



O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI  
OLIV VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI  
O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI INNOVATSION  
RIVOJLANISH VAZIRLIGI  
ISLOM KARIMOV NOMIDAGI TOSHKENT DAVLAT  
TEXNIKA UNIVERSITETI  
YARIMO'TKAZGICHLAR FIZIKASI VA  
MIKROELEKTRONIKA ILMIY-TADQIQOT INSTITUTI



**FOTOENERGETIKADA NANOSTRUKTURALI YARIM-  
O'TKAZGICH MATERIALLAR**



**НАНОСТРУКТУРНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ В ФОТОЭНЕРГЕТИКЕ**

**NANOSTRUCTURAL SEMICONDUCTOR  
MATERIALS IN PHOTOENERGETICS**

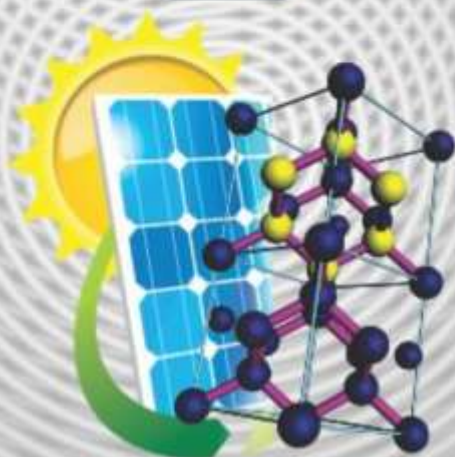


**II XALQARO ANJUMAN MATERIALLARI**

**TO'PLAMI**



**19 - 20 noyabr 2021 y.  
TOSHKENT**





Fotoenergetikada nanostrukturali yarimo'tkazgich materiallar  
II xalqaro ilmiy anjumani

19-20 noyabr 2021 yil



**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA  
O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI**

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI INNOVATSION  
RIVOJLANISH VAZIRLIGI**

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI TOSHKENT  
DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

**YARIMO'TKAZGICHLAR FIZIKASI VA  
MIKROELEKTRONIKA ILMIY-  
TADQIQOT INSTITUTI**

**FOTOENERGETIKADA NANOSTRUKTURALI  
YARIMO'TKAZGICH MATERIALLAR**

**II Xalqaro ilmiy anjumani**

**ILMIY ISHLAR TO'PLAMI**

**19-20 noyabr 2021 yil**

**Toshkent – 2021**



## ФОТОПРОВОДИМОСТЬ В КРЕМНИИ, ЛЕГИРОВАННОМ МОЛИБДЕНОМ, ЦИРКОНИЕМ И ГАФНИЕМ

Ш.Х.Далиев, А.Д.Палуанова, Х.Ю.Утемуратова,  
Ш.А.Исмоилов, Ж.А.Эргашев

Научно-исследовательский институт физики полупроводников и  
микрoэлектроники Национального университета Узбекистана,  
г. Ташкент, Узбекистан e-mail: [shakhrukhd@mail.ru](mailto:shakhrukhd@mail.ru)

Интенсивное развитие солнечной энергетики, предъявляет повышенные требования к полупроводниковым материалам, в частности, к монокристаллическому кремнию [1]. Качественное повышение эффективности фотопреобразования кремниевых солнечных элементов требует существенного повышения совершенства структуры кристаллов. Это обусловлено тем, что характерной особенностью полупроводниковых материалов является резкая зависимость их основных электрофизических свойств не только от содержания посторонних примесей, но и от степени совершенства кристаллического строения.

В последние годы полупроводниковые фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) считаются самыми эффективными устройствами для превращения солнечной энергии в электрическую [2]. Преобразование энергии в ФЭП основано на фотовольтаическом эффекте, который возникает в неоднородных полупроводниковых структурах при воздействии на них солнечного излучения. Неоднородность структуры ФЭП может быть получена легированием одного и того же полупроводника различными примесями (создание p - n-переходов) или путём соединения различных полупроводников с неодинаковой шириной запрещённой зоны (создание гетеропереходов). Эффективность преобразования зависит от электрофизических характеристик неоднородной полупроводниковой структуры, а также оптических свойств ФЭП.

Целью данной работы является исследование влияния примесей молибдена, циркония и гафния на электрофизические свойства Si и определение их роли в повышении фоточувствительности легированного кремния. Исследования проводились методами нестационарной емкостной спектроскопии глубоких уровней (DLTS) и фотоёмкости (ФЕ). Технология изготовления барьеров Шоттки и омических контактов, методика измерения и обработки спектров DLTS изложены в [3].

Легирование кремния примесями молибдена, циркония и гафния производилось диффузионным методом в вакууме из напыленного слоя металлических примесей особой чистоты в интервале температур 1000÷1200<sup>0</sup>С в течение 1÷10 часов. Охлаждение образцов после их



диффузии производилось различными путями. В качестве контрольных использовались образцы n- и p-Si, термообработанные при той же температуре и времени, что и введение молибдена, циркония и гафния в Si.

Результаты измерений показали, что во всех образцах n-Si после легирования молибденом, цирконием и гафнием наблюдается увеличение величины удельного сопротивления. В образцах же p-Si значения удельного сопротивления не изменились.

Из измерений спектров DLTS и ФЕ образцов Si, диффузионно-легированных молибденом, цирконием или гафнием, а также контрольных образцов, подвергнутых термообработке определялся энергетический спектр образуемых ГУ. Для проведения измерений спектров ФЕ и DLTS исследуемых образцов изготавливались диодные структуры по известной методике [3]. Измерения и обработка спектров также детально описаны в работе [3].

Измерения спектров CC-DLTS в диодах Шоттки на основе n-Si<Mo>, n-Si<Zr> и n-Si<Hf> показали, что во всех образцах наблюдается перезарядка глубоких уровней, соответствующих их энергетическим спектрам. Сканирование всей ширины запрещенной зоны на этих же образцах с помощью фотоемкости (ФЕ) показало, что термические и оптические энергии ионизации обнаруженных уровней практически совпадают.

Результаты измерений спектров фотопроводимости показали, что исследуемые структуры на основе кремния, легированного молибденом, цирконием или гафнием, обладают фоточувствительностью в области спектра 3-5 мкм, с максимумом  $\lambda_{Si-Hf} = 3.1$  мкм при комнатной температуре. На основе этих структур нами были изготовлены лабораторные образцы фотопреобразователей, обладающих высокой воспроизводимостью фотоэлектрических параметров по сравнению с аналогичными структурами на основе Si.

Были проведены эксперименты по профилированию распределения примесей молибдена, циркония и гафния по объему кремния методом сканирования спектров DLTS по толщине образцов и методом послойного стравливания Si. В результате проведенных исследований установлено, что примеси Mo, Zr и Hf распределены по объему кремния равномерно, без образования каких-либо скоплений. Отсюда можно сделать вывод, что в фотопреобразователях основе кремния, легированного молибденом, цирконием или гафнием, отсутствует неравномерная фотогенерация, приводящая к нестабильности параметров кремниевых ФП.

Таким образом, анализируя полученные результаты можно сделать следующие выводы: на основе кремния, легированного молибденом, цирконием или гафнием, возможно создание фотопреобразователей, обладающих фоточувствительностью в области спектра 3-5 мкм, с



максимумом  $\lambda_{Si-Hf} = 3.1$  мкм при комнатной температуре. Отметим, что полученные структуры имеют равномерную фотогенерацию и воспроизводимость фотоэлектрических параметров.

Литература:

1. Фаренбрух А., Бьюб Р. Солнечные элементы. Теория и эксперимент. М., Мир, 1987, 280 с.
2. Колтун М.М. Солнечные элементы. М., Наука, 1987.-192 с.
3. Далиев Х.С., Утамурадова Ш.Б., Каландаров Э.К., Далиев Ш.Х. // Письма в ЖТФ, 2006, Т.32, В.11, с.11-15.

**СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ С  
МИКРОГЕТЕРОПЕРЕХОДАМИ Si/SiGe/Si**

**А.Р.Тошев<sup>1</sup>, Б.Э.Эгамбердиев<sup>2</sup>,  
Б.А. Абдурахмонов<sup>2</sup>, О.Э.Саттаров<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Алмалыкский филиал Ташкентского государственного технического университета им. Ислама Каримова, г. Алмалык*

<sup>2</sup>*Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова, г. Ташкент*

В настоящее время технологические методы изготовления и используемые полупроводниковые материалы при разработке эффективных солнечных элементов со стабильными параметрами и максимальным коэффициентом полезного действия практически достигли своего предела [1-4]. Для дальнейшего повышения основных параметров СЭ необходимо использовать принципиально новые полупроводниковые материалы или новые физические явления.

Перспективным и еще не до конца исследованным вопросом, является способ повышения эффективности и стабильности параметров солнечных элементов, основанный на их дополнительном легировании различными примесями. В этом плане большой интерес представляет легирование кремния с изовалентными примесями, так как легирования этими примесями удается не только сохранить исходные электрофизические параметры материала, но и существенно увеличить время жизни неосновных носителей тока.











