

3. Беляев А.Е., Болтовец Н.С., Капитанчук Л.М., Конакова Р.В., Кудрик Я.Я., Миленин В.В., Коростинская Т.В., Атаубаева А.Б. Релаксационные явления в структурах Au-Ti-Pd-n⁺(p⁺)-Si стимулированные термоотжигом. Материалы международной научно-практической конференции «Структурная релаксация в твердых телах». Винница, Украина: 2009, 19-21 мая. –С.157-158.
4. Ottaviani G. Review of binary alloy formation by thin film interactions. J.Vac. Sci. Technol.-1979.-V.16.-N5.-P.1112-1119.
5. Басанец В.В., Болтовец Н.С., Зоренко А.В., Гуцул А.В., Колесник Н.В., Герашенко С.И. Мощные кремниевые импульсные лавинно-пролетные диоды 8-мм диапазона. ТП СВЧ.-2009.-№1.-С.27-30.
6. Мырарка Ш. Силициды для СБИС. -М.: «Мир».1986. –С.176.
7. Бланк Т.В., Гольдберг Ю.А. Полупроводниковые фотоэлектронпреобразователи для ультрафиолетовой области спектра. Аналитические обзоры. // Вестник РФФИ. 2003. № 4 (34). -С. 5-28.

РЕЗЮМЕ. Иссiqlik bilan ishlov berishning Si ga olingan omik kontaktlardagi ichki mexanik kuchlanishlarning kattaligiga ta'siri o'rganildi. Au-Ti-n⁺-Si kontakt strukturasi issiqlik bilan ishlov berish namunaning tekislanishiga, Au-Ti-Pd₂Si-p⁺-Si kontakt strukturasi esa egrilik radiusining oshishiga olib keldi.

РЕЗЮМЕ. Исследовано влияние термической обработки на величину внутренних механических напряжений в омических контактах к Si. ТО контактной структуры Au-Ti-n⁺Si привела к выпрямлению образца, а в контактной структуре Au-Ti-Pd₂Si-p⁺Si к увеличению радиуса кривизны.

SUMMARY. The effect of heat treatment on the magnitude of internal mechanical stresses in ohmic contacts to Si has been studied. Heat treatment of the Au-Ti-n⁺-Si contact structure led to sample straightening and in the Au-Ti-Pd₂Si-p⁺-Si contact structure to an increase in the radius of curvature.

УДК 621.315.593

ТЕНЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРЕМНИЯ С НАНОКЛАСТЕРАМИ АТОМОВ МАРГАНЦА

А.Б.Камалов – доктор физико-математических наук, профессор

М.А.Жалелов – кандидат физико-математических наук, доцент

С.А.Турсынбаев – ассистент преподаватель

Нукусский государственный педагогический институт имени Ажиянйза

Таянч сўзлар: ярымўткагич, босим, нанокластер, тензохоссалари, марганец, диффузия.

Ключевые слова: полупроводник, давление, нанокластер, тензосвойства, марганец, диффузия.

Key words: semiconductor, pressure, nanocluster, strain gauge, manganese, diffusion.

Введение. Разработка и создание высокочувствительных тензодатчиков представляет большой практический интерес, так как надёжность и эффективность работы современных систем автоматизации, многофункциональных роботов, а также авиационной промышленности зависит от чувствительности и быстродействия полупроводниковых тензодатчиков. Чувствительность современных тензодатчиков в основном определяется изменением ширины запрещенной зоны полупроводников и энергией ионизации примесных атомов, из-за этого тензочувствительность таких датчиков в области низких давлений достаточно низкая [1,2].

Решение данной проблемы требует использования новых физических явлений или новых полупроводниковых материалов, которые более чувствительны к давлению. В этом плане представляет большой научный и практический интерес исследование особенностей тензосвойств кремния с наноструктурами, т.е. с нанокластерами примесных атомов марганца. Так как в первых в настоящее время отсутствуют какие-либо теоретические и экспериментальные данные связываемые с исследованием тензосвойств таких материалов. Во-вторых, как было указано в работах [3–5], в кремнии с нанокластерами марганца обнаружен ряд интересных

физических явлений, которые отсутствуют в кремнии легированном другими примесными атомами различной природы. Поэтому целью данной работы являлось исследование особенности тензосвойств кремния, содержащего нанокластеры примесных атомов марганца. Кремний содержащий нанокластеры примесных атомов марганца является новым объемно наноструктурированным полупроводниковым материалом.

Технология и методы исследования. Образцы с нанокластерами атомов марганца были получены легированием кремния марганцем по технологии [6,7]. При этом в качестве исходного материала был использован монокристаллический кремний *p*-типа $\rho = 3 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ с концентрацией кислорода $N = (5 \dots 7) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и плотностью дислокации $S \sim 10^3 \text{ см}^{-2}$. Температура и время диффузии марганца выбрались таким образом, чтобы получить компенсированный кремний *p*-типа с $\rho = (5 \dots 7) \cdot 10^3 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ размером $0,5 \text{ мм} \times 4 \text{ мм} \times 8 \text{ мм}$. Именно в таком материале более четко проявляется влияние нанокластеров на электрофизические свойства кремния. После диффузии, механической и химической обработки, электрические параметры образцов исследовались методом эффекта Холла (табл. 1).

№	Исходный материал	Тип проводимости	Температура диффузии, С	ρ , (Ом·см)	μ , (В·с/см ²)	n, p (см ⁻³)
1	КДБ-3	<i>P</i>	1056	$7,92 \cdot 10^2$	330,2	$2,39 \cdot 10^{13}$
2	КДБ-3	<i>P</i>	1060	$5,5 \cdot 10^3$	120,7	$2,49 \cdot 10^{12}$
3	КДБ-3	<i>P</i>	1063	$5,64 \cdot 10^4$	224,9	$2,03 \cdot 10^{11}$
4	КДБ-3	<i>P</i>	1068	$1,53 \cdot 10^5$	234,8	$1,74 \cdot 10^{11}$

Для исследования одновременного воздействия температуры и давления на образец кремния была разработана специальная установка, позволяющая нагревать образец равномерно от комнатной температуры до 200 С и создавать поперечную локальную деформацию до $5 \cdot 10^8 \text{ Па}$, при регулируемой интенсивности фонового освещения в интервале $I = 0 \dots 15000 \text{ люкс}$. Локальная деформация создавалась при помощи давления на образец металлическим острым зонда диаметром $d \sim 100 \text{ мкм}$. Установка позволяла исследовать тензосвойства образцов с дискретностью шага давления $1,41 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

Результаты и обсуждение. На (рис. 1) представлено изменение удельного сопротивления образцов кремния с нанокластерами атомов марганца от давления в интервале $P = 5 \cdot 10^5 \dots 3 \cdot 10^6 \text{ Па}$. Из (рис. 1) видно, что максимальное изменение ρ наблюдается у образцов с $\rho \sim (5 \dots 7) \cdot 10^3 \text{ Ом}\cdot\text{см}$. В образцах с удельным сопротивлением меньше $\rho = 7,9 \cdot 10^2 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ и больше $\rho = 5 \cdot 10^4 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ изменение ρ существенно меньше относительно образцов с $\rho \sim 5 \cdot 10^3 \text{ Ом}\cdot\text{см}$.

Экспериментально установлено, что во всех образцах с $\rho \sim (5 \dots 7) \cdot 10^3 \text{ Ом}\cdot\text{см}$, под давлением наблюдается существенное изменение ρ . Изменение удельного сопротивления контрольного образца кремния легированного марганцем без формирования нанокластеров с $\rho = 1,6 \cdot 10^3 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ представлено на (рис. 1) кривой 1. Как видно из (рис. 1) в контрольных образцах указанный интервал максимального изменения ρ составляет $10 \dots 12 \%$. В тоже время в образцах кремния с нанокластерами в указанном интервале давления ρ образцов меняется почти в три раза, т.е. наблюдается аномально большое изменение удельного сопротивления на 300 % свидетельствующее о высокой тензочувствительности полученного материала, которая практически отсутствует в кремнии легированном другими компенсирующими примесными атомами [8]. Таким образом на основе этих результатов мы можем утверждать, что кремний с нанокластерами атомов марганца обладает высокой тензочувствительностью, где коэффициент тензочувствительности составляет $\alpha = 49,5 \% / \text{МПа}$.

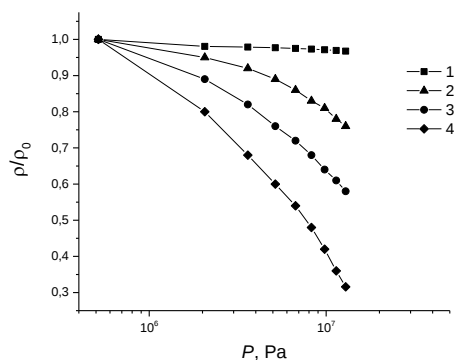


Рис. 1. Относительное изменение удельного сопротивления исследуемых образцов от давления:

1 – кремний без нанокластеров атомов марганца, $\rho = 1,53 \cdot 10^5$ Ом·см, 2 – кремний с нанокластерами атомов марганца $\rho = 5,64 \cdot 10^4$ Ом·см, 3 – кремний с нанокластерами атомов марганца $\rho = 5,64 \cdot 10^4$ Ом·см, 4 – кремний с нанокластерами атомов марганца $\rho = 5,5 \cdot 10^3$ Ом·см.

Как было указано в работах [9,10] образцы кремния с нанокластерами обладают аномально высокой фото- и температурной чувствительностью. В связи с этим были проведены исследования значения тензочувствительности исследуемых образцов при различных температурах. Такие исследования открывают перспективы для разработки многофункциональных датчиков – температуры, освещения и давления.

На (рис. 2) представлено изменение ρ исследуемых образцов от давления при различных температурах. Установлено что с ростом температуры тензочувствительность образцов растет. Этот процесс продолжается до $T = 70...75$ °C, дальнейшее повышение температуры приводит к ухудшению тензочувствительности образцов. Изменение тензочувствительности образцов α от температуры приведено на (рис. 3).

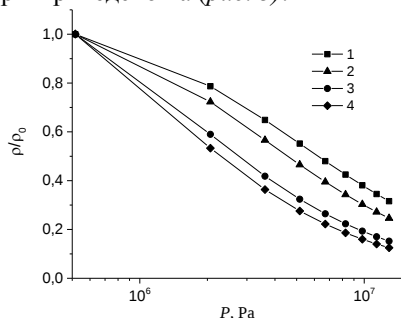


Рис. 2 Относительное изменение удельное сопротивление ($\rho = 5,5 \cdot 10^3$ Ом·см) образцов кремния с нанокластерами под действием давления при различных температурах: 1 – 30 °C, 2 – 40 °C, 3 – 50 °C, 4 – 70 °C.

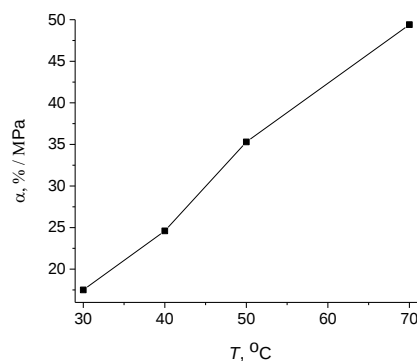


Рис. 3 Изменение температурного коэффициента тензочувствительности образцов α от температуры.

Полученные экспериментальные результаты показывают не только возможность использования тензодатчиков в широком интервале температур, но и одновременно их высокую температурную чувствительность при наличии давления, повышающуюся при увеличении температуры.

Выводы. На основе полученных экспериментальных данных можно сказать, что кремний с нанокластерами примесных атомов является новым материалом для создания высоко эффективных тензодатчиков с уникальными потенциальными физическими возможностями. Установлено, что в отличие от обычных полупроводниковых материалов, в кремнии с нанокластерами атомов марганца наблюдается достаточно высокая тензочувствительность при комнатной температуре, которую трудно объяснить существующей теорией. Такая высокая тензочувствительность в полученном материале связана с изменением состояния нанокластеров атомов марганца при наличии давления. Эти данные показывают, что кремний с нанокластерами атомов марганца может служить перспективным материалом для создания нового класса тензодатчиков. Управляя концентрацией и зарядовым состоянием нанокластеров атомов марганца, можно существенно увеличить тензочувствительность такого материала.

Таким образом установлено, что кремний с нанокластерами атомов марганца является уникальным материалом для создания высокочувствительных тензодатчиков. При этом следует отметить, чтоб в отличие от существующих материалов, которые используются при создании тензодатчиков, тензочувствительность кремния с нанокластерами атомов марганца повышается с ростом температуре до 70 °C.

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. Турсынбаев С.А. Влияние температуры на тензоэлектрические свойства кремния с нанокластерами атомов марганца. Наноструктурные полупроводниковые материалы в фотоэнергетике. II Международная научная конференция. 19-20 ноября 2021. -С. 195-198.
3. Турсынбаев С.А. Нанокластерли кремнийнинг доимий босим ва ўзгарувчан электр майдони таъсирида тензоэлектрик хусусиятлари. “Яримўтказгичлар физикаси, микро- ва наноелектрониканинг фундаментал ва амалий муаммолари” I-Халқаро анжуман. –Ташкент: 2021, 28-29-октябрь. -С. 150.
4. Isamov S.B., Tursinbaev S.A., Isakov B.O., Movlonov N.T., Bozorov F.R. Nanoklastarli yarim o'tkazgichlarga bosimning ta'sirini o'rganuvchi qurilma yaratish. Ферганский государственный университет. Международная научная конференция. “Тенденции развития физики конденсированных сред”. –Фергана: 25 май, 2021, -С.32-35.
5. Турсынбаев С.А. Тензотермические свойства кремния с нанокластерами атомов марганца. Материалы международной конференции «Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниковых микро- и наноструктурах». –Фергана: 2020, -С. 204-206..
6. Турсынбаев С.А. Тензочувствительность кремния с нанокластерами атомов марганца. Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Научно-исследовательский институт физики полупроводников и микроэлектроники, “Наноструктурные полупроводниковые материалы в фотоэнергетике” сборник докладов международной научной конференции, 2020-йил 9-10-октябрь, -С.176-179.
7. Турсынбаев С.А., Камалов А.Б., Идиев Х.М., Тачилин С.А., Кушиев Г.А. Тензосвойства кремния с нанокластерами // Физика полупроводников и микроэлектронике. 2019, том 1, выпуск 4. DOI 10.37681 / 2181 – 9947, 2019. 4.

8. Илиев Х.М., Камалов А.Б., Турсинбаев С.А. Кремний с нанокластерами атомов марганца – новый материал для тензодатчиков. // Наука и общество. 2020, №4 -С.7-9

9. Kamalov A.B., Tursinbaev S.A., Iliyev Kh.M., Shoabdurakhimova M.M. Influence of lighting on tenso-sensitivity of silicon doped with manganese. Scientific-technical journal. 2020. V.3, №5. -P. 45-47

10. Muratov A.S., Kamalov A.B., Tursinbaev S.A. Installations for studying the strain properties of silicon with nanoclusters of impurity atoms. // Science and Education in Karakalpakstan. 2021. №2 (17). С. 4-7.

РЕЗЮМЕ. Оддий яримўтказгич материаллардан фаркли равишда марганец атомлари нанокластерларига эга бўлган кремнийда хона ҳароратида етарлича юқори тензосезувчанлиги кузатилади, буни мавжуд назария билан тушунтириш қийин. Олинган материалларни юқори тензосезувчанлиги босим таъсирида марганец атомларининг нанокластерлари ҳолатининг ўзгариши билан боғлиқдир. Ушбу маълумотлар шуни кўрсатадики, марганец атомлари нанокластерларига эга кремний янги синф датчикларини яратиш учун истиқболли материал бўлиб хизмат қилиши мумкин. Марганец атомларининг нанокластерларининг концентрацияси ва заряд ҳолатини назорат қилиш орқали олинган материалнинг деформацияга сезгирлигини ўзгартириш мумкин.

РЕЗЮМЕ. Установлено, что в отличие от обычных полупроводниковых материалов, в кремнии с нанокластерами атомов марганца наблюдается достаточно высокая тензочувствительность при комнатной температуре, которую трудно объяснить существующей теорией. Высокая тензочувствительность в полученном материале связана с изменением состояния нанокластеров атомов марганца при наличии давления. Эти данные показывают, что кремний с нанокластерами атомов марганца может служить перспективным материалом для создания нового класса тензодатчиков. Управляя концентрацией и зарядовым состоянием нанокластеров атомов марганца можно изменять тензочувствительность полученного материала.

SUMMARY. It was found that, in contrast to conventional semiconductor materials, silicon with nanoclusters of manganese atoms exhibits a high tens sensitivity at room temperature, which is difficult to explain by the existing theory. The high tens sensitivity in the obtained material is associated with the changing of state of nanoclusters of manganese atoms in the presence of pressure. These data show that silicon with nanoclusters of manganese atoms can serve as a promising material for creating a new class of strain gauges. By controlling the concentration and charge state of nanoclusters of manganese atoms, one can change the tens sensitivity of the obtained material.

NEW RAW MATERIALS RECOMMENDED FOR USE IN CEMENT PLANTS OF KARAKALPAKSTAN

A.M.Kudaibergenova – assistant teacher

Nukus State Pedagogical Institute named after Ajiniyaz

G.Z.Orazimbetova – Doctor of Engineering Sciences

Andijan Machine Building Institute

M.M.Turdimuratov – assistant lecturer

Karakalpak State University named after Berdakh

Tayanch so'zlar: ohaktosh, gabbroid jinsi, jigarrang temir rudasi, qumtepa qumi, kimyoviy tarkibi, portlend sement klinkeri, portlendtsement.

Ключевые слова: известняк, габброидная порода, бурый железняк, барханный песок, химический состав, портландцементный клинкер, портландцемент.

Key words: limestone, gabbroic rock, brown ironstone, dune sand, chemical composition, portland cement clinker, portland cement.

Introduction. The northernmost territory of Uzbekistan - the Republic of Karakalpakstan, which occupies a vast territory, is characterized by a variety of climatic and geographical conditions. Due to the drying up of the Aral Sea, the region is characterized by high salinity of soil and sub-surface water. Taking into account the above-mentioned factors in this region it is advisable to use building materials that are resistant to mineral salts and climatic fluctuations. This region is located far enough from the main producers of cement in Uzbekistan, so due to high transportation costs its price rises sharply. The emergence of new local producers will eliminate this transport surcharge, which will make cement more affordable and cheaper [1-3].

Materials and research methodology. The objects of the study were averaged samples of limestone field "Dusshebulak" gabbroid rock area "Sheikhdzhali" dune sand "Muynak" and brown ironstone area "Hudzhakul". Chemical compositions of raw materials were defined according to the GOST 5382-91 "Blocks of cement and materials for cement production. Methods of chemical analysis" [4]. Evaluation of their suitability for the production of clinker was carried out according to O'z DSt 2950:2015 "Raw materials for the production of Portland cement clinker. Technical conditions" [5].

Results and discussion. With the purpose of a preliminary study of the raw material base in the Karakalpakstan region, limestone, gabbroic, dune sand, and brown iron were sampled from different areas of raw material occurrence. The chemical and mineralogical compositions of technological samples of limestone of the field "Dusshebulak" the gabbroid rock of the site "Sheikhdjelil", dune sand "Muynak", and brown iron of the site "Hujakul" were determined [2, 4]. The results of the chemical analysis of samples of raw components in the Republic of Karakalpakstan are shown in Table 1.

Table 1. Chemical composition of samples of raw materials of the Republic of Karakalpakstan (in terms of 100%)

№	Sample names	count	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Σ
1	Technological sample of limestone Dusshebulak deposit	42,84	3,50	2,48	2,05	48,01	1,12	-	-	-	100
2	Technological sample of greenish gabbro of Sheikhdjelil site	4,92	47,14	19,62	9,67	11,49	2,54	1,11	1,27	1,24	100
3	Technological sample of brown glandular rock "Hujakul"	17,17	37,02	6,56	16,94	14,61	2,51	2,19	1,55	1,45	100
4	Dune sand from Muynak deposit	6,00	84,68	2,75	1,55	-	1,6	0,11	1,68	1,63	100

The content of chloride ion in the gabbroidal rock sample is 0.96 %.

In addition, according to a special methodology it was determined that the melting temperature range of the gabbroidal rock sample is (1190-1200)0C.

The chemical composition of the studied raw components corresponds to the regulation O'z DSt 2950:2015 "Raw materials for the production of Portland cement clinker. Technical conditions"[5].