

Бул кестелерден көринип турғанындай, 4-тәртіпті Рунге-Кутта усылы хәм 5-тәртіпті Кутта-Мерсон усылы аналитикалық шешимге жақын болған нәтийжелерди береді екен. Сондай-ақ, h адымды кемейтйү арқалы Эйлер усылы хәм Эйлер-Коши усылларының да дәллігін арттырыў мүмкін.

Әдебиятлар

1. Бахвалов Н., Жидков И., Кобельков Г. Численные методы. – М.: ФизМатЛит, 2002.
2. Исроилов М. Хисоблаш методлари, 2-қисм. – Т.: Iqisod-Moliya, 2008.
3. Калиткин Н.Н. Численные методы. – М.: ФизМатЛит, 2000.
4. Киреев В.И., Пантелеев А.В. Численные методы в примерах и задачах: Учебное пособие. – М.: «Высшая школа», 2008.
5. Формалев В.Ф. Численные методы: учебник. – М.: ФизМатЛит, 2004.

РЕЗЮМЕ

Мазкур мақолада оддий дифференциал тенгламалар учун Коши масаласини ечишнинг бир қадамли сонли усуллари кўриб чиқилган. Берилган сонли усулларнинг самарадорлигининг қиёсий таҳлили биринчи тартибли оддий дифференциал тенглама учун қўйилган Коши масаласини ечиш мисолида амалга оширилган.

РЕЗЮМЕ

В статье рассмотрены одношаговые численные методы решения задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений. Сравнительный анализ эффективности данных численных методов реализованы на примере решения задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка.

SUMMARY

This article discusses one-step numerical methods for solving the Cauchy task for ordinary differential equations. A comparative analysis of the effectiveness of these numerical methods is implemented by using the example of solving the Cauchy task for an ordinary differential equation of the first order.

УДК 621.315.593

КРЕМНИЙ С НАНОКЛАСТЕРАМИ АТОМОВ МАРГАНЦА – НОВЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ТЕНЗОДАТЧИКОВ

Х.М.Иллев - доктор физико-математических наук, профессор

Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова

А.Б.Камалов - доктор физико-математических наук, доцент

С.А.Турсынбаев – докторант

Нукусский государственный педагогический институт имени Ажинияза

Таянч сўзлар: кремний, марганец, тензосохсалар, нанокластер, босим, харорат, ёритилганлик.

Ключевые слова: кремний, марганец, тензосохсалар, нанокластер, давление, температура, освещённость.

Key words: silicon, manganese, tensorial properties, nanocluster, pressure, temperature, illumination.

Введение: Тензоэлектрические свойства полупроводников, легированных различными примесными атомами, были достаточно хорошо изучены в работах [1-2]. Однако влияние давления на параметры тензоэлектрических свойств кремния с нанокластерами примесных атомов марганца при различных температурах ещё практически не изучено. Такие исследования представляют большой практический интерес для определения влияния давления на состояние и стабильность кластеров примесных атомов марганца, что позволяет создать на основе примесных атомов кластеров марганца более чувствительные датчики. Примеси с нанокластерами марганца обладают рядом уникальных физических свойств, которыми не обладает исходный материал без марганца [3-4]. В данной работе приведены экспериментальные результаты исследования давления на электрические свойства кремния с нанокластерами атомов марганца.

До сегодняшнего дня разработаны и созданы различные тензодатчики с широкими функциональными возможностями и можно сказать, что при этом разработчиками были использованы все возможные характеристики полупроводниковых материалов, легированных различными примесными атомами. Для создания более эффективных, высокочувствительных и быстродействующих тензодатчиков необходимы новые полупроводниковые материалы или новые физические явления. В этом числе представляет большой научный и практический интерес влияние давления и температуры на изменение параметров полупроводникового материала, то есть на его проводимость [5-6].

Метод исследования: В качестве исходного материала был выбран кремний р типа проводимости с удельным сопротивлением $\rho=3 \text{ Ом}\cdot\text{см}$, с концентрацией

кислорода ($N_{O_2}=4\cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$). Диффузия проводилась в запаянных ампулах в интервале температур $T=1150\div 1170 \text{ }^\circ\text{C}$ в течении времени $t=5\div 20$ минут. После диффузии пластины резко охлаждались в масле со скоростью $220 \text{ }^\circ\text{C/с}$. Далее пластины очищались механической и химической обработкой в HCl и HF [7].

Для исследования влияния давления на параметры полученных образцов была создана специальная установка, позволяющая осуществлять давление в локальной области образца для изучения его электрофизических свойств при различных температурах. Прибор позволяет получить результаты в области температур от комнатной до $150 \text{ }^\circ\text{C}$. Давление создается механическим способом металлическим острым зондом.

Экспериментальные результаты. Было изучено влияние давления от $5,16\cdot 10^5 \text{ Па}$ до $7,74\cdot 10^7 \text{ Па}$ при $30 \text{ }^\circ\text{C}$, $40 \text{ }^\circ\text{C}$, $50 \text{ }^\circ\text{C}$, $70 \text{ }^\circ\text{C}$. Во время измерения, падение напряжения на образцах было $E=10 \text{ В}$.

Таблица 1

Без освещения				
	30 °C	40 °C	50 °C	70 °C
P, [Па]	I/I ₀	I/I ₀	I/I ₀	I/I ₀
$5,16\cdot 10^5$	1	1	1	1
$1,29\cdot 10^7$	3,16	4,06	6,56	8
$2,58\cdot 10^7$	3,44	4,8	8,33	10,16
$3,87\cdot 10^7$	3,55	5,14	9,21	11,33
$5,16\cdot 10^7$	3,62	5,39	9,83	12,62
$6,45\cdot 10^7$	3,7	5,59	10,53	13,7
$7,74\cdot 10^7$	3,75	5,75	11,13	14,62

В таблице 1 приведено относительное изменение тока в зависимости от приложенного значения давления при различных температурах, при отсутствии освещения. Как видно в отличие от обычного кремния и от

кремния только легировано марганца без нанокластеров [8], чувствительность к давлению в образцах с нанокластерами атомов марганца достаточно высокая, хотя при этом давление изменяется всего от $5 \cdot 10^5$ Па до $7 \cdot 10^7$ Па. Это показывает, что действительно наличие нанокластеров существенно повышает тензочувствительность образцов.

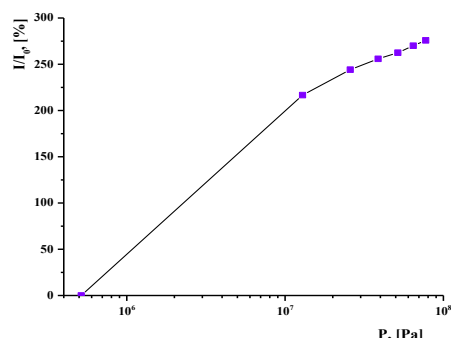


Рис. 1. Зависимость относительного изменения тока от давления при комнатной температуре (без освещения, при $E=10$ В)

На рис. 1. представлено относительное изменение I/I_0 в зависимости от давления. Установлено, что в зависимости относительного изменения тока (I/I_0) от давления (P) есть два ярко выраженных участка с различным коэффициентом тензочувствительности (α_1), а на участке, где P меняется от $5 \cdot 10^5$ Па до $7 \cdot 10^7$ Па наблюдается очень высокая тензочувствительность. Во второй области давления $P=10^7 \div 10^8$ Па тензочувствительность практически монотонно увеличивается (коэффициент тензочувствительности $\alpha_2 = 5 \div 7$) в отличие от первой области. Это очень важный результат, который показывает возможность создания тензодатчиков работающих в области с низким значением давления.

Таблица 2

При освещении				
	30 °C	40 °C	50 °C	70 °C
P, [Па]	I/I_0	I/I_0	I/I_0	I/I_0
$5,16 \cdot 10^5$	1	1	1	1
$1,29 \cdot 10^7$	4,97	5,35	6,61	8,25
$2,58 \cdot 10^7$	6,99	7,88	8,83	10,59
$3,87 \cdot 10^7$	7,75	8,95	10,01	11,86
$5,16 \cdot 10^7$	8,63	9,8	10,88	13,25
$6,45 \cdot 10^7$	9,39	10,69	12,03	14,44
$7,74 \cdot 10^7$	9,89	11,34	12,7	15,43

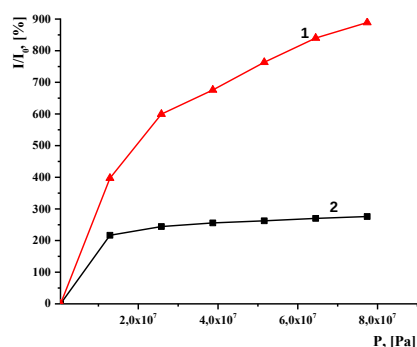


Рис. 2. Зависимость тока от давления (1-при освещении 100 Вт/см^2 , 2 – без освещения, $E=10$ В)

Аналогичная закономерность наблюдается и при высоких температурах, так очень интересные результа-

ты были получены при освещении образцов. Так установлено, что при освещении тензочувствительность существенно растёт таблица 2 и рис. 2. Хотя известно, что в обычных полупроводниковых материалах наблюдается обратный эффект, то есть освещение приводит к уменьшению тензочувствительности. Это первая особенность исследуемых образцов, показывает, что создан новый класс фото-тензо-датчиков с высокой чувствительностью. В таблице 3 и на рис. 3. приведены коэффициенты α_1 и α_2 тензодатчиков как в темноте, так и при освещении также при различных температурах.

Таблица 3

Температура	30 °C	40 °C	50 °C	70 °C
Без освещения				
α_1 , [мкА/МПа]	2,02	3,36	6,97	10,8
α_2 , [мкА/МПа]	0,11	0,36	1,14	2,46
При освещении				
α_1 , [мкА/МПа]	5,6	6,72	9	11,79
α_2 , [мкА/МПа]	1,39	1,86	1,99	2,8

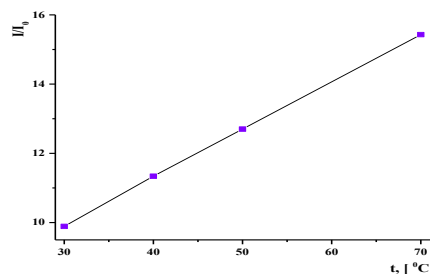


Рис. 3. Зависимость тока от температуры (при освещении 100 Вт/см^2 , $E=10$ В)

Вторая особенность тензосвойств образцов, это существенное влияние температуры на тензочувствительность. В отличие от результатов работ [9-10] при повышении температуры тензочувствительность не уменьшается, а наоборот существенно увеличивается. Например, из таблицы видно, что тензочувствительность при повышении температуры от 30 °C до 70 °C увеличивает почти в 3,9 раза (таблица 1).

Обсуждение результатов: Полученные результаты показывают, что кремний с нанокластерами действительно является принципиально новым материалом для создания более высокочувствительных тензодатчиков. Это объясняется тем, что нанокластеры атомов марганца действуют как многозарядные квантовые точки, которые создают вокруг себя не только достаточно сильное электрическое поле, но и существенно влияют на квантование энергетического спектра электронов в кластерах из-за взаимодействия данных кластеров в решетке кремния, что приводит к появлению мини энергетических зон, которые приводят к существенному расширению спектральной области энергетических состояний в таких кристаллах. Поэтому наличие давления в отличие от обычных полупроводниковых материалов в которых тензочувствительность напрямую связана с уменьшением ширины запрещенной зоны и соответственно имеющих достаточно низкий тензочкоэффициент, в нашем материале под давлением существенно меняется весь комплекс спектра энергетических уровней как в внутри нанокластеров, так и в мини зонах, а также и E_g . При этом вклад изменения энергии ионизации примесных уровней в нанокластерах и в мини зонах существенно больше чем изменение E_g . Также следует отметить, что изменяя уровень кратности заряда нанокластеров и концентрацию нанокластеров атомов марганца в решетке, можно управлять в широкой обла-

сти тензосвойствами материала, что позволяет не только создать новый класс тензодатчиков, но и начать новое научное направление по использованию тензоэффекта в объемнонаноструктурированном материале.

Выводы.

Тензосвойства кремния с нанокластерами атомов марганца существенно отличаются от тензосвойств обычных полупроводников, в том числе кремния легированного различными примесными атомами. Установлено, что повышение температуры и освещение существенно увеличивают тензочувствительность материала.

Литература

1. Проценко И.Г., Брусенцов Ю.А. Определение механических деформаций и напряжений полупроводниковыми тензочувствительными элементами // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. Россия, 2014, №1(50). -С. 272-280.
2. Дружинин А.А., Кутраков А.П., Лях-Кагуй Н.С., Вуйчик А.М. Двухфункциональный датчик давления-температуры на основе нитевидных кристаллов кремния // Технология и конструирование в электронной аппаратуре, 2013, №4. -С. 23-26.
3. Бахадирханов М.К., Аюпов К.С., Мавлянов Г.Х., Илиев Х.М., Исамов С.Б. Фотопроводимость кремния с нанокластерами атомов марганца // Микроэлектроника. –Москва: 2010, Т. 39. Вып. 6. -С. 426-429.
4. Bakhadyrkhanov M.K., Mavlonov G. Kh., Isamov S. B., Iliev Kh. M., Ayupov K.S., Saparniyazova Z. M., and Tachilin S. A. Transport Properties of Silicon Doped with Manganese via Low-Temperature Diffusion // Inorganic Materials. Russia. 2011, Vol. 47, No. 5, -P. 479-483.
5. Баринев И.Н. Полупроводниковые тензорезистивные датчики давления на основе КНД-структуры // Компоненты и технологии. –Москва: 2009, № 5, -С. 12-15.
6. Бахадирханов М.К., Илиев Х.М., Зикриллаев Х.Ф. Влияние одноосного сжатия на фотопроводимость сильнокомпенсированного Si <B. Mn>. // Письма в ЖТФ. – 1998, - Т.24. №22. –С. 23-28.
7. Моллаев А. Ю., Арсланов Р. К., Камилов И. К., Арсланов Т.Р., Залибеков У.З., Федорченко И. В. Влияние высокого давления на электросопротивление и изменение объема в ферромагнитных полупроводниках $A^{II}B^{IV}CV$: Mn // Журнал Неорганической химии. - Москва: 2015, Т. 60. Вып. 8, -С. 1095-1099.
8. Бахадирханов М.К., Абдураимов А. Влияние упругого сжатия в направлении [100] на параметры ТЗН в кремнии, легированном марганцем. // Физика и техника полупроводников. - 1986, - Т. 20. - Вып. 9. - С. 1561-1564.
9. Турсунбаев С.А., Камалов А.Б., Илиев Х.М., Тачилин С.А., Кушиев Г.А. Тензосвойства кремния с нанокластерами. // Физика полупроводников и микроэлектронике. Научный журнал. 2019, том 1, выпуск 4. Издательство ООО «VNE-SHINVESTPROM». –Ташкент: DOI 10.37681/2181-9947-2019-4.
10. Маматкаримов О.О., Хамидов Р.Х. Тензорезистивный эффект кремния с примесью олова при статическом и динамическом давлениях. Письма в ЖТФ. 2003. Т.29. №3. -С. 24 - 28.

РЕЗЮМЕ

Таркибида марганец атомлари нанокластерлари бўлган кремнийнинг тензохоссалари оддий яримўтказгичлар, жумладан турли киришма атомлари билан легирланган кремний, тензохоссаларидан фарқ қилиши кўрсатилган. Ҳарорат ва ёритилганликнинг ортиши материал тензосезгирлигининг сезиларли даражада ортишига олиб келиши топилган. Топилган натижалар нанокластер (квант нукталар) да ҳамда материалда ташкил топган минизоналарда энергетик спектрлар кенгайиши билан тушунтирилади.

РЕЗЮМЕ

В статье приводятся данные о том, что тензосвойства кремния с нанокластерами атомов марганца существенно отличаются от тензосвойств обычных полупроводников, в том числе кремния легированного различными примесными атомами. Обнаружено, что повышение температуры и освещение существенно увеличивают тензочувствительность материала. Полученные результаты объясняются расширением энергетического спектра как в нанокластерах (квантовых точках), так и в сформированных мини зонах в таком материале.

SUMMARY

The article presents the data that tensorial properties of silicon with nanoclusters of manganese atoms differ from that of ordinary semiconductors, including from that of silicon doped with different impurity atoms. It is found that increase of temperature and illumination substantially increase tensorial sensitivity of the material. The obtained results are explained by the widening of energetic spectrum in both nanoclusters (quantum dots) and formed minizones in the material.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕГРАДАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

К.А.Исмаилов – доктор физико-математических наук, профессор

Е.Ж.Косбергенов – докторант

Каракалпакский государственный университет имени Бердаха

Таянч сўзлар: кремний асосида куёш элементи, деградация, кучланишнинг температура коэффициент, поликристалл кремний.

Ключевые слова: кремниевый солнечный элемент, деградация, температурный коэффициент напряжения, полукристаллический кремний.

Key words: silicon solar cell, degradation, voltage temperature coefficient, polycrystalline silicon.

Введение. Эффективность солнечной панели в течение срока службы постоянно снижается, поскольку компоненты панели стареют во время наружного воздействия. Первоначальная деградация солнечных панелей происходит с самых первых часов работы в полевых условиях. Через некоторое время мощность стабилизируется на определенном уровне относительно исходной мощности [1]. На сегодняшний день большинство (более 90 %) доступных солнечных модулей (СМ) изготовлены из моно или поликристаллического кремния [2]. Примерно 95% фотоэлектрических мо-

дулей изготовлены с использованием кремниевых подложек р-типа, которые подвержены деградации при воздействии солнечного света, даже при таких низких температурах, как 70°C, встречающихся в типичных условиях работы солнечных панелей [3].

В последнее время, в связи с накоплением опыта эксплуатации СЭ, особое внимание уделяется вопросам прогнозирования долгосрочных значений параметров СЭ и их изменению с течением времени, в результате чего в реальных условиях выходная мощность отличается от ожидаемой, измеренной в лабора-