

Sr	229,0	224,0	0,9	240,0	1,0	231,0	1,01	140,0	0,61	740,0	3,2
Y	7,4	8,1	0,9	8,0	1,1	7,4	1,0	8,2	1,1	7,8	1,0
Zr	2,2	3,1	1,1	2,7	1,2	2,5	1,1	3,1	1,4	2,8	1,3
Ag	0,05	0,05	4,0	0,05	1,0	0,05	1,5	0,05	1,0	0,23	4,6
Cd	0,008	-	-	-	-	0,05	6,2	1,05	131	0,03	3,75
Sb	1,3	2,24	1,7	0,54	0,4	0,93	0,7	0,46	0,35	1,4	1,07
Cs	0,77	1,51	1,9	0,5	0,65	0,5	0,65	0,33	0,42	5,21	6,76
Ba	2,89	48,7	16,8	28,5	9,8	92,8	30,5	783,0	261	16,7	5,77
La	2,3	1,0	0,4	1,86	0,81	2,08	0,9	-	-	12,8	5,56
W	0,008	-	-	0,002	0,25	-	-	-	-	0,006	0,75
Au	0,8	0,8	1,0	0,2	0,25	0,23	0,3	0,27	0,34	0,14	0,17
Hg	1,2	0,9	0,7	0,5	0,41	1,0	0,8	-	-	1,0	0,83
Ce	0,08	0,01	0,6	0,01	0,13	0,45	5,6	9,3	116	0,029	0,36
Sm	0,03	-	-	0,061	2,0	-	-	0,54	18,0	0,004	1,3
Eu	2,0	3,2	1,6	3,1	1,55	3,4	1,7	2,7	1,35	7,0	3,5
Th	7,0	7,1	1,0	7,3	1,04	7,9	1,12	7,5	1,2	8,2	1,17
U	1,2	1,15	0,9	1,5	1,25	1,34	1,08	3,27	2,7	2,6	2,16

Закономерности накопления и рассеивания химических элементов в подпочвенных водах значительно отличаются от таких же закономерностей поверхностных вод. Так, здесь мы видим сильное загрязнение (накопление) в составе подпочвенных вод Na , Cl , Ca , Fe , Zn , As , Se , Rb , Cd , Ba , Ce , Sm , Th ($C_n/C_p=1,80$), и несколько менее ($C_n/C_p \approx 1,1-1,72$) Cr , Mn , Co , Eu .

Тип подпочвенных вод относится к хлоридно-сульфатному. Состав подпочвенных вод богат химическими элементами. Это связано с тем, что в результате растворения ионов химических элементов из подстилающих пород и нижних слоев почв происходит обогащение состава грунтовых вод и в результате испарения происходит вторичное засоление почв региона.

Приведенные результаты показывают, что природные воды Каракалпакии обогащены многими химическими элементами. Исследователи региона Приаралья заболеваемость населения связывают с составом питьевых вод региона [2-3]. Как справедливо указано в работах [4-5] более 20 химических элементов (F , I , Mg , Na , Cl , K , B , V , Fe , Mn , Cr , Cu , Zn , Co , Pb , Hg и т.д.), а также пестициды, нитраты и т.д. влияют на обмен веществ и состояние здоровья человека и заболеваемость хлопчатника вилтом.

Приведенные результаты анализа состава вод зоны Приаралья показывают, что состав коллекторно-дренажных и подпочвенных вод значительно загрязнен токсическими химическими элементами и при переходе речных вод в русло каналов воды загрязняются тяжелыми металлами. Загрязнение вод при переходе в русло каналов мы объясняем тем, что вследствие поднятия уровня грунтовых вод зачастую происходит растворение отдельных соединений химических элементов в почвах в зависимости от pH почв и контактирующих вод, которые обогащают состав канальных вод. Процесс загрязнения канальных вод также связан с погодными условиями. При сильных ветрах и пыльных бурях имеет место загрязнение поверхностных вод региона. Химизм поверхностных вод, в том числе и речных, обусловлен влиянием атмосферных осадков, взаимодействием этих вод с почвами, породами и живым веществом.

Литература

1. Хатамов Ш., Жумамуратов А., Жумамуратов М.А. Экологические наблюдения сезонного изменения микроэлементного состава воды реки Амударья в регионе Южного Приаралья. // В книге "Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем" (ПЭММЭ) Том 20. -Санкт-Петербург: гидрометеоздат. 2005. -С. 311-318.
2. Абдиров Ч.А., Атанязова О.А., Константинова Л.Г. Экология и здоровье человека. – Нукус: «Билим», 1993. -С. 184.
3. Жоллыбеков Б. Изменение почвенного покрова и ландшафтов Южного Приаралья в связи с антропогенными воздействиями. - Нукус: «Билим», 1995. -С. 244.
4. Красевский Г.Н., Егорова Н.А. Гигиеническая классификация водных объектов по степени загрязнения. Гигиена и санитария. - М.: «Медицина». 1987. №3. -С. 8-10.
5. Румянцев Г.И., Воронцова М.П. Общая гигиена. -М.: «Медицина». 1990. -С. 287.

РЕЗЮМЕ. Ушбу мақолада Амударё дельтасидан олинган сув намуналарининг микроэлементлар таркиби муҳокама қилинади. Орол денгизи зонаси сувлари таркибини таҳлил қилиш натижалари шуни кўрсатадики, коллектор-дренаж ва ер ости сувлари таркиби захарли кимёвий элементлар билан сезиларли даражада ифлосланган ва дарё сувлари каналлар каналига ўтганда сувлар оғир металллар билан ифлосланган.

РЕЗЮМЕ. В статье рассматривается микроэлементный состав проб воды из дельты Амударьи. Результаты анализа состава вод зоны Приаралья показывают, что состав коллекторно-дренажных и подпочвенных вод значительно загрязнён токсическими химическими элементами и при переходе речных вод в русло каналов воды загрязняются тяжелыми металлами.

SUMMARY. This article discusses the microelement composition of water samples from the Amudarya delta. The results of the analysis of the composition of the waters of the Aral Sea zone show that the composition of the collector-drainage and subsoil waters is significantly polluted with toxic chemical elements, and when river waters pass into the channel of canals, the waters become contaminated with heavy metals.

РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В СТРУКТУРАХ КОНТАКТНОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ, СТИМУЛИРОВАННЫЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

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

А.Б.Атаубаева – кандидат физико-математических наук, доцент

Каракалпакский государственный университет имени Бердаха

Г.М.Насырова – магистрант

Национальный университет Узбекистана имени М.Улугбека

Tayanch so'zlar: omik kontakt, kremniy, issiqlik bilan ishlav berish, ichki mexanik kuchlanishlar, egrilik radiusi.

Ключевые слова: омический контакт, кремний, термическая обработка, внутренние механические напряжения, радиус кривизны.

Key words: ohmic contact, silicon, heat treatment, internal mechanical stresses, radius of curvature.

Введение. Несмотря на многообразие и изученность омических контактов к кремниевым микроэлектронным приборам, поиск контактной металлизации, устойчивой к внешним активным воздействиям и обеспечивающих малое удельное контактное сопротивление

до сих пор является актуальным. Известно, что в процессе термического напыления и последующего отжига образование новых фаз на границе раздела сопровождается деградиционными процессами, существующую роль в которых играют напряжения несоответствия,

вызванные несоответствием параметров решеток контактообразующих материалов, термические напряжения, локальные напряжения, массоперенос [1-6]. В данной работе на примере контактной металлизации Au-Ti и Au-Ti-Pd₂Si к монокристаллическому кремнию исследовано влияние термообработки (ТО) на изменение в нем величины внутренних механических напряжений σ . Оценка величины σ проводилась на основе измерений радиуса кривизны R кремниевой подложки до и после ТО.

Образцы и методы их исследования. Исследовались контакты к сильнолегированной фосфором пластине n^+-Si ($n \approx 2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$), полученной легированием фосфором до 10^{20} см^{-3} кремниевой подложки типа КЭМ с $\rho = 0,002 \text{ Ом} \cdot \text{см}$. В качестве омических контактов использовались двух- и трехслойные структуры Au-Ti- n^+Si и Au-Ti-Pd₂Si- n^+Si .

Пленки металлов наносились послойно вакуумным термическим напылением на нагретые до 330°C и 400°C подложки кремния при формировании Au-Ti-Pd₂Si и Au-Ti-структур, соответственно. ТО проводился в течение 10 мин при температуре 450°C .

Экспериментальные результаты и обсуждение. Радиус кривизны исследуемых образцов двухслойных контактных структур металл- n^+Si до и после термообработок рассчитывался по стреле прогиба l на хорде дуги m из профилограммы (рис.1) по формуле

$$R = \frac{m^2}{8l} \quad (1)$$

Оценку величины внутренних механических напряжений σ вызывающих изгиб подложки можно привести по формуле Стоуни

$$\sigma = \frac{ED^2}{6(1-\nu)Rt} \quad (2)$$

E , ν , D , R - модуль Юнга, коэффициент Пуассона, толщина подложки и радиус кривизны подложки, соответственно; t - толщина пленки.

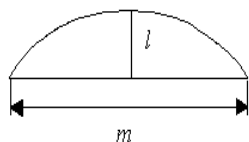
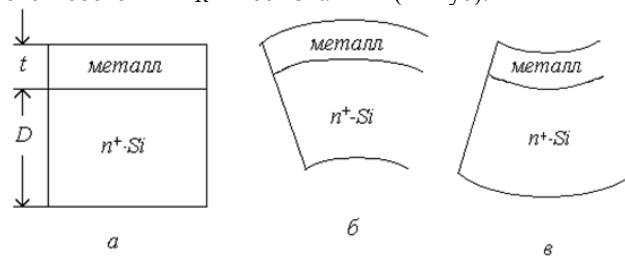


Рис. 1. Профилограмма изогнутого образца

На рис.2 показан изгиб двухслойной системы металл- n^+Si (где металл тонкая пленка Ti (50 нм) покрывающая тонкой пленкой Au (50 нм), пленка Au защищает пленку Ti от окисления). Оценка изгиба подложки в данном случае проведена для контакта Ti – монокристалл Si (подложка n^+-Si), предполагая, что из-за пластичности Au, вклад пленки Au в величину σ будет несущественным. Изгиб подложки методически

показан для трех случаев: рис.2, а – при $R = \infty$ контактная структура не напряжена; при выпуклом изгибе (рис.2, б) – пленка растянута, а подложка сжата, в этом состоянии R имеет знак «+» (плюс). При вогнутом изгибе (рис.2, в) пленка сжата, подложка растянута, в этом состоянии R имеет знак «-» (минус).



$R = \infty$ (а); R со знаком «+» (б); R со знаком «-» (в)
Рис.2. Изображение изгиба в двухслойной контактной структуре металл-Si при различной кривизне исследуемых образцов

В тестовых структурах Au(50 нм)-Ti(50 нм)- n^+Si площадью $10 \times 10 \text{ мм}^2$ изготовленных на основе однородного монокристалла в исходном образце радиус кривизны составил 17,6 м, после ТО при 450°C в течение 10 мин образец выпрямился (радиус кривизны близок к бесконечности). В пренебрежении толщиной тонкой (50 нм) пленки Au (ввиду ее пластичности) проведена оценка напряжении σ , вызванных изгибом подложки (исходный образец) [6]

$$\sigma = \frac{ED^2}{6(1-\nu)Rt} = \frac{1,3 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2 \cdot (3,5 \cdot 10^{-4} \text{ м})^2}{6 \cdot 0,722 \cdot 17,6 \text{ м} \cdot 5 \cdot 10^{-8} \text{ м}} \approx \frac{15,9 \cdot 10^3 \text{ Н}}{3,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2} \approx 4,2 \cdot 10^9 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \approx 4 \text{ ГПа} \quad (3)$$

где $E = 1,3 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$ - модуль Юнга Si, $\nu = 0,278$ - коэффициент Пуассона Si, $D = 350 \text{ мкм}$ - толщина подложки Si, R - радиус кривизны подложки, создаваемый напряжениями в подложке, t - толщина пленки металла (силицида). Результаты измерения внутренних механических напряжений контактной структуры Au-Ti- n^+Si до и после термообработки приведены в таблице 1.

Полученная величина σ порядка 4 ГПа близка к величинам напряжений в силицидах, образовавшихся на Si [7]. Такого же порядка напряжения возникают и в случае напыления непосредственно силицидов на Si подложку. После ТО σ в подложке близко к нулю, поскольку $R \approx \infty$. Приведенные данные по релаксации механических напряжений в контактных структурах показывают, насколько чувствительна контактная система к режимам ТО.

Таблица 1. Экспериментальные результаты по измерению R и σ в контактах Au-Ti- n^+Si до и после ТО

Тип образца	Изгиб	l , мм	m , мм	R , м	$R_{\text{сред}}$, м	σ , Н/м ²
исходный	-	54	3,5	16,27	17,6	$4 \cdot 10^9$
после ТО 450°C 10 мин	изгиб отсутствует	54	3	∞	∞	0

На тестовых структурах со сплошной металлизацией Au-Ti-Pd₂Si- p^+Si до и после ТО в течение 10 минут при $T = 450^\circ\text{C}$ были измерены радиусы кривизны. Оказалось, что в исходном образце радиус кривизны составил 8-9 м, после ТО этого же образца - 13-14 м. Рассчитать напряжения в пленках в такой же структуре не представляется возможным в виду ее многослойности.

Заключение. Подробные исследования релаксационных явлений представляет самостоятельную задачу, решение которой связано с использованием специальных рентгеноструктурных методов анализа, позволяющих исследовать сложные механизмы структурной релаксации в контактных системах.

Литература

- Гершинский А.Е., Ржанов А.В., Черепов Е.И. Тонкопленочные силициды в микроэлектронике. Микроэлектроника. -1982. Т.11, №2, -С.83-94.
- Борисенко В.Е. Твердофазные процессы в полупроводниках при импульсном нагреве. Под ред. В.А.Лабунова. -Минск: Наука и техника. 1992. -С.248.

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.-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 связанный 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 $\alpha = 49,5 \%$ / МПа.