

Исследования проводились на Si, ZnO, CdTe, CdS, GaAs и для этих материалов характерно значительное повышение фоточувствительности с ростом концентрации электролита. В качестве примера на рисунке приведены результаты, полученные при контактировании Si, CdS, ZnO с водным электролитом H_2SO_4 . Разумеется, однако, что в каждом случае необходим подбор электролита, не приводящего к коррозии или фотокоррозии и обеспечивающего оптимальный изгиб зон.

В заключение отметим, что наблюдающееся значительное увеличение фоточувствительности можно использовать при разработке конструкций фотосопределителей, фотоприемников, солнечных фотоэлементов и т. д.

Список литературы

- [1] Рывкин С. М. Фотозлектрические явления в полупроводниках. М., 1963. 494 с.
- [2] Арутюнян В. М. Фотоприемники и фотопреобразователи / Под ред. Ж. И. Алфёрова, Ю. В. Шмарцева. Л., 1986. С. 253—288.

Ереванский государственный университет

Получено 6.02.1989
Принято к печати 9.06.1989

ФТП, том 23, вып. 11, 1989

ВЛИЯНИЕ ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКИ НА КИНЕТИКУ РАСПАДА ТВЕРДОГО РАСТВОРА ХРОМА В КРЕМНИИ

Карзанов В. В., Павлов П. В., Демидов Е. С.

Ранее [1] было показано, что имплантация ионов с энергией в десятки кэВ существенно влияет на скорость релаксации твердого раствора хрома или железа в кремнии за зоной торможения внедряемых ионов. Однако кинетика распада твердого раствора, роль дислокаций и других дефектов при этом практически не изучались. В настоящей работе предпринята попытка частично восполнить этот пробел исследованием стимулированного ионным облучением распада твердого раствора хрома в кремнии. Примесь хрома является в этом отношении удобным объектом, так как для нее, как известно, в зарядовом состоянии Cr^{+} при 77 К легко наблюдается характерный для состояния $^6S_{7/2}$ спектр ЭПР с $g=1.998$ [2] и хорошо изучены энергетические уровни, привносимые хромом в запрещенную зону кремния [3, 4].

В качестве исходного материала использовались полированные пластины кремния марки КДБ-7.5 толщиной 0.7 мм, ориентированные в плоскости (111). Из пластин вырезались образцы размерами 0.5×1.5 см. Перед легированием хромом с их поверхности химически удалялся слой ~ 50 мкм. Хром вводился в кристаллы методом диффузии в вакуированных кварцевых ампулах из порошка Cr_2O_3 при температуре $1250^\circ C$ в течение 1.5 ч. После окончания диффузии производилась закалка путем сбрасывания ампул в воду. Легированные хромом образцы подвергались опять травлению: с поверхности удалялось около 100 мкм. Низкотемпературные изотермические отжижки производились в интервале температур $220 \div 280^\circ C$. Изучение кинетики распада твердого раствора хрома в кремнии осуществлялось методами ЭПР и эффекта Холла. В свежеприготовленных образцах температурные зависимости постоянной Холла определялись донорным уровнем хрома с энергией активации электронов $E_c - 0.225 \pm 0.03$ эВ и фактором вырождения $g=1/3$, что совпадает с данными [4]. При низкотемпературных отжигках через 1—5 мин (в зависимости от выбранной температуры) уровень Ферми оказывался значительно ниже уровня хрома и, таким образом, по спектрам ЭПР иона Cr^{+} можно было определить полную кон-

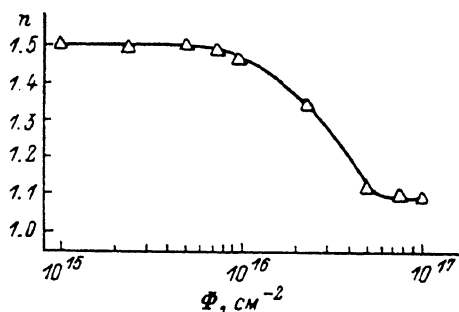
центрацию электрически активных атомов хрома, находящихся в тетраэдрических междоузлиях. Общая продолжительность отжигов была не менее 30 мин.

Облучение ионами аргона производилось при энергии 40 кэВ с плотностью ионного тока $1.04 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ в интервале доз $\Phi = 10^{15} \div 10^{17} \text{ см}^{-2}$. Для исключения перегрева образцов при имплантации они приклеивались к массивной мишени индий-галлиевой пастой, благодаря чему их температура при облучении не превышала 50°C . После бомбардировки с облученной стороны образцов стравливался слой $\sim 5 \text{ мкм}$.

В ходе исследований было установлено, что в свежеприготовленных образцах, не подвергавшихся облучению, кинетика распада твердого раствора Si—Cr в изучаемом интервале температур описывается соотношением [6]

$$N = N_0 \exp [-(t/\tau)^n], \quad (1)$$

где N_0 — концентрация примесных атомов хрома до начала распада, N — их концентрация, оставшаяся в растворе к моменту времени t , τ — постоянная времени процесса распада, $n=3/2$ на начальном этапе распада и $n=1$ при $N < 0.3 N_0$. Такие значения n в (1) соответствуют диффузионно-лимитированной преципитации примеси на глобулярных зародышах [6]. Отметим, что этот



Зависимость параметра n в уравнении (1) от дозы облучения ионами Ag^+ для кристаллов Si(Cr).

результат отличается от данных [7], где в том же температурном интервале для образцов с такими же содержанием кислорода и плотностью дислокаций было получено $n=5/2$. В наших экспериментах участок с $n=5/2$ на кинетических кривых появлялся на начальном этапе распада после длительного хранения легированных хромом образцов (около месяца) при комнатной температуре.

После облучения ионами Ag^+ зависимость концентрации ионов Cr⁺ от времени отжига также описывалась уравнением (1), но величины параметра n здесь уменьшались от $3/2$ до 1 с ростом дозы облучения (см. рисунок). Как видно из рисунка, это уменьшение происходило при дозах $\Phi > 10^{16} \text{ ион/см}^2$.

Для данного эффекта можно предложить следующее объяснение. В необлученных свежеприготовленных кристаллах в качестве глобулярных зародышей, на которых оседает выделяющийся из раствора хром, могут служить кластеры дефектов, содержащие атомы кислорода [8], появившиеся в результате высокотемпературной диффузии и резкой закалки. Роль центров преципитации могли бы выполнять и дислокации. При этом, согласно [9], при доминировании именно «дислокационной» преципитации параметр n был бы равен единице (1). Но поскольку концентрация сфероидальных зародышей намного выше, то именно на них происходит осаждение большей части примеси. С другой стороны, ионная имплантация при больших дозах облучения способна оказывать далекодействующее влияние на систему дефектов кристалла, в частности приводить к разрушению кластеров дефектов [10, 11]. Именно это и сказалось на кинетике распада твердого раствора Si—Cr в облученных образцах: концентрация глобулярных зародышей уменьшалась с ростом дозы в результате разрушения кластеров и соответственно возрастала роль дислокаций в процессе преципитации хрома, что в свою очередь проявилось в уменьшении параметра n от $3/2$ до 1 .

Список литературы

- [1] Павлов П. В., Демидов Е. С., Зорина Г. В. // ФТП. 1987. Т. 21. В. 6. С. 984—988.
- [2] Woodbury H. H., Ludwig G. W. // Phys. Rev. 1960. V. 117. N 1. P. 102—108.
- [3] Conzelman H., Graff K., Weber E. R. // Appl. Phys. (a). 1983. V. 30. N 3. P. 169—175.

- [4] Kunio T., Nishino T., Ohta E., Sakata M. // Sol. St. Electron. 1981. V. 24. N 12. P. 1087—1091.
- [5] Фистуль В. И. Распад пересыщенных полупроводниковых твердых растворов. М., 1977. 240 с.
- [6] Nam F. // J. Phys. Chem. Sol. 1958. V. 6. N 2. P. 335—351.
- [7] Бендик Н. Т., Гарнык В. С., Милевский Л. С. // ФТТ. 1970. Т. 12. В. 1. С. 190—194.
- [8] Colas E. G., Weber E. R., Hull R. // Mater. Sci. Forum. 1986. V. 10-12. N 3. P. 881—889.
- [9] Nam F. // J. Appl. Phys. 1959. V. 30. N 3. P. 1518—1524.
- [10] Семин Ю. А., Скупов В. Д., Тетельбаум Д. И. // Письма ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 3. С. 273—276.
- [11] Семин Ю. А., Скупов В. Д., Тетельбаум Д. И., Шенгуров В. Г. // Тез. докл. XVIII Всес. совещ. по взаимодействию заряженных частиц с кристаллами. М., 1988. С. 443.

Получено 3.03.1989
Принято к печати 9.06.1989

Горьковский исследовательский
физико-технический институт
ГГУ им. Н. И. Лобачевского

ФТП, том 23, вып. 11, 1989

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОПЛЕНИЙ КОМПЕНСИРУЮЩИХ ЦЕНТРОВ В n -Si

Витман Р. Ф., Витовский Н. А., Лебедев А. А.,
Машовец Т. В., Налбандян Л. В.

Сведения о характере распределения примесных атомов и дефектов структуры в кремнии очень важны, поскольку примесные и дефектные скопления существенно влияют на свойства изготавливаемых приборов. Образующиеся скопления дефектов могут иметь различные природу и тип электрической активности, размеры скоплений и концентрация дефектов в них также могут быть весьма различными; в соответствии с этим для исследования скоплений применяются различные методы [1—5].

В настоящей работе с помощью фотоэлектрического метода, описанного в [6—8], исследовались «микромасштабные» скопления компенсирующих центров в n -кремнии, характеризующиеся линейными размерами r_0 (не превышаю-

Атмосфера	$N_D \cdot 10^{14}$, см ⁻³	$N_A \cdot 10^{14}$, см ⁻³	$N_O \cdot 10^{16}$, см ⁻³	$N_C \cdot 10^{16}$, см ⁻³	Условия термообработки		
					T, °C	t, ч	v , °C/мин
Вакуум	2	0.2	2	0.9—1.1	450	24	10 ³
					630	24	10 ³
					700	24	10 ³
					800	24	10 ³
					900	24	10 ³
					900	48	10 ³
					900	96	10 ³
»	6.5	1	7—9	2—3.5	900	24	3
					900	24	0.6
					1000	24	10 ³
					1100	10	10 ³
					1300	3	10 ³
					1300	22	10 ³
					1300	22	10 ³
» Аргон	12	0.3	140 83—96	5	900	48	10 ³
					700	24	
					750	24	
					800	24	
					850	24	

Примечание. Материалы, полученные в вакууме, — из СССР, в аргоне — из ГДР.