

более детального изучения, чтобы определить оптимальные условия для достижения максимальной эффективности солнечных элементов.

Такие исследования позволяют изучить процесс образования скоплений в решетке poly-Si и их влияние на свойства материала. Никель также может взаимодействовать с дефектами решетки поликристаллического кремния, такими как примесные атомы или вакансии [6]. Это может приводить к изменению электрических свойств материала и его устойчивости к радиационным повреждениям. Изучение образования никелевых скоплений в поликристаллическом кремнии позволяет более глубоко понять механизмы взаимодействия переходных металлов с материалом и оптимизировать процессы его легирования и обработки. Это может привести к созданию более эффективных и стабильных солнечных элементов, что является актуальной задачей в современной энергетике.

### Литературы

1. Олимов Л.О. Влияние межзеренных границ на перенос носителей заряда в поликристаллическом кремнии // Узбекский физический журнал, 2005. № 3, -С. 231-233.
2. Исмаилов Б. К. Миграция и геттерирующие свойства кластеров атомов никеля в решетке кремния // диссертация на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам, 2020. – 126 С.
3. Сапарниязова З. М. Взаимодействие кластеров атомов никеля и марганца с дефектами решетки кремния // автореферат диссертации доктора философии (Phd) по физико-математическим наукам, Ташкент, 2019. – 46 С.
4. Кенжаев З. Т. Особенности влияния примесных атомов никеля на параметры кремниевых солнечных элементов // автореферат диссертации доктора философии (Phd) по физико-математическим наукам, Ташкент, 2022. -48 с.
5. Zaynabidinov S., Aliev R., Olimov L.O. High temperature features of the polycrystalline silicon physical properties // Ukr. J. Phys., 2006. Vol. 51, № 7, -pp. 699-702.
6. Курбанов А. О. Влияние термо- и радиационного воздействия на электрофизические и рекомбинационные свойства кремния, легированного никелем // автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, Ташкент, 2008. -47 с.

### ФОТО- И ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННАЯ ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА В ГЕТЕРОСТРУКТУРЕ n-Si-p-Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>

А.С. Саидов<sup>1</sup>, Ш.Н. Усмонов<sup>1</sup>, А.Б. Каршиев<sup>1</sup>, К.Г. Гаимназаров<sup>2</sup>

1. Физико-технический институт НПО «Физика – Солнце» АН РУз,

2. ГулГУ, 120000, г. Гулистан, 4-микрорайон.

**Аннотация:** Представлены экспериментальные результаты наблюдения фототермовольтаического эффекта в структуре n-Si-p-Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub> ( $0 \leq x \leq 0.55$ ), т.е. генерации тока и напряжения при совместном воздействии фото- и теплового возбуждения в интервале температур  $29 \div 80$  °С

**Ключевые слова:** фототермовольтаический эффект, термовольтаический эффект, варизонные твердые растворы, генерация токов и ЭДС.

Разработка эффективных фото-, термо- и тепловольтаических элементов является актуальной задачей фото- и теплоэнергетики. Поиск возможности повышения эффективности солнечных элементов привел к идее возникновения фототермовольтаического (ФТВ) эффекта

в результате фото- и тепловой генерации электронно-дырочных пар [1]. Причем тепловая энергия возникает за счет фотонагрева. ФТВ эффект наблюдался в различных структурах –  $p$ - $\text{Si}-n$ - $(\text{Si}_2)_{1-x-y}(\text{ZnSe})_x(\text{GaP})_y$  [2] и эпитаксиальных слоях твердых растворов (ТР) с переменным составом -  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  [3],  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaN})_x$  [4]. С целью накопления экспериментальных данных и для выяснения ФТВ эффекта в полупроводниково-вых структурах, изготовленных на основе различных твердых растворов замещения, в данной работе мы исследовали структуру  $n$ - $\text{Si}-p$ - $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  ( $0 \leq x \leq 1$ ).

Гетероструктура  $n$ - $\text{Si}-p$ - $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  была изготовлена путем выращивания эпитаксиального слоя варизонного ТР  $p$ - $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) методом жидкофазной эпитаксии из ограниченного объема  $\text{Sn}$  раствора-расплава ( $\text{Sn-Si-Ge}$ ) на подложках  $n$ - $\text{Si}$  (100). Эпитаксиальная пленка имела монокристаллическую структуру с ориентацией (111). Из полученных материалов были изготовлены образцы с размерами: длина – 8 мм; ширина – 5 мм. Затем был проведен косой шлиф эпитаксиальной пленки. После этого к полученным образцам были изготовлены токосъемные омические контакты путем напыления  $\text{Ag}$  площадью  $2 \text{ мм}^2$  на поверхности эпитаксиальной пленки, сплошной по поверхности подложки. Толщина подложки составляла 400 мкм, а полная толщина эпитаксиальной пленки - 90 мкм. Токосъемный контакт со стороны пленки наносился на участке косого среза, в котором молярное содержание атомов компонентов ТР составляло  $\text{Ge} \sim 50 \text{ ат.}\%$ ,  $\text{Si} \sim 50 \text{ ат.}\%$ , т.е. между подложкой и токосъемным контактом сформирован эпитаксиальный слой варизонного ТР  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  ( $0 \leq x \leq 0.2$ ).

Образцы с токосъемными контактами помещались в металлический ящик под линзой Френеля ( $F = 28 \text{ см}$ ,  $\varnothing = 26 \text{ см}$ ), в котором отсутствует конвекция воздуха. Диаметр светового пятна, образуемого линзой Френеля, на порядок превышал размер образца, т.е. образец освещался однородным по поверхности излучением. В ходе эксперимента расстояние между линзой и образцом (10 см) не изменялось, и тем самым поддерживалось постоянное значение интенсивности светового потока, падающего на поверхность образца. Образец нагревался солнечным излучением. Температура измерялась хромель-копелевой термопарой, и она регулировалась продолжительностью подсветки. ЭДС ( $V$ ) и ток ( $I$ ), генерируемые фото- и тепловыми возбуждениями измерялись при различных температурах под действием солнечного излучения, и только за счет тепловой энергии - в темноте после затенения образца от солнечного излучения (рис. 1 и рис. 2).

Как видно из рис. 1, под воздействием однородного потока солнечного излучения в исследуемой структуре при температуре  $29^\circ\text{C}$  генерируется ЭДС, равная 684 мВ. С повышением температуры при постоянной интенсивности солнечного излучения наблюдается уменьшение ЭДС, достигающей минимального значения 25 мВ при  $70^\circ\text{C}$ . Далее до  $76^\circ\text{C}$  ЭДС остается постоянной. Это может быть связано с тем, что с ростом температуры разделяющий потенциальный барьер для носителей заряда в  $p$ - $n$ - переходе уменьшается. Однако наблюдается иная температурная зависимость ЭДС, генерируемой после затенения структуры от солнечного излучения, т.е. под тепловым возбуждением. При этом при повышении температуры с  $29^\circ\text{C}$  до  $40^\circ\text{C}$  значение ЭДС увеличивается с 22 мВ до 336 мВ соответственно. Далее до  $70^\circ\text{C}$  наблюдается уменьшение ЭДС. Зависимость ЭДС от температуры зависит от характера возбуждения. Но зависимость тока от температуры при возбуждении солнечными лучами и тепловом возбуждении имеет одинаковый характер (рис. 2). При повышении температуры с  $29^\circ\text{C}$  до  $33^\circ\text{C}$  наблюдается быстрый, затем до  $53^\circ\text{C}$  медленный рост тока,

достигая при этом значения 102 нА и 26 нА при солнечной и тепловой генерации соответственно. Далее до 61°C наблюдается уменьшение тока до 7 нА и 0.6 нА, соответственно. При температурах 70-75°C ток практически отсутствует.

Выяснение механизмов генерации ЭДС и тока при фототермо-вольтаическом эффекте, а также в темноте при солнечном нагреве требует дальнейших исследований и накопления дополнительных экспериментальных результатов. При этом необходимо будет учитывать варизонный характер исследуемой структуры, а также инерционность генерационно-рекомбинационных процессов с участием глубоких примесных центров.

Работа посвящается академику АН РУз М.С. Саидову.

### Использованная литература

1. Саидов М.С. Гелиотехника. 2012, № 1, С. 3-7.
2. Саидов А.С., Саидов М.С., Усмонов Ш.Н., Рахмонов У.Х. Гелиотехника. 2013, № 4, С. 58-61.
3. Saidov A. S., Leiderman A. Y., Karshiev A. B. Photothermovoltaic Effect in a  $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$  Variband Solid Solution. Applied Solar Energy. 2019, No. 55, pp. 12-17.
4. Саидов А.С., Усмонов Ш.Н., Ишниязов Т.Т., Каршиев А.Б. Фототермовольтаический эффект в твердом растворе  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaN})_x$ . Сборник тезисов и докладов восьмой международной конференции по физической электронике ИРЕС-8, Ташкент-2021, С. 124-125.

### ВЛИЯНИЕ АТОМОВ ТЕЛЛУРА НА СТРУКТУРУ И ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА НЕЙТРОННО-ТРАНСМУТАЦИОННОГО КРЕМНИЯ

**Н.Т. Сулайманов, А.К. Рафиков, А.А. Сулаймонов, С.Р. Эгамов**

**Институт ядерной физики АН РУз, Ташкент, Узбекистан**

В настоящее время для получения термо- и фоторезисторов широко используется компенсированный кремний легированный различными примесями, создающими глубокие энергетические уровни в запрещенной зоне [1-5]. В данной работе получение компенсированного кремния решается методом ядерной трансмутации, (путем облучения нейтронами), которая дает возможность целенаправленно изменять электрофизические параметры кремния [4]. Применение радиационных методов в технологических целях позволяет управлять составом образующихся дефектов. В работе для термодиффузионного легирования был выбран примесь теллур, который создает в кремнии глубокие уровни с амфотерным свойством [1,5]. Известно, что при радиационной обработке в объеме кремния формируются компенсирующие радиационные дефекты и степень компенсации кристалла определяется исходной концентрацией носителей заряда и флюенсом облучения [4].

Установлено, что в образцах, параметры которых определены методом Холла, при освещении различными интенсивностями, удельные сопротивления увеличиваются на 160-180 Ом\*см, концентрации носителей заряда при освещении красным светом уменьшается, а при освещении синим и зеленым цветами – увеличивается. Увеличение удельного сопротивления необлученных образцов можно объяснить влиянием электрически неактивных соединений теллура и кислорода на движения электронов, не участвующих в электропроводности материала. Известно, что при нейтронного трансмутации образцов