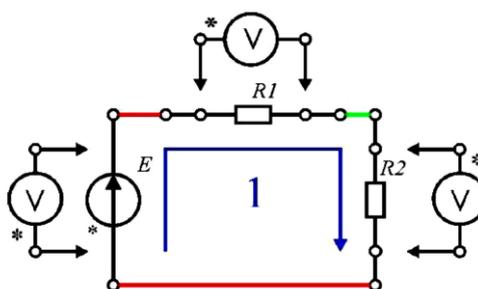


Pic. 3. Scheme for testing the first Kirchhoff law



Pic.4. Scheme for testing Kirchhoff's second law

Having prepared the lesson “Studying the laws of Ohm and Kirchhoff” using the developed laboratory stand on solar cells, taking into account the individual abilities of students, you can be sure that students will feel comfortable in the lesson, everyone will do their best work, help a friend, believe in their strengths and capabilities. In such lessons, it is possible to vary the form of presentation of educational material through an object, image, word, practical modeling, organize activities along the chain: observation - reproduction - independent activity - solving problem situations - research - creativity.

#### **Literature**

1. Раушенбах Г. Проектирование солнечных батарей Перевод с английского – М.: Энергоатомиздат, 1993. 360 с.
2. [Muhammad H. Rashid](#). [Power Electronics Handbook](#). USA: Butterworth-Heinemann, 2017.
3. Розанов Ю.К., Рябчицкий М.В., Кваснюк А.А. Силовая электроника. Учебник. –М.: Издательский дом МЭИ, 2016.
4. [Branko L. Branko B.](#) USA: Springer International Publishing, 2015.

### **РАЗРАБОТКА ДАТЧИКА ИК – ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ С НАНОКЛАСТЕРАМИ АТОМОВ МАРГАНЦА ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ**

**О.М. Уралов, Ш.Н. Ибодуллаев, С.А. Тачилин**

*Ташкентский государственный технический университет*

Фотоприемники ИК излучения диапазона  $\lambda=10\div 2.5$   $\mu\text{m}$  востребованы преимущественно в качестве матричных телевизионных устройств для создания тепловизоров [1]. В матрицах, работающих, на собственном внутреннем фотоэффекте применяются такие материалы как: PbS, PbSe, InSb,  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{Bi}_z\text{Sb}_{1-y-z}/\text{InSb}$ , (CdHg)Te и др. [1-4]. Однако создание

## СЕКЦИЯ 6. Полупроводниковая микро- и наноэлектроника в решении проблем информационных технологий и автоматизации

---

высокоразрешающих матриц непосредственно на основе этих материалов практически невозможно, так как требуется их стыковка с кремниевыми усилительными и управляющими элементами. В этом плане представляет интерес кремний с нанокластерами атомов марганца. Как было показано в работе [5], при определенных соотношениях концентрации нанокластеров  $N_k$  и концентрации носителей зарядов  $p$ -типа ( $N_k \gg p$ ) могут образовываться примесные минизоны, которые могут привести к существенному расширению спектральной области чувствительности кремниевой матрицы.

В связи с этим, цель данной работы - показать возможность создания фотоприемников на основе кремния с нанокластерами атомов марганца, пригодных для создания высокоразрешающих монолитных матричных фотоприемников и определение их основных параметров.

В качестве исходного материала использовался монокристаллический кремний  $p$ -типа, легированный бором, с удельным сопротивлением  $\rho = 3 \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$  (концентрация дырок  $p = 7 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ). Легирование марганцем проводилось методом «низкотемпературной» диффузии [6-7]. Условия диффузии были такими, чтобы получить полностью компенсированный кремний  $p$ -типа с  $\rho = (5 \cdot 10^3 \div 5.8 \cdot 10^4) \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$ . Самая высокая фоточувствительность наблюдалась в образцах с  $\rho = (5 \div 8) \cdot 10^3 \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$ . Это означает, что на основе кремния с нанокластерами атомов марганца можно получить резистивные фотоприемники, работающие в интервале ИК спектра до  $\lambda = 8 \text{ } \mu\text{m}$ .

Для исследования пороговой чувствительности фотоприемника интенсивность падающего света изменялась с помощью кремниевых фильтров, работающих как ослабители излучения. Ослабление излучения происходит как за счет диэлектрического отражения от передней и задней поверхностей, так и за счет поглощения. Использовались до 10 штук двухсторонне полированных кремневых пластин с толщиной  $d \sim 380 \text{ } \mu\text{m}$ .

Токовая чувствительность разработанного фотоприемника, достигающая сотен  $A/W$  в области спектра  $1.2 \div 1.6 \text{ } \mu\text{m}$ , превосходит фоточувствительность инфракрасных фотодиодов (токовая чувствительность для  $p-i-n$  фотодиодов в рабочем диапазоне длин волн составляет  $0.5 \div 0.8 \text{ } A/W$ , а для лавинных фотодиодов достигает  $20 \div 60 \text{ } A/W$ ).

Разработанный фоторезистор на основе кремния с нанокластерами атомов марганца обеспечивают квантовую эффективность  $QE$  порядка  $\sim 10\%$  до длины волны  $2 \text{ } \mu\text{m}$  и около  $0,1\%$  на длине волны  $2,5 \text{ } \mu\text{m}$ . Это позволяет использовать примесную чувствительность кремния с

## СЕКЦИЯ 6. Полупроводниковая микро- и наноэлектроника в решении проблем информационных технологий и автоматизации

нанокластерами атомов марганца для создания высокоразрешающих матричных фотоприемников на основе кремния в диапазоне до 2,5  $\mu\text{m}$ .

Быстродействие фотоприемников в области спектра  $\lambda=1,7 \div 3 \mu\text{m}$ , оцененное по двухлучевой осциллограмме импульсов тока имеет порядок единиц микросекунд. Оценивался сдвиг фазы импульсов тока фоторезистора относительно опорных импульсов тока, генерируемых фотодиодом ФД-256 с обратным смещением 10 В на нагрузке сопротивлением 100  $\Omega$ . Освещение фотодиода производилось лазером красного света. В области  $\lambda=1,2 \div 1,7 \mu\text{m}$  быстродействие определялось по длительности затухания фотопроводимости (то есть по спаду импульса тока фоторезистора в  $e$ -раз) и составляло сотни миллисекунд. Причины столь существенного различия быстродействия в зависимости от спектрального диапазона излучения не совсем ясны и требуются дополнительные исследования.

Таким образом, установлено, что кремний с нанокластерами Mn позволяет создавать высокочувствительные примесные фоторезисторы в ИК области спектра, с параметрами не хуже, чем существующие ИК фотоприемники типа  $p-i-n$  и лавинных диодов на основе твердых растворов  $A^3B^5$ . Особо следует подчеркнуть, что технология таких фотоприемников совместима с технологией кремниевых ИМС и соответственно они могут использоваться при создании охлаждаемых высокоразрешающих монокристаллических матричных приемников ближнего ИК диапазона.

### Использованная литература

1. Трищенко М. А., Таубкин И. И., Филачев А. М. Твердотельная фотоэлектроника: Сегодня и завтра. Третья часть - Электронная техника. Серия 2./ Полупроводниковые приборы. 2010. С. 31-44
2. Певцев Е., Чернокижнин В. // Электронные компоненты. 2001. № 1-3. с. 12 – 20.
3. В.И. Стафеев, К.О. Болтарь, // ФТП. 2005. Т. 39. В. 10. С. 1257–1265.
4. Виктор Волков. // Электронные компоненты 2008. № 1. С.1-6.
5. Бахадырханов М.К., Аюпов К.С., Мавлянов Г.Х., Илиев Х.М., Исамов С.Б. // Микроэлектроника. 2010. Т. 39. В. 6. С. 426–429.
6. Абдурахманов Б.А., Аюпов К.С., Бахадырханов М.К., Илиев Х.М., Зикриллаев Н.Ф., Сапарниязова З.М. // Доклады АН РУз. 2010. № 4. С. 32-36.
7. Бахадырханов М.К., Мавлонов Г.Х., Исамов С.Б., Илиев Х.М., Аюпов К.С., Сапарниязова З.М., Тачилин С.А. // Неорг. мат. 2011. Т. 47. В. 5. С. 545-550.