Uzbek Journal of Physics

Vol.21(№5) 2019 PP.332-334

ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЕ ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМ ОТЖИГЕ КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО КОБАЛЬТОМ

Ш.Б. Утамурадова, З.О. Олимбеков

Научно-исследовательский институт физики полупроводников и микроэлектроники при Национальном университете Узбекистана, sh-utamuradova@yandex.ru

(Получена 23.01.2019)

Чуқур сатҳлар ностационар сиғимли спектроскопияси усули ёрдамида кобальт атомлари билан легирланган кремнийда паст ҳароратли чуқур сатҳларни қуйдириш жараёнлари ўрганилган. 300°C дан юқори температурада термик ишлов бериш натижасида чуқук сатҳларнинг концентрацияси камайиши аниқланган. Кузатилган чуқур сатҳларнинг қуйдиришни фаоллаштириш энергияси аниқланган.

С помощью нестационарной емкостной спектроскопии глубоких уровней исследованы процессы низкотемпературного отжига глубоких уровней в кремнии, легированном атомами кобальта. Показано, что в *n*-Si<Co> при термообработке при 300°C концентрации всех уровней значительно уменьшаются. Определены энергии активации отжига для всех наблюдаемых уровней в *n*-Si<Co>.

The processes of low-temperature annealing of deep levels in silicon doped with cobalt atoms are investigated by means of deep level transient spectroscopy. It is shown that in *n*-Si<Co> during heat treatment at 300°C concentrations of all levels are significantly reduced. Annealing activation energies for all observed levels in *n*-Si<Co> were determined.

Известно, что наименее изученной примесью среди примесей Т-ионов в кремнии является кобальт и нет однозначного мнения о глубоких уровнях (ГУ), создаваемых Co в Si и о поведении его атомов в решетке кремния. Так, по данным авторов [1-2] с атомами Co в Si связаны глубокие уровни E_v+0.21 эВ, E_v+0.33 эВ. Авторы [3-4] приводят другой спектр ГУ для Co: E_c–0.41 эв и E_v+0.21 эВ. Отметим, что сечения захвата на эти ГУ у разных авторов отличаются более чем на два порядка.

В работе [5] нами было установлено, что диффузионное введение кобальта в кремний приводит к образованию четырех глубоких уровней с фиксированными энергиями ионизации: E_c–0.20 эВ, E_c–0.33 эВ, E_c–0.45 эВ и E_c–0.54 эВ с сечениями захвата носителей заряда $\sigma_n=4\times10^{-17}$ см^2, $\sigma_n=2\times10^{-15}$ см^2, $\sigma_n=1.1\times10^{-15}$ см^2 и $\sigma_n=1.5\times10^{-15}$ см^2 соответственно. Было показано, что в образцах *p*-Si<Co> наблюдается лишь один уровень в нижней половине запрещенной зоны E_v+0.32 эВ с сечением захвата носителей заряда $\sigma_p=2\times10^{-16}$ см^2.

Примеси, создающие глубокие энергетические состояния в запрещенной зоне кремния, как правило, обладают высокой миграционной способностью, и поэтому зачастую ответственны за наблюдаемую нестабильность твердых полупроводниковых растворов [6, 7].

В связи с этим цель настоящей работы – исследовать процессы низкотемпературного отжига глубоких уровней кобальта в кремнии с помощью нестационарной емкостной спектроскопии глубоких уровней (DLTS).

Технология изготовления образцов Si<Co> путем диффузионного легирования и создание барьеров Шоттки детально изложены в работе [5]. Низкотемпературный изотермический отжиг образцов кремния, легированного кобальтом, проводили в интервале температур 100–400°C на воздухе с последующим охлаждением образцов в воде. После каждого цикла отжига определяли концентрацию и параметры каждого глубокого уровня.

Измерения спектров DLTS образцов Si<Co> показали, что глубокие уровни, связанные с атомами кобальта, стабильны до 200°C, дальнейшее повышение температуры изотермического отжига приводит к снижению концентрации наблюдаемых ГУ. На рис. 1 приведены спектры DLTS *n*-Si<Co> после низкотемпературной обработки при 300°C.

Изучение кинетики низкотемпературного отжига (НТО) образцов кремния, легированных примесью кобальта, показало, что атомы Co, как и остальные примеси переходных элементов [6, 7], обладают высокой миграционной способностью, поэтому параметры создаваемых ими глубоких центров (ГЦ) нестабильны.

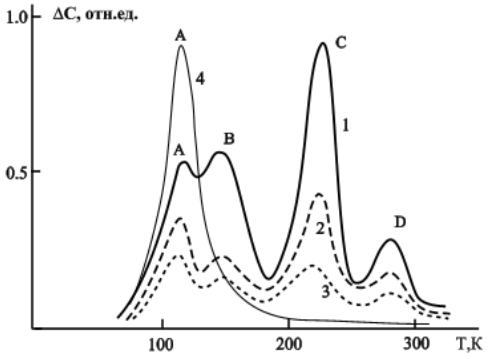


Рис. 1. Спектры DLTS образцов *n*-Si<Co>, подвергнутых низкотемпературному отжигу при 300°C: после диффузии (*1*), после отжига при 300°C, 60 мин (*2*), после отжига при 300°C, 120 мин (*3*), контрольный образец (*4*).

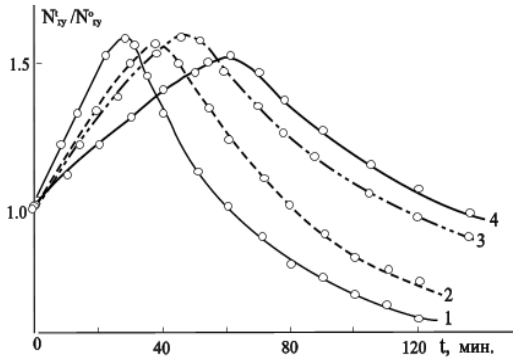


Рис. 2. Кинетика низкотемпературного отжига уровней кобальта в *n*-Si<Co> при 300°C: E_c–0.33 эВ (*1*), E_c–0.45 эВ (*2*), E_c–0.54 эВ (*3*), E_c–0.20 эВ (*4*).

Спектры DLTS показывают, что при изотермическом отжиге концентрации N_t почти всех обнаруженных ГУ кобальта E_c–0.33 эВ (пик B), E_c–0.45 эВ (пик C) и E_c–0.54 эВ (пик D), а также уровня термодефекта E_c–0.20 эВ (пик A) изменяются немонотонно со временем отжига (рис. 2). Как видно из рис. 2, отжиг уровней происходит в две стадии – концентрации всех уровней при малых временах возрастают, затем падают, причем уровни E_c–0.33 эВ и E_c–0.45 эВ отжигаются быстрее остальных уровней. Следует отметить, что с увеличением температуры отжига максимумы на зависимости $N_t(t)$ смещаются в сторону меньших времен.

Методом сечений [8] оценена энергия активации отжига обнаруженных уровней кобальта согласно выражению:

$$\ln\frac{t_1}{t_2} = \frac{E_{отж}}{K}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right),$$

где t_1 и t_2 – времена, необходимые для уменьшения концентрации ГУ до определенного (одинакового) значения при температурах T_1 и T_2 ($T_1<T_2$).

Расчеты показали, что энергия активации отжига для уровня кобальта в кремнии E_c–0.33 эВ составляет 0.50±0.02 эВ, для E_c–0.45 эВ – 0.53±0.02 эВ, для E_c–0.54 эВ – 1.7±0.02 эВ, а для уровня термодефектов E_c–0.20 эВ она составляет 1.6±0.02 эВ.

Таким образом, результаты низкотемпературного отжига глубоких уровней в кремнии, легированном кобальтом, показали, что кинетика распада твердого раствора кремний-кобальт определяется не одним центром, как сообщалось в [1-2], а несколькими ГУ одновременно. При этом необходимо учитывать глубокие уровни, связанные с дефектами термообработки. Характер отжига уровня E_c–0.20 эВ в легированных и контрольных образцах совпадает, это свидетельствует о том, что ГУ E_c–0.20 эВ в n-Si<Co> не связан с кобальтом, а является термодефектом.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Б.И. Болтакс, М.К. Бахадырханов, С.М. Городецкий, Г.С. Куликов. Компенсированный кремний (Ленинград, 1972).
2. Л. Милнс. Примеси с глубокими уровнями в полупроводниках (Москва, Мир, 1977).
3. К. Рейви. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии. Пер. с англ. (Москва, Мир, 1984).
4. Э.М.Омельяновский, В.И. Фистуль. Примеси переходных металлов в полупроводниках (Москва, 1983).
5. Sh.B. Utamuradova, Z.O. Olimbekov, World Journal of Engineering Research and Technology (WJERT) **4**, Issue 2, 139 (2018).
6. Физика и материаловедение полупроводников с глубокими уровнями. Под ред. В.И. Фистуля (Москва, 1987).
7. В.И.Фистуль, В.А. Шмугуров, ФТП **23**, в. 4, 677 (1989).
8. В.И.Фистуль. Распад пересыщенных полупроводниковых твердых растворов (Москва, Металлургия, 1977).