

## **ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ОБРАБОТОК НА СВОЙСТВА КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ГАДОЛИНИЙ**

**Ш.Н. Отахонова**

### **АННОТАЦИЯ**

*В последнее время кремния, легированный редкоземельными элементами (РЗЭ) привлекает все большее внимание исследователей как перспективный материал для электроники. Это обуславливается перспективой применения Si <РЗЭ> структур в кремнийвой электронике в качестве приборов.*

***Ключевой слов:** редкоземельными элементами, быстродиффундирующих примесей, концентрация носителей заряда, геттерирование Ni в кремнии.*

### **ABSTRACT**

*Recently, silicon doped with rare earth elements (REE) has attracted more and more attention of researchers as a promising material for electronics. This is due to the prospect of using Si <REE> structures in silicon electronics as devices.*

***Keywords:** rare earth elements, rapidly diffusing impurities, concentration of charge carriers, gettering of Ni in silicon.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Впервые методами меченых атомов, автордиографии, изотермической релаксации емкости и тока измерение проводимости и эффекта Холла установлено эффективное геттерирование золото в кремнии при совместной или последовательной диффузии редкоземельных элементов самария или гадолиния в кремний, в приповерхностных слоях кремния, где имеется область высокой концентрации элемента IIIA группы самария и гадолиния, а также в объеме кремния [1-3].

В [2] было обнаружено, что редкоземельные элементы (РЗЭ), нанесенные на поверхность кремния, выступают в процессе диффузионного отжига в качестве геттера быстродиффундирующих примесей, как присутствующих в объеме, так и проникающих с поверхности.

В настоящей работе исследована возможность геттерирование быстродиффундирующей примесей в кремнии при помощи РЗЭ гадолиния. Выбор гадолиния обусловлен малыми коэффициентами диффузии в кремнии ( $D \sim 10^{-13} \text{ см}^2 \times \text{с}^{-1}$  при  $T = 1200^\circ\text{C}$ ) [4-5], что обеспечивает неглубокое проникновение гадолиния в объем пластины кремния за время диффузионного

отжига, которое удовлетворяет требования для выбора примеси – материала, используемого в практике в качестве геттера.

## ОБСУЖДЕНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Легирование проводилось диффузионным путем в течение двух часов при температуре  $T=1200^{\circ}\text{C}$ . Для исследований использовались образцы кремния марки КЭФ-15 с типичными размерами  $20\times 10\times 1\text{мм}^3$ . Образцы последовательно промывались для удаления неконтролируемых примесей с поверхности кремния в толуоле, ацетоне, царской водке, смеси  $\text{H}_2\text{O}_2 : \text{HCl}$  и дистиллированной воде. При этих же условиях отжигались и контрольные образцы.

После диффузии никель в кремний, проводившейся при  $T=1200^{\circ}\text{C}$  в течение двух часов, образцы промывались в  $\text{HF}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2:\text{HCl}$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , такая промывка обычно позволяет практически полностью удалять оставшийся на их поверхности источник диффузии, после чего с образцов химическим травлением удалялся слой толщиной до 150 мкм. Затем на одну из этих поверхностей напылялся гадолиний, при  $1200^{\circ}\text{C}$  в течение двух часов проводился диффузионный отжиг. После этого образцы вновь промывались в  $\text{HF}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2:\text{HCl}$ , царской водке и  $\text{H}_2\text{O}$  для удаления с поверхности окисного слоя и непродиффундировавшего диффузанта.

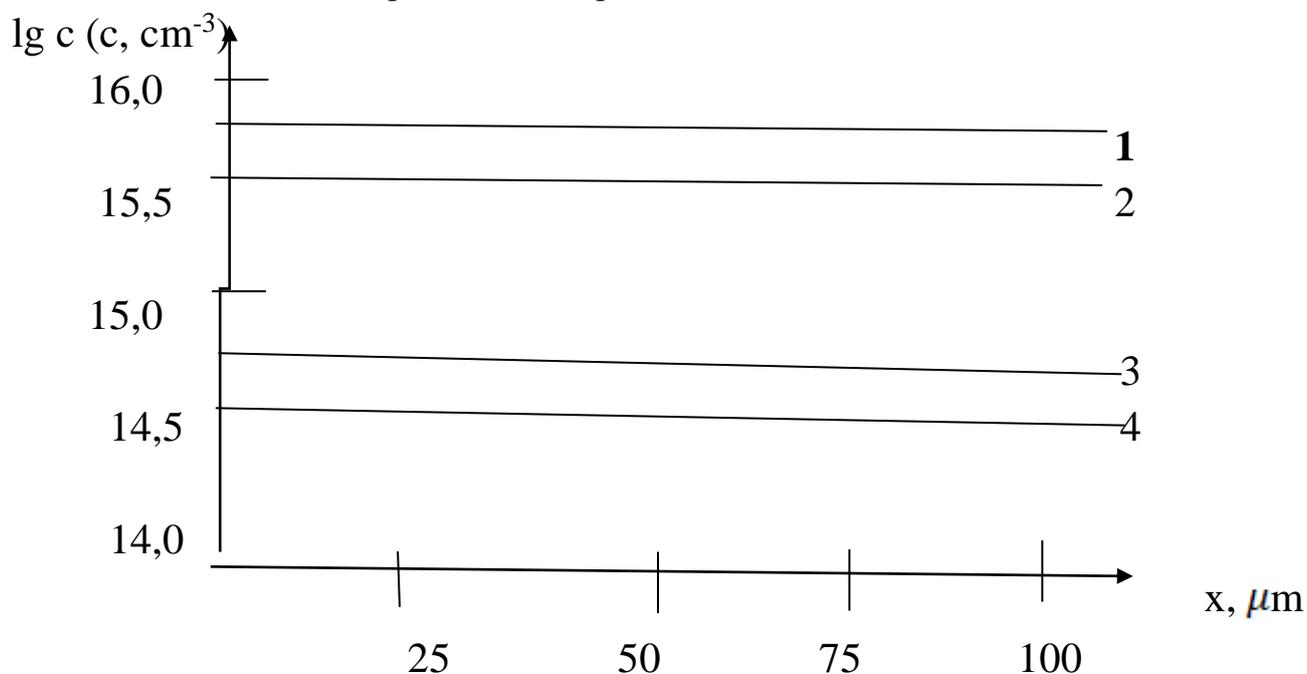
Профиль концентрации носителей заряда определялся методом стравливания тонких слоев (в растворе  $1\text{HF}:40\text{HNO}_3$ ) и измерения проводимости, а также эффектом Холла. Предполагалась полная ионизация примесей в кремнии, то есть считалось, что концентрация примесей никель а также гадолиния  $c(x)$  равна концентрации носителей заряда  $n(x)$  или  $p(x)$ ,  $c(x) = n(x)$  или  $p(x)$ . концентрация носителей заряда  $n(x)$  и  $p(x)$  определялась по формуле

$$n(x)\text{или } p(x) = \frac{1}{e} \frac{\left(\frac{d\sigma_s}{dx}\right)^2}{\frac{d}{dx}(R_s\sigma_s^2)}$$

Здесь  $R_s$ - измеряемый (эффективный) коэффициент Холла,  $\sigma_s$ -поверхностная проводимость,  $e$ -заряд электрона.

В первой серии (опыты по геттерированию  $\text{Ni}$  растворенного в объеме) образцы предварительно равномерно легировались быстродиффундирующей примесью  $\text{Ni}$ , а затем на одну из больших поверхностей напылялся металлический слой гадолиния и проводился отжиг.

Во второй серии опытов (геттерирование  $Ni$ , проникающего в объем при термообработке) на одну из больших поверхностей, не содержащего примеси, напылялось сперва  $Ni$  а потом  $Gd$ . Имелись контрольные образцы (без  $Ni, Gd$ ), а также те, на поверхность которых было напылено только  $Ni$ .



**Рис 1.** Концентрационное распределение  $Ni$   $c(x)$  в кремнии (после снятия слоя  $\sim 150$  мкм): 1-в кремнии при  $T= 1200^{\circ}C$ ,  $t=2$  час;

2-в контрольных образцах  $Si <Ni>$  (без слоя  $Gd$ ) после удаления слоя  $\sim 150$  мкм; повторный отжиг при  $T= 1200^{\circ}C$ ,  $t=2$  час;

3-в образцах  $Si <^{63}Ni>$  после повторного отжига при  $T= 1200^{\circ}C$ ,  $t=2$  час со слоем гадолиния (с предварительным удалением слоя  $\sim 150$  мкм, после диффузии  $Ni$ ); 4- в образцах  $Si <^{63}Ni+ Gd >$  распределение  $Ni$   $c(x)$ , совместная диффузия при  $T= 1200^{\circ}C$ ,  $t=2$  час.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате проведенных исследований показано эффективное геттерирование  $Ni$  в кремнии при совместной или последовательной диффузии гадолиния кремний, в приповерхностных слоях кремния, где имеется область высокой концентрации элемента IIIA группы – гадолиния, а также в объеме кремния. Радиографическим методом также установлено локальное геттерирование – экстракция  $Ni$  из объема с помощью локально напыленного на поверхность слоем гадолиния. Послойное радиографирование [1-3] показало, что при отжиге золото удаляется из локальной области под слоем металла гадолиния. Методом частотной

зависимости выпрямленного тока в исследуемых образцах установлено, что при диффузии гадолиний в кремний, легированный  $Ni$ , значения времени жизни неосновных носителей заряда в объеме увеличиваются в  $\sim 5-10$  раз[4]. Результаты исследований ИК-поглощения в  $Si <P3Э>$  показывают, что эффективное взаимодействие  $P3Э$  с  $O$  в  $Si$  начинается с концентраций

$N_{P3Э} \geq 5 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$ , что возможно указывает на наличие в объеме кремния включений второй фазы  $P3Э$ , а также силицидов  $P3Э$ , действующие как стоки для неконтролируемых и технологических примесей.

## REFERENCES

1. Зайнабиддинов С., Адамбаев К., Иминов А.А., Назыров Д.Э. Диффузия самария и гадолиния в кремнии//Uzbek journal of Physics. Т. 2002. -V.4(№1). - PP.66-68.
2. Назыров Д.Э. «Геттерирование золота самарием и гадолинием в кремнии» Электронная обработка материалов.2007. №3 стр. 77-81.
3. Малкович Р.Ш., Назыров Д.Э. Геттерирование быстро диффундирующих примесей в кремнии редкоземельными элементами// Письма в журнал технической физики. 1988. Т. 15. В. 4. Стр.38-40.
4. Атаханова Ш.Н., Бобохужаев К.У., Болтаев С., Каримов М., Ёкуббаев А., Рахматов Ж.А. Влияние термических отжигов на свойства кремния, легированного редкоземельными элементами. «Физика фанининг бугунги ривожиди истеъдодли ёшларнинг урни». Т. 27-28 апрель 2012 г. С.168-172.
5. Зайнабиддинов С., Назыров Д.Э., Атаханова Ш.Н., Бобохужаев К.У., Назырова Д.Д. радиационное дефектообразование в кремнии, легированного редкоземельными элементами. Международная конференция «Актуальные проблемы физической электроники». Т. 28 ноября 2012 г. С. 75-77.