

Рассмотрим температурное изменение $\alpha(T)$, полагая $W=400 \text{ \AA}$, $H=30 \text{ кЭ}$. Величину ε_F можно определить из уравнения электронейтральности, полагая, что все доноры ионизованы, а $N_A=0$:

$$N_D = 2N_V + N_S. \quad (7)$$

Здесь N_V — концентрация электронов в объеме ПП, а N_S — концентрация $2D$ -электронов в СКЯ:

$$N_S = \nu/2\pi\lambda^2 W, \quad (8)$$

λ — магнитная длина.

При выбранных нами параметрах в СКЯ реализуются два размерных уровня $\varepsilon_1, \varepsilon_2$. Увеличение температуры приводит к уменьшению ее глубины Δ , при этом уровень ε_2 выходит из СКЯ при $T \sim 4 \div 5 \text{ К}$. Концентрация $2D$ -электронов меняется плавно, когда уровни расположены в СКЯ, и испытывает скачок, связанный с выходом уровня ε_2 из ямы. Коэффициент термоэдс ведет себя при этом немонотонно (рис. 1).

Изменение $\alpha(H)$ с увеличением магнитного поля при фиксированной температуре ($T=5 \text{ К}$) представлено на рис. 2. Из численного анализа следует, что с увеличением магнитного поля Δ растет. При этом начиная с поля $H \geq 25 \text{ кЭ}$ в СКЯ реализуется второй размерный уровень ε_2 , что приводит к резкому изменению концентрации $2D$ -электронов N_S . Термоэдс α при этом также резко изменяется.

Таким образом, в квантовых ямах с варьируемой глубиной возможны новые осцилляции кинетических коэффициентов $2D$ -носителей заряда, которые обусловлены немонотонным изменением концентрации двумерных носителей заряда в том случае, когда меняется число размерно-квантованных уровней в СКЯ.

Л и т е р а т у р а

- [1] Ляпилин И. И., Цидильковский И. М. // УФН. 1985. Т. 146. В. 5. С. 35—72.
- [2] Аскеров Б. М., Кулиев Б. М., Эминов Р. Ф. // ФНТ. 1977. Т. 3. В. 3. С. 344—349.
- [3] Streda P. // Phys. St. Sol. (b). 1984. V. 125. N 2. P. 849—860.

Институт физики металлов
УНЦ АН СССР
Свердловск

Получено 27.06.1988
Принято к печати 2.08.1988

ФТП, том 23, вып. 3, 1989

ВЛИЯНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИОДОВ С БАРЬЕРОМ ШОТТКИ

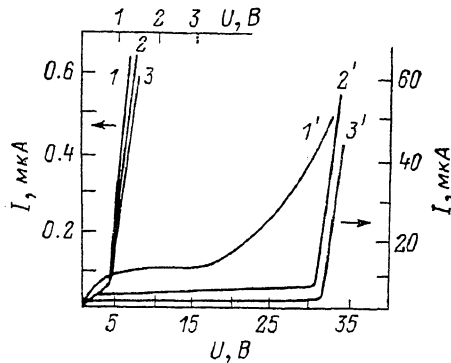
Скупов В. Д., Цыпкин Г. А., Шенгуров В. Г.

Обработка высоким гидростатическим давлением (ОВГД) — один из новых и перспективных методов управления структурным совершенством и физическими свойствами полупроводниковых материалов и композиций [1, 2]. Однако накопленный к настоящему времени экспериментальный материал носит преимущественно отрывочный, несистематический характер, что не позволяет конкретизировать природу процессов, протекающих в полупроводниках в условиях гидростатического сжатия, и соответственно прогнозировать результаты воздействия давлением. Такая ситуация, в частности, обусловлена и тем, что круг исследовавшихся объектов пока незначителен и охватывает главным образом гомогенные полупроводниковые структуры (диффузионные, имплантированные слои и гомоэпитаксиальные композиции). Вместе с тем представляет интерес (и прежде всего с точки зрения практического использования позитивных возможностей ОВГД), изучение необратимых изменений структурно-чувствительных свойств гетерогенных композиций, подвергнутых обработке давлением. В настоящей работе приводятся результаты исследований влияния ОВГД

на вольтамперные характеристики (ВАХ) выпрямляющих контактов металл-полупроводник.

Исследования выполнялись на кремниевых эпитаксиальных структурах. полученных газотранспортным хлоридным методом (6КЭФ-1.3/250ЭКЭС-0.01). Структуры подвергались стандартной химической обработке перед осаждением в вакууме при 520 К омического контакта Ti—Au ($d_{Ti}=0.05$ и $d_{Au}=0.1\div 0.2$ мкм) со стороны подложки и формирования барьера Шоттки на поверхности эпитаксиального слоя. Барьер создавался вакуумным напылением на установке УВН-2М-1 золота ($d_{Au}=0.13$ мкм) на холодную структуру через молибденовую маску с круглыми отверстиями диаметром 500 мкм. Измерения ВАХ проводились на характеристикографе TR-4801.

Обработка структур гидростатическим давлением в смеси деионизованной воды с изопропиловым спиртом осуществлялась на установке, аналогичной использовавшейся в [1, 2], в режимах непрерывного и импульсного нагружения. В первом случае давление в рабочей камере с об-



Прямые ($I-3$) и обратные ($I'-3'$) вольтамперные характеристики барьеров Шоттки Au—Si до (I, I') и после ОВГД в непрерывном ($2, 2'$) и в импульсном ($3, 3'$) режимах.

разцами поднимали до 0.5 ГПа и выдерживали в течение 10 мин, а во втором — после подъема давления на уровень 0.3 ГПа его периодически с частотой 0.1 Гц сбрасывали и поднимали на 50 МПа относительно среднего.

На рисунке приведены типичные осциллограммы ВАХ структур с барьером Шоттки Au—Si до (кривые I и $1'$) и после (кривые $2, 2'$ и $3, 3'$) обработки давлением. Видно, что в результате ОВГД характеристики диодов (и прежде всего обратные ветви ВАХ) существенно улучшились. В частности, обратные токи уменьшились с 20 до ≤ 2 мкА, а напряжения пробоя возросли до 30–35 В, причем «вход» ВАХ в пробой стал достаточно резким. Из сопоставления ВАХ (кривые 2 и 3) следует, что наиболее эффективна обработка давлением в импульсном режиме.

Основными причинами улучшения характеристик подвергнутых ОВГД диодов с барьером Шоттки, по-видимому, являются снижение плотности кристаллографических дефектов типа примесных кластеров [3, 4] в эпитаксиальном слое полупроводника в области пространственного заряда и уменьшение числа связанных с ними уровней в запрещенной зоне. В условиях всестороннего сжатия из-за нарушения равновесия в подсистеме собственных точечных дефектов полупроводникового материала возможно частичное или полное растворение кластеров [4]. Такому процессу способствуют неоднородные упругие напряжения, возникающие в структурах из-за различия упругих постоянных металлических пленок на поверхности кремния, а также динамические поля напряжений, обусловленные флуктуациями давления ($\sim 2\div 3\%$) передающей его среды в рабочей камере гидростатической установки. Динамическая составляющая внутренних напряжений стимулирует работу источников и стоков точечных дефектов [5], следствием чего является, в частности, возникновение упругих волн в кристалле [6], дополнительно активирующих процесс уменьшения концентрации исходных структурных дефектов. Это подтверждается тем, что при импульсном нагружении гидростатическим давлением растворение примесно-дефектных кластеров протекает интенсивнее, чем при статической ОВГД [4].

Л и т е р а т у р а

- [1] Кучуков Е. Г., Шаповалов В. П., Стадник Г. А. // ФТП. 1979. Т. 13. В. 10. С. 2012–2014.
 [2] Бураго Н. Н., Скупов В. Д., Скупова Т. Н., Цыпкин Г. А. и др. // Физика и техника высоких давлений. 1985. № 20. С. 30–34.

- [3] Багавин В. В., Друшков А. П., Гарнак А. Е. и др. // Микроэлектрон. 1980. Т. 9. В. 3. С. 282—284.
- [4] Бурого Н. Н., Скупов В. Д., Скупова Т. Н., Цыпкин Г. А. // Физика и техника высоких давлений. 1987. № 24. С. 38—41.
- [5] Алехин В. П. Физика прочности и пластичности поверхностных слоев материалов. М., 1983. 280 с.
- [6] Павлов П. В., Скупов В. Д., Тегельбаум Д. И. // Тез. докл. XVI Всес. совещ. по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами. М., 1986. С. 141.

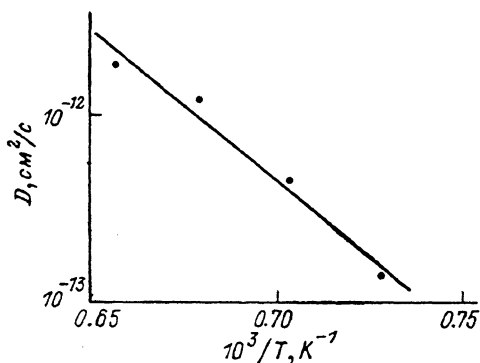
Получено 14.06.1988
Принято к печати 19.10.1988

ФТП, том 23, вып. 3, 1989

ДИФФУЗИЯ СКАНДИЯ В КРЕМНИИ

Азимов Г. К., Зайнабидинов С., Назыров Д. Э.

В настоящей работе впервые исследована диффузия скандия в кремнии. Источник диффузии создавался нанесением на шлифованную поверхность пластин кремния КЭФ-10÷1000 хлорида скандия, меченого радиоактивным изотопом ^{46}Sc (площадь образцов $\sim 2.5 \text{ см}^2$, толщина $\sim 350 \text{ мкм}$). Диффузия проводилась на воздухе в интервале $1100\div 1250 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 5—30 ч. После диффузионного отжига образцы промывались в HF и в кипящей смеси



$\text{H}_2\text{O}_2 : \text{HCl}$. Профиль скандия определялся методом снятия тонких слоев (0.1—0.5 мкм, в растворе $1\text{HF} : 40\text{HNO}_3$ с последующей промывкой в кипящей смеси $\text{H}_2\text{O}_2 : \text{HCl}$) и измерения остаточной γ -активности образца. Толщина слоев определялась взвешиванием. Авторадиограммы, полученные до и после отжига, а также в процессе снятия

Температурная зависимость коэффициента диффузии скандия в кремнии.

слоев, свидетельствовали о равномерном распределении скандия по сечению образца и об отсутствии включений.

Для определения коэффициента диффузии D экспериментальная кривая остаточного количества примеси $Q(x)$ сопоставлялась с теоретической для диффузии из постоянного источника [1]:

$$Q(x) = 2c_0 \sqrt{Dt} \operatorname{ierfc}(x/2\sqrt{Dt})$$

(c_0 — поверхностная концентрация).

Как следует из полученных данных, коэффициент диффузии скандия в кремнии увеличивается по мере роста температуры от $\sim 1.4 \cdot 10^{-13}$ до $\sim 1.9 \cdot 10^{-12} \text{ см}^2/\text{с}$. Поверхностная концентрация скандия составляет при этом величину $\sim 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Температурная зависимость коэффициента диффузии (см. рисунок) может быть описана соотношением

$$D = 8 \cdot 10^{-2} \exp(-3.2 \text{ эВ}/kT) \text{ см}^2/\text{с}.$$

Таким образом, для скандия характерны малые значения коэффициента диффузии, как и для других элементов III группы, диффундирующих в кремнии по вакансионному механизму [2, 3].

Авторы выражают признательность Г. С. Куликову и Р. Ш. Малковичу за содействие в работе и обсуждение результатов.