



## КОМПЕНСИРОВАННЫЙ КРЕМНИЙ АСОСИДАГИ ҲАРОРАТ ДАТЧИКЛАРИНИНГ ФИЗИКАВИЙ ХУСУСИЯТЛАРИ

Саъдуллаев А.Б., Давлонов Х.А., Бобакулов З.А.

Қарши муҳандислик-иқтисодиёт институти, Қарши, Ўзбекистон

**Аннотация:** Мақолада марганец киришма атомлари билан ўта компенсацияланган кремний материали асосида ҳарорат датчикларини яратишнинг технологик жараёнлари батафсил ёритилган бўлиб, олинган экспериментал натижалар билан ҳарорат датчикларини тавсифловчи асосий параметрларини мавжудларига нисбатан сезиларли даражада яхшиланганлиги илмий жиҳатидан асослаб берилган.

**Калит сўзлар:** Компенсированный кремний, ҳарорат датчик, заряд ташувчилар концентрацияси, сезгирлик даражаси, кимёвий элементлар бирикмалари, солиштирама электр ўтказувчанлик, термоэлектрик хусусият.

## ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПЕНСИРОВАННЫХ КРЕМНИЕВЫХ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ

Саъдуллаев А.Б., Давлонов Х.А., Бобакулов З.А.

Каршинский инженерно-экономический институт, Карши, Узбекистан

**Аннотация:** В статье подробно описаны технологические процессы создания датчиков температуры на основе сильнокомпенсированного кремния, легированного примесными атомами марганца, и научно обосновано, что основные характеризующие параметры датчиков температуры существенно улучшены по сравнению с существующими на основе полученных экспериментальных результатов.

**Ключевые слова:** Компенсированный кремний, датчик температуры, концентрация носителей заряда, степень чувствительности, соединение химических элементов, удельная электропроводность, термоэлектрические свойства.

## PHYSICAL PROPERTIES OF COMPENSATED SILICON TEMPERATURE SENSORS

Sadullaev A.B., Davlonov Kh.A., Bobakulov Z.A.

Karshi Engineering Economic Institute, Karshi, Uzbekistan

**Annotation:** The article describes in detail the technological processes for creating temperature sensors based on highly compensated silicon doped with impurity manganese atoms and scientifically substantiates that the main characterizing parameters of temperature sensors are significantly improved compared to existing ones based on the experimental results obtained.

**Keywords:** Compensated silicon, temperature sensor, concentration of charge carriers, degrees of sensitivity, combination of chemical elements, electrical conductivity, thermoelectric properties.

### Кириш.

Замонавий электроника саноатида юқори сезгирликли катта тезликда ишлай оладиган ҳарорат датчикларини яратиш технологиясини такомиллаштириш долзарб масалалардан ҳисобланади. Ушбу соҳада ўтиш гуруҳи элементлари киришма атомлари билан ўта





компенсирланган кремний материали муҳим амалий аҳамият касб этади. Оддий яримўтказгич материалларидан ёки кимёвий элементлар бирикмалари асосида тайёрланган  $A_{II}B_{VI}$  ва  $A_{III}B_{V}$  русумдаги ярим ўтказгич материалларидан фарқли равишда тадқиқот объекти сифатида танланган марганец киришма атомлари билан ўта компенсирланган  $Si\langle B, Mn \rangle$  материалларида хона ҳароратида ҳаракатчан электрон ва ковакларнинг концентрацияси ( $n_0, p_0 \ll N_a^+, N_a^-$ ) ионлашган киришма атомлари концентрациясидан бир неча юз минг ёки миллион марта кичик бўлиб, паст ҳароратларда ушбу фарқ янада ортади, материалнинг солиштирма электр ўтказувчанлиги эса хусусий ўтказувчанлигига деярли тенг бўлади. Агарда марганец киришма атомларини монокристал кремнийнинг кристалл панжарасида бир неча зарядланган  $Mn^0, Mn^+, Mn^{++}$  ҳолатларда жойлашиши ҳисобга олинса, марганец киришма атомлари билан ўта компенсирланган  $Si\langle B, Mn \rangle$  материалнинг хусусиятларини ўзгариши янада кучаяди. Компенсирланган кремний материали бундай шароитда энг чегаравий номувозанат ҳолатида бўлади ва жуда кичик ташқи таъсирлар (ёруғлик, ҳарорат, магнит майдони ва бошқ.) натижасида материалнинг термоэлектрик ва гальваномагнит хусусиятлари кескин ўзгариши кузатилган [1-4]. Шу сабабли ушбу мақолада марганец киришма атомлари билан ўта компенсирланган кремний  $Si\langle B, Mn \rangle$  материалнинг термоэлектрик хусусиятлари тадқиқ қилинди.

### Материаллар ва методлар.

Марганец киришма атомлари билан ўта компенсирланган кремний  $Si\langle B, Mn \rangle$  материалнинг ташқи ҳарорат таъсирига сезгирлик даражасини электр фаол заряд ташувчи заррачалар концентрациясига боғлиқлигини ўрганиш мақсадида саноатда ишлаб чиқарилган акцептор ўтказувчанликли монокристалл КДБ-1; 10; 100 бошланғич кремний материаллари асосида олинган, турли хил  $\rho = 10^2 \div 10^5$  Ом·см солиштирма электр қаршиликли  $Si\langle B, Mn \rangle$  намуналарининг термоэлектрик хусусиятлари тадқиқ қилинди. Маълумки, саноатда ишлаб чиқарилган бошланғич КДБ-1, КДБ-10, КДБ-100 русумли монокристалл кремнийда бор (В) элементи атомлари концентрацияси  $N_B = 10^{16} \text{ см}^{-3}, 10^{15} \text{ см}^{-3}, 10^{14} \text{ см}^{-3}$  бўлиб, марганец киришма атомлари диффузияси натижасида олинган  $Si\langle B, Mn \rangle$  намуналарда ўтказувчанлик тури ва солиштирма электр қаршилиги бир хил бўлсада, аммо электр фаол марганец киришма атомлари концентрацияси 100 мартага фарқ қилади, яъни бошланғич КДБ-1 монокристалли асосида олинган p- $Si\langle B, Mn \rangle$  намуналарида электр фаол марганец киришма атомлари концентрацияси кремнийда марганец атомларининг эрувчанлигига тенглашади.

### Натижалар ва муҳокама.

Марганец киришма атомлари билан ўта компенсирланган p- $Si\langle B, Mn \rangle$  намуналари технологик жараёнлари жуда яхши ўзлаштирилган термодиффузия усулида танланган барча бошланғич материаллари асосида электр ўтказувчанлик хили n ва p, солиштирма электр қаршиликлари  $\rho = 10^2 \div 10^5$  Ом·см бўлган  $Si\langle B, Mn \rangle$  намуналари олинди. Диффузия жараёнидан сўнг намуналарнинг сирт юзасида марганец атомларига тўйинган қатламни олиб ташлаш мақсадида, ҳар бир намунанинг барча сиртий томонларидан  $\approx 100$  мкм қалинликдаги қатлам карбид кремний кукуни ёрдамида силлиқлаш орқали олиб ташланиб, кимёвий ишлов берилди ва электрофизик параметрларини ўлчаш ишлари амалга оширилди. Марганец киришма атомлари билан ўта компенсирланган кремний p- $Si\langle B, Mn \rangle$  материални тавсифловчи асосий электрофизик параметрлари электр ўлчаш асосида аниқланиб, олинган экспериментал тадқиқот натижалари 1-жадвалда келтирилди.

Марганец киришма атомлари билан ўта компенсирланган кремний p- $Si\langle B, Mn \rangle$  материали асосида ҳарорат датчикларини тайёрлаш учун олдин намуналарнинг сиртига механик ва кимёвий ишлов берилиб, шундан сўнг метал контактини ҳосил қилиш мақсадида юқори вакуум шароитида  $T = 450-460$  °C ҳароратда қиздирилган ҳолатда кимёвий усулда  $d = 1-1,2$  мм сиртий қалинликда никел қатлами ўстирилди. Шундан сўнг кремний намуналари асосида олинган ҳарорат датчикларини махсус герметик корпусга жойлаштиришда асосий эътибор ишчи жисми намликдан, турли хилдаги механик ва кислоталарнинг таъсиридан сақланишига қаратилди.



1-жадвал.

**p-Si<B,Mn> намуналари солиштирма электр қаршилигининг бошланғич материалдаги бор (B) атомлари концентрациясига боғлиқлиги.**

Бошланғич кремний материалнинг русуми ва бор (B) элементи атомлари концентрацияси

Диффузия ҳарорати T, °C	КДБ-1 $N_B=2 \cdot 10^{16}$ см <sup>-3</sup>	КДБ-2 $N_B=10^{16}$ см <sup>-3</sup>	КДБ-4.5 $N_B=6 \cdot 10^{15}$ см <sup>-3</sup>	КДБ-10 $N_B=2 \cdot 10^{15}$ см <sup>-3</sup>	КДБ-100 $N_B=2 \cdot 10^{14}$ см <sup>-3</sup>
Марганец атомлари диффузиясидан сўнг Si<B,Mn> намуналарининг солиштирма электр қаршиликлари ва ўтказувчанлик хили.					
	$\rho$ (Ом см)	$\rho$ (Ом см)	$\rho$ (Ом см)	$\rho$ (Ом см)	$\rho$ (Ом см)
1050	65, p - тур	$1 \cdot 10^2$ , p - тур	$3 \cdot 10^2$ , p - тур	$2 \cdot 10^5$ , p - тур	$1.6 \cdot 10^3$ , n - тур
1100	80, p - тур	$6 \cdot 10^3$ , p - тур	$1.6 \cdot 10^5$ , p - тур	$9.2 \cdot 10^3$ , n - тур	$4 \cdot 10^2$ , n - тур
1150	$1,2 \cdot 10^3$ , p - тур	$8 \cdot 10^4$ , n - тур	$2.3 \cdot 10^4$ , n - тур	$1.4 \cdot 10^2$ , n - тур	60, n - тур
1200	$3,4 \cdot 10^4$ , p - тур	$5 \cdot 10^3$ , n - тур	$7.5 \cdot 10^2$ , n - тур	$8.5 \cdot 10^3$ , n - тур	$5.8 \cdot 10^4$ , n - тур
1250	$1,2 \cdot 10^5$ , p - тур	$6,2 \cdot 10^2$ , n - тур	$8,3 \cdot 10^3$ , n - тур	$2,3 \cdot 10^4$ , p - тур	$6.2 \cdot 10^4$ , p - тур

Марганец киришма атомлари билан ўта компенсирланган кремний p-Si<B,Mn> материали асосида тайёрланган ҳарорат датчикларини тавсифловчи параметрлари мутлоқ бир хил термодинамик шароитда аниқланди ва олинган экспериментал натижалар қуйидаги 2-жадвалда келтирилди.

2-жадвал.

**Ҳарорат датчикларининг тавсифловчи асосий параметрлари.**

Марганец киришма атомлар концентрацияси (см <sup>-3</sup> )	Солиш-тирма электр қаршилиги (Ом·см)	Сезгирлик коэффи-циенти (В, К)	Ишчи ҳарорат оралиғи (К)	Иш режимини ўрнатиш ва қайта тиклаш вақти (с)		Гео-метрик ўлчами (мм)
				t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	
$N_{Mn} \approx 2 \cdot 10^{16}$	$\rho \approx 10^5$	7200-7300	200-480	10-12	15-16	1x1x0,5
	$\rho \approx 10^4$	6500-6600	200-480	10-12	15-16	1x1x0,5
	$\rho \approx 10^3$	6100-6200	200-480	10-12	15-16	1x1x0,5
$N_{Mn} \approx 2 \cdot 10^{15}$	$\rho \approx 10^5$	6300-6350	200-480	13-15	20-25	1x1x0,5
	$\rho \approx 10^4$	5600-5700	200-480	13-15	20-25	1x1x0,5
	$\rho \approx 10^3$	5100-5150	200-480	13-15	20-25	1x1x0,5
$N_{Mn} \approx 2 \cdot 10^{14}$	$\rho \approx 10^5$	3800-3820	200-480	16-18	26-28	1x1x0,5
	$\rho \approx 10^4$	3200-3250	200-480	16-18	26-28	1x1x0,5
	$\rho \approx 10^3$	2200-2250	200-480	16-18	26-28	1x1x0,5

Жадвалда келтирилган экспериментал тадқиқот натижаларининг таҳлили шуни кўрсатдики, марганец киришма атомлари билан ўта компенсирланган кремний p-Si<B,Mn> материали асосида тайёрланган ҳарорат датчикларининг сезгирлик даражаси ва ишлаш тезлиги асосан электр фаол марганец киришма атомларининг концентрациясига боғлиқ бўлиб, материални олишнинг технологик жараёнида марганец киришма атомлари концентрациясини ўзгартириш орқали ҳарорат датчикларини тавсифловчи асосий параметрларини бошқариш мумкин.

**Хулоса.** Мақолада асосий тавсифловчи параметрлари экспериментал натижалар асосида тадқиқ қилинган ҳарорат датчиклари ҳозирги вақтда амалиётда қўлланилаётган





бошқа турдаги ҳарорат датчикларига нисбатан куйидаги афзаллик кўрсаткичлари билан фарқланади:

Ҳарорат ўзгаришига нисбатан сезгирлик даражаси 30-35 баробар юқори бўлиб, ишлаш тезкорлиги бўйича ҳам кескин фарқ қилади;

Ҳарорат датчикларининг муҳим хусусиятларидан яна бири - бу тавсифловчи асосий параметрларининг стабиллиги;

Ҳароратнинг катта  $T=150-420$  °C оралиғида нисбатан самарали ва ишончли ишлайди.

### Фойдаланилган адабиётлар рўйхати

1. А.Б.Саъдуллаев, Н.А.Курбанов. Влияние концентрации электроактивных атомов марганца на гальваноманнитные свойства кремния в условиях сильной компенсации. Российский научный журнал «Наука, техника и образование». Москва 2017 г. №3, стр. 14-16.
2. A.V. Sadullaev, A.P.Umirov. Influence of the concentration of nanoclusters of impurable manganese atoms on the parameters of auto-oscillation of the current. "EUROPEAN SCIENCE" 2019, №6, 6-10 p.
3. А.Б.Саъдуллаев и др. Влияние концентрации электроактивных атомов марганца на температурную область существования автоколебания типа температурно-электрической неустойчивости тока (ТЭН). "UNIVERSUM" 2022 г., №8 (101).
4. A.V. Sadullaev, B.A.Bobonazarov. Design Solutions of the Mechanism of Energy-Saving Direct and Indirect Drive for Magnetic Starters. IJITEE. Volume-9 Issue-3, January 2020.
5. А.Б.Саъдуллаев, Н.Ч.Узаков. Особенности создания высокочувствительных многофункциональных датчиков физических величин на основе кремния с нанокластерами марганца. Международная научно-практическая конференция. Science, education, innovation: topical issues and modern aspects. TALLIN, ESTONIA. 25-26.12.2021.
6. А.Б.Саъдуллаев, Б.Т. Шодиев. Об особенностях создания высокочувствительных многофункциональных датчиков на основе кремния с нанокластерами цинка. IX Международная научно-практическая конференция «ADVANCING IN RESEARCH, PRACTICE AND EDUCATION», 08-11 марта 2022 г., Флоренция, Италия, ст.177-178.
7. N.F. Zikrillaev. Power spectra of impurity in semiconductors in the condition of strong compensation. SSP-2004. 8-th International Conference Soled state physics, August 23-26, 2004, Almaty, Kazakhstan Abstracts Almaty-2004, pp-254-255.
10. А.Б.Саъдуллаев. Аномально большой магнетосопротивление в сильно компенсированном кремнии легированного марганцем. SSP-2004. 8-th International Conference Soled state physics, August 23-26, 2004, Almaty, Kazakhstan Abstracts Almaty-2004, pp-366-367.
11. А.Б.Саъдуллаев. Влияние концентрации электроактивных атомов марганца на фотоэлектрические свойства кремния в условиях сильной компенсации. «Наука, техника и образование». Москва 2016 г. №4, стр. 5-8.
12. A.V.Sa'dullaev, A.P.Umirov. Influence of the concentration of nanoclusters of imputable manganese atoms on the parameters of auto-oscillation of the current. Научный журнал Российской Федерации "EUROPEAN SCIENCE" 2019, №6, 6-10 p.
13. M.K. Bakhadyrkhanov, G.Kh. Mavlonov, S.B. Isamov, Kh.M. Iliiev, K.S. Ayupov, Z.M. Saparniyazova, and S.A. Tachilin. Transport Properties of Silicon Doped with Manganese via Low Temperature Diffusion //Inorganic Materials, 2011, Vol. 47, No. 5, pp. 479-483
14. М.К.Бахадырханов, Г.Х. Мавлонов, Х.М. Илиев. Угловая зависимость магнетосопротивления в кремнии при наличии нанокластеров атомов марганца // Узбекистон физика журнали т.16, №1. 2014 г. С. 46-50.
15. М.К.Бахадырханов, Х.М.Илиев, К.С. Аюпов, О.Э. Сатторов. Датчик магнитного поля на основе компенсированного кремния. // Письма в ЖТФ. – Санкт–Петербург, 2003. Т. 29. В. 17. С.8-16.