



MIRZO ULUG'BEK NOMIDAGI
O'ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI
JIZZAX FILIALI



KOMPYUTER IMLARI VA
MUHANDISLIK TEXNOLOGIYALARI
**XALQARO ILMIY-TEXNIK
ANJUMAN MATERIALLARI**
TO'PLAMI
1-QISM



26-27-SENTABR
2025-YIL



**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA'LIM, FAN VA
INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI**

**MIRZO ULUG'BEK NOMIDAGI O'ZBEKISTON MILLIY
UNIVERSITETINING JIZZAX FILIALI**



**KOMPYUTER IMLARI VA MUHANDISLIK
TEXNOLOGIYALARI**

*mavzusidagi Xalqaro ilmiy-texnik anjuman materiallari
to'plami
(2025-yil 26-27-sentabr)
1-QISM*

JIZZAX-2025

Kompyuter ilmlari va muhandislik texnologiyalari. Xalqaro ilmiy-texnik anjuman materiallari to‘plami – Jizzax: O‘zMU Jizzax filiali, 2025-yil 26-27-sentabr. 355-bet.

Xalqaro miqyosidagi ilmiy-texnik anjuman materiallarida zamonaviy kompyuter ilmlari va muhandislik texnologiyalari sohasidagi innovatsion tadqiqotlar aks etgan.

Globallashuv sharoitida davlatimizni yanada barqaror va jadal sur’atlar bilan rivojlantirish bo‘yicha amalga oshirilayotgan islohotlar samarasini yaxshilash sohasidagi ilmiy-tadqiqot ishlariga alohida e’tibor qaratilgan. Zero iqtisodiyotning, ijtimoiy sohalarni qamrab olgan modernizatsiya jarayonlari, hayotning barcha sohalarini liberallashtirishni talab qilmoqda.

Ushbu ilmiy ma’ruza tezislari to‘plamida mamlakatimiz va xorijlik turli yo‘nalishlarda faoliyat olib borayotgan mutaxassislar, olimlar, professor-o‘qituvchilar, ilmiy tadqiqot institutlari va markazlarining ilmiy xodimlari, tadqiqotchilar, magistr va talabalarning ilmiy-tadqiqot ishlari natijalari mujassamlashgan.

Mas’ul muharrirlar: DSc.prof. Turakulov O.X., t.f.n., dots. Baboyev A.M.

Tahrir hay’ati a’zolari: p.f.d.(DSc), prof. Turakulov O.X., t.f.n., dots. Baboyev A.M., t.f.f.d.(PhD), prof. Abduraxmanov R.A., p.f.f.d.(PhD) Eshankulov B.S., p.f.n., dots. Alimov N.N., p.f.f.d.(PhD), dots. Alibayev S.X., t.f.f.d.(PhD), dots. Abdumalikov A.A, p.f.f.d.(PhD) Hafizov E.A., f.f.f.d.(PhD), dots. Sindorov L.K., t.f.f.d.(PhD), dots. Nasirov B.U., b.f.f.d. (PhD) O‘ralov A.I., p.f.n., dots. Alikulov S.T., t.f.f.d.(PhD) Kuvandikov J.T., i.f.n., dots. Tsot M.P., Sharipova S.F., Jo‘rayev M.M.

Mazkur to‘plamga kiritilgan ma’ruza tezislarining mazmuni, undagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjalarning to‘g‘riligi hamda tanqidiy fikr-mulohazalar, keltirilgan takliflarga mualliflarning o‘zlari mas’uldirlar.

ВЗАМОДЕЙСТВИЕ ПРИМЕСНЫХ АТОМОВ Ni И Cu НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРЕМНИЕВЫХ ДАТЧИКОВ

Нормуратов Каҳрамон Тогаймуратович

старший преподаватель филиала Астраханского государственного
технического университета в Ташкентской области

nqtnqt147@gmail.com

Аннотация: Определены проводимость и время жизни неравновесных носителей заряда примеси никеля в тензодатчиках из монокристаллического кремния. Установлен оптимальный режим протекания процесса диффузии. Показано, что генерация термодоноров подавляется взаимодействием примесей никеля и кислорода, вводимых при 500°C, и доказано это взаимодействие не влияет на образование высокотемпературных термодоноров, образующихся при 700°C.

Ключевые слова: кремний, химическое осаждение, диффузия никеля, удельное сопротивление, термообработка, тензодатчики, дефект, метод.

Применение Si:Ni в технологии вызывает большой интерес для использования его при изготовлении тензодатчиков. Широкое применение Ni в качестве легирующей примеси обосновывается как альтернатива дорогостоящему золоту при производстве быстродействующих высокочувствительных структур давлении [1]. Существуют различные способы легирования никеля в кремний и одним из них является химическое осаждение. Преимущества этого метода заключается в использовании энергоресурсосберегающей технологии; отсутствии необходимости применять вакуумную технику; снижении себестоимости продукции.

Кроме этого, данный метод позволяет получить продукцию с новыми характеристиками: многослойная металлизация кремния с варьируемой природой слоев металлов. Важнейшая стадия технологии – химическое осаждение из водного гипофосфитного раствора пленок никеля с включением небольшого количества фосфора, обеспечивающих прочное сцепление с кремнием, электропроводность поверхности пластин и возможность дальнейшего химического, электрохимического или контактного осаждения из растворов пленок никеля.

Для придания каталитической активности поверхности кремния в реакции химического осаждения никеля используют как палладиевую, так и беспалладиевую активацию. При подготовке пластин к нанесению пленок металлов проводят операцию травления кремния. Технические характеристики растворов и условий проведения операций: для травления кремния используют скоростные щелочные растворы либо кислые, содержащие фторид-ионы; для активации перед химическим никелированием используют нанесение из раствора палладиевого катализатора или проводят беспалладиевую активацию; длительность операций нанесения каждого слоя металла или сплава не превышает 5...7 мин; все растворы пригодны для многоразового использования.

Рабочая температура растворов в зависимости от их назначения 18...98 °C; в ряде случаев между отдельными операциями не требуется промывка водой [2].

Другой способ легирования заключается в формировании силицидов никеля методом вжигания пленки никеля в поликремниевую пленку, нанесенную на окисленный монокристаллический кремний, то есть методом магнетронного распыления. Для получения требуемого образца диффузионным способом пластинка кремния сперва легируется фосфором, а затем в вакууме методом магнетронного распыления на поликремний напыляется пленка никеля (500...1200 Å) [3].

Для исследования электрофизических свойств тензодатчиков из монокристалического кремния n- и p-типов проводимости, легированные примесью никеля методом диффузии использовали эффект Холла, в котором проводимости выполнялись по стандартной методике в режиме постоянного электрического и магнитного полей. Оптические свойства образцов кремния, легированного никелем, исследовались на спектральных приборах ближнего и среднего ИК-диапазона (0,75...25 мкм). В исследованиях использовали образцы монокристаллического кремния с плотностью дислокации $5 \cdot 10^{13} \dots 10^{15} \text{ см}^{-3}$ с исходной концентрацией примесей фосфора. Концентрация оптически активного кислорода в этих образцах составляла (1...8) 10^{17} см^{-3} , а углерода $\sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Никель вводился методом диффузии при температурах 1100...1250°C [4].

При этом исследовали влияние температуры диффузии и низкотемпературной обработки на спектр поглощения при комнатной и азотной температурах. Дифференциальный спектр поглощения снимался относительно отожженных контрольных образцов кремния без никеля. При этом особое внимание уделялось плоскопараллельности и полировке образцов. Толщина образцов составляла в пределах 1,5...4 мм. Для выявления корреляции между концентрацией кислорода и никеля в кремнии диффузия проводилась при температурах 1000...1370°C, что позволило регулировать концентрацию вводимого никеля в интервале $10^{16} \dots 7 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Концентрация введенного никеля определялась активационным методом.

При диффузионном легировании никелем кристаллов с удельным сопротивлением $\rho = 10 \dots 100 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ изменения электрофизических и оптических свойств образцов Si<Ni> при термическом отжиге установлено, что никель создает два акцепторных уровня с энергией $E_1 = E_v + 0,2 \text{ эВ}$ и $E_2 = E_c - 0,4 \text{ эВ}$ при концентрации введенного никеля $7 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. При этом атомы никеля находятся преимущественно в узлах кристаллической решетки в виде нейтральных атомов (Ni^0), одно- и двухзарядных ионов (Ni^+, Ni^-). Максимальная концентрация электроактивных атомов $N_{\text{Ni}} = 4 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$.

Электронейтральные атомы никеля (Ni^0 -3d⁸4s², Ni^+ -3d⁵4s²4p, Ni^- -3d⁸4s²3p²) перемещаясь по дислокациям, образуют комплексы с кислородом типа NiO_x , а также комплексы с другими дефектами. После поэтапной низкотемпературной диффузии никеля в объеме кремния образуются нанокластеры из атомов никеля, которые находятся в 3d¹⁰ - состоянии. Образование комплексов NiO_x нейтральными атомами никеля и нанокластеров из электроактивных атомов

никеля в сильнокомпенсированном кремния приводит к резкому повышению термостабильности характеристик за счет снижения концентрации термодефектов. Поскольку, концентрация электрически активных атомов этих примесей составляет $\sim 0,1\%$ от общей растворимости и не превышает 10^{14} см^{-3} , а в результате взаимодействия никеля с кислородом не образуются активные центры, то имеется реальная возможность использовать никель для получения термостабильных материалов. Для исследования влияния ТО на свойства некомпенсированного или слабо компенсированного кремния была проведена диффузия никеля в кремний p-типа с удельным сопротивлением $\rho=10\dots40 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ и n -типа с $\rho=10\dots40 \text{ Ом}\cdot\text{см}$. При этом температура диффузии выбиралась с таким расчетом, чтобы концентрация электрически активных атомов Ni была значительно меньше исходных мелких примесей, т.е. введение никеля не приводило к изменению параметров образца.

По данным холловских измерений, а также по спектрам ИК поглощения и рекомбинационного излучения центров, которые включают в свой состав атомы никеля, не было обнаружено. Полосы ФЛ при 0,861; 0,867 и 0,875 эВ ранее, согласно[4], связанные с дефектами, содержащими атомы Ni, проявлялись и в термообработанном нелегированном никелем материале и в кристаллах Si, содержащих примесь меди.

Из анализа результатов, полученных для высокочистого кремния после проведения на нем диффузии никеля, можно сформулировать следующие основные закономерности:

- увеличение удельного сопротивления материала наблюдается при повышении температуры диффузионного отжига, причем степень компенсации проявляет зависимость от аксиального расположения исследуемой пластины в слитке, определяющего содержание в ней основных фоновых технологических примесей (O, C и др.);
- уменьшение времени жизни неравновесных носителей заряда наблюдается при возрастании $T_{\text{диф.}}$: при $T_{\text{диф.}} > 960^\circ\text{C}$ τ снижалось в 2-3 раза, а наиболее заметное уменьшение данного параметра до $\sim (2\text{-}3)$ мкс проявлялось при температурах, превышающих 1000°C .

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют, что диффузионное введение примеси никеля в кремний, может быть использовано в качестве компенсирующей для n-Si. Экспериментальные исследования показывают, что образцы с максимальной концентрацией электрически активных атомов, равномерно легированных со стабильными параметрами энергетических уровней примесей, удается получить при длительности отжига 1,5…2 часа в зависимости от температуры отжига ($1000\dots1350^\circ\text{C}$). Верхний температурный предел определяется эффективными превращениями в системе Si-Ni, приводящими к "утрате" приповерхностным слоем никеля генерирующих свойств относительно фоновых технологических примесей: нижним распадом пересыщенного твердого раствора Ni в кремнии, происходящем в температурном интервале $600\dots700^\circ\text{C}$.

Использованная литература:

1. Насридинов С.С., Маннанов М.И., Соатов А.К., Ибодуллаев Ш.Н. Су атомлари билан легирланган кремний асосида терморезисторлар яратишнинг физик ва технологик имкониятлари. ФарПИ илмий-техник журнали. 2022 й. Том 26 №1, 22-26 бетлар.
2. Nasriddinov S.S., Esbergenov D.M. Kinetics of formation of complex defects in silicon doped with zinc and nickel. European Science Review Scientific journal № 1–2 2022 (January – February) 40-45.
3. Насридинов С.С., Маннанов М.И., Есбергенов Д.М., Турсунметова З.А. Термоанемометрический резистор на основе кремния, легированного медью. НТЖ ФерПИ. 2022. Т.26. В.3.
4. Nasriddinov S.S., Khamrakulov A.K., Turaev M.R., Normuratov K.T., Saidova F.S. The effect of the cooling rate on the electrophysical properties of silicon load cells. SCIENCE AND WORLD International scientific journal № 3 (127), 2024.

CHIZIQSIZ TENGLAMALARNI TAQRIBIY YECHISHNING URINMALAR USULI TADBIQI

Ibrohimov J.B., Xoljigitov S.M.

O‘zbekiston Milliy universiteti Jizzax filiali

sobir2020@inbox.ru

Annotatsiya. Chiziqsiz tenglamalarda no’malumning darajasi uch va undan yuqori bo’lganda, shuningdek standart funksiyalar ishtirok etganda, biz bilgan usullar yordamida tenglamalarni yechib bo’lmaydi. Bu holda Urinmalar (Nyuton) usulini qo’llashga to’g’ri keladi. Biz bu usul haqida nazariy bilimlar, shunga doir misol yechib ko’rsatdik.

Kalit so‘zlar. Urinmalar usuli, boshlang‘ich yaqinlashish, yaqinlashish sharti, yagona yechim.

Aytaylik, $f(x)$ funktsiya $[a,b]$ oraliqda yagona $x=t$ yechimga ega bo’lsin. Urinmalar usulida tenglama ildizni hisoblash uchun

$$f(x)f''(x)>0 \quad (1)$$

shartni $[a,b]$ oraliqning chetilarida tekshiramiz. Bu shart oraliqning qaysi chetida bajarilsa, shu tarafdan urinmalar usulini qo’llash kerak. Bundan $f(a)f''(a)>0$ bo’lganda, ildizga boshlang‘ich yaqinlashishni chapdan $a_0=a$, aks holda o‘ngdan $b_0=b$ deb olinadi. Agar $f(a)f''(a)>0$ bo’lsa $x=t$ yechimning taqrifiy qiymatlaridan tuzilgan $\{a_n\}$ ketma-ketlik quyidagicha topiladi.([1]-[5])

$y=f(x)$ funktsiya grafigining $A(a, f(a))$ nuqtasiga urinma o’tkazamiz, so‘ngra bu urinmaning tenglamasini tuzamiz.

$$y-f(a)=f'(a)(x-a) \quad (2)$$

urinmaning OX o‘qi bilan kesishish nuqtasi $x=a_1$ —desak, bu nuqtada $y=0$ ekanligidan
 $0-f(a)=f'(a)(a_1-a)$
ni olamiz. Oxiridan esa