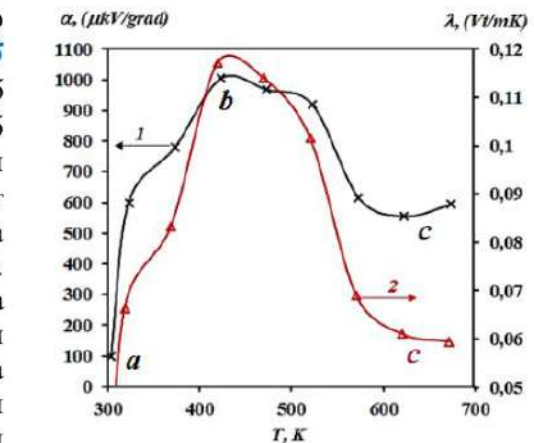
¹Андижон машинасозлик институти, Андижон.

²Андижон давлат университети, Андижон.

Маълумки, яримўтказгичли термоэлектрик материалларнинг асосий хусусиятлари солиштирма термоэлектр юритувчи куч (α), электр ўтказувчанлик (σ) ҳамда иссиқлик ўтказувчанлик (χ) каби параметрлари билан изоҳланади [8÷12]. Ушбу параметрлар, α , σ ларнинг бир меъёрада ўсишини ҳамда χ нинг камайишини бошқариш имкониятларини тадқиқ қилиш термоэлектрик материаллар яратиш соҳасидаги асосий муаммолардан бири ҳисобланади. Бугунги кунда, бу соҳада бир қатор тадқиқотлар олиб борилган бўлиб, ушбу параметрлар поликристал кремний асосидаги термоэлектрик материалларнинг тузилишга, хусусан, кўп қатламли гетероген муҳит табиатига, температура таъсирида гетероген муҳитда электрон-ковак жуфтликлари ҳосил бўлишига боғлиқлиги кўрсатиб берилган. Буларга боғлиқ ҳолда, ушбу ишда грануллашган кремний заррачаларини қуёш нурлари билан қиздириб бириктириш орқали олинган поликристал кремнийда α , σ ҳамда χ параметрларнинг температурага боғлиқлигини ўрганиш қизиқиш уйғотади.

1-расмда α ҳамда λ ларнинг температурага боғлиқлигини ўрганишда олинган натижалар келтирилган. Натижалардан кўринадики, $T < 425$ Кда $\alpha \sim 1000 \mu\text{K}/\text{grad}$, $\lambda \sim 0,118 \text{ Wt/mK}$ гача ортиб бориб, сўнгра α ҳамда λ параметр камайиб боради. Тадқиқот натижаларини тушунтиришни осонлаштириш мақсадида α ҳамда λ ларнинг температурага боғлиқлигини шартли равишда (a-b) ҳамда (b-c) участкаларга бўлиб оламиз. Шунингдек, тадқиқот натижаларини 2-расмда келтирилган яримўтказгичлар асосидаги термоэлементнинг зоналар диаграммаси ва реокмбинация марказларида заряд кўчиш механизми асосида қуйидагича тушунтириш мумкин.

Маълумки, яримўтказгичнинг (А) соҳаси қиздирилганда (А) ва (В) соҳаларда температуралар фарқи (ΔT) вужудга келади (2-расм). Бундай ҳолда, занжирда ҳосил бўлган термоэлектр юритувчи куч (α)ни қуйидагича ифодалаш мумкин.



1-расм. Термоэлектр юритувчи куч (1) ва иссиқлик ўтказувчанликнинг температурага боғлиқлиги.

$$\alpha = \frac{U}{\Delta T} \tag{1}$$

