

Кислородные преципитаты и формирование термодоноров в кремнии

© Н.В. Вабищевич, Д.И. Бринкевич, В.С. Просолович

Полоцкий государственный университет,
211440 Новополоцк, Белоруссия

(Получена 2 июня 1997 г. Принята к печати 7 июня 1997 г.)

Методами инфракрасной спектроскопии и измерений эффекта Холла установлено, что формирующиеся в процессе предварительной высокотемпературной обработки кислородные преципитаты подавляют генерацию термодоноров в Si, выращенном как методом Чохральского, так и путем наложения на расплав магнитного поля. Предложены возможные механизмы влияния преципитации на формирование термодоноров.

Известно, что на процессы формирования кислородсодержащих термодоноров (ТД) в Si существенное влияние оказывает предварительная термическая обработка кристаллов. Авторами [1,2] было показано, что даже кратковременный предварительный отжиг в диапазоне температур 530–800°C приводит к уменьшению концентрации центров зарождения данных дефектов. С другой стороны, в Si при высокотемпературной обработке (800–1100°C) формируются преципитаты кислорода (ПК), оказывающие существенное влияние на процессы взаимодействия дефектов и примесей в кристалле [3]. Однако влияние ПК на эффективность генерации ТД в настоящее время изучено недостаточно и представляет собой важный в практическом аспекте вопрос.

В работе использовались образцы, вырезанные из пластин бездислокационного Si с удельным сопротивлением 20 Ом·см, выращенного по методу Чохральского (Cz-Si), а также при наложении на расплав магнитных полей (M-Si). Параметры исследованных образцов представлены в таблице. С целью отжига термодоноров, возникающих в процессе роста, все образцы подвергались стабилизирующему нагреву при 650°C в течение 1 ч. Часть образцов подвергалась высокотемпературной термообработке (ВТО) в атмосфере водорода длительностью 5 ч при 925°C (Cz-Si) или 7 ч при 1000°C (M-Si).

Введение термодоноров осуществлялось на воздухе в ходе термообработки длительностью до 50 ч при температуре 450°C. Концентрация кислорода N_O в межзельном положении измерялась методом ИК-спектроскопии по интенсивности полосы поглощения 1106 см⁻¹. Содержание углерода в положении замещения для всех образцов не превышало 2·10¹⁶ см⁻³. Измерения эффекта Холла и проводимости осуществлялись по стандартной методике при комнатной температуре.

Проведение высокотемпературной термообработки снижает эффективность генерации термодоноров только в образцах с высоким содержанием кислорода (рис. 1). Характерно, что в образцах с $N_O < 7 \cdot 10^{17}$ см⁻³ начальная скорость введения и максимально достижимая концентрация ТД после указанной ВТО была даже несколько выше, чем в образцах, вырезанных из той же пластины, но не подвергавшихся предварительному высокотемпературному нагреву.

В процессе ВТО в образцах с высоким содержанием кислорода происходила интенсивная преципитация кислорода, причем скорость удаления данной примеси из междоузлий возрастает при увеличении N_O . Длительность высокотемпературной обработки выбиралась таким образом, чтобы концентрации междоузельного кислорода в образцах сравнивались (см. таблицу, образцы 1–3 и 4–5). Отмеченное обстоятельство позволило детально рассмотреть влияние кислородных преципитатов на генерацию ТД. Так, образцы 3 и 1, 2, а также 4 и 5 имели после проведения ВТО близкие по величине значения N_O , однако содержание в них ПК существенно различалось. В образцах 3 и 5 преобладающая доля кислорода находится в преципитатах ($\sim 8.3 \cdot 10^{17}$ и $\sim 4.8 \cdot 10^{17}$ см⁻³ соответственно). В образцах 1, 2 и 4 в процессе нагрева заметного удаления атомов данной примеси из междоузельного положения не наблюдалось (см. таблицу), и концентрация преципитатов близка к нулю. Характерно (рис. 2), что в образцах 3 и 5, содержащих ПК, эффективность введения ТД была значительно ниже, чем в образцах 1, 2 и 4, не содержащих преципитатов кислорода. Поскольку указанные образцы имеют идентичную термическую предысторию и не различаются по содержанию кислорода в междоузельном положении, можно сделать следующее заключение: кислородные преципитаты эффективно подавляют генерацию термодоноров, снижая как начальную скорость введения, так и максимально достижимую концентрацию ТД.

Предполагается [2,4], что формирование кислородсодержащих термодоноров происходит путем последовательного присоединения определенных структурных

Концентрация кислорода N_O в исследованных образцах

Образец	Тип образца	$N_O, 10^{17} \text{ см}^{-3}$	
		Исходный Si	ВТО Si
1	Cz-Si	5.55	5.32
2	Cz-Si	5.37	5.20
3	Cz-Si	13.5	5.21
4	M-Si	7.28	7.15
5	M-Si	12.0	7.20

Примечание. Cz — метод Чохральского, M — расплав в магнитном поле, ВТО — Si после высокотемпературной термообработки.

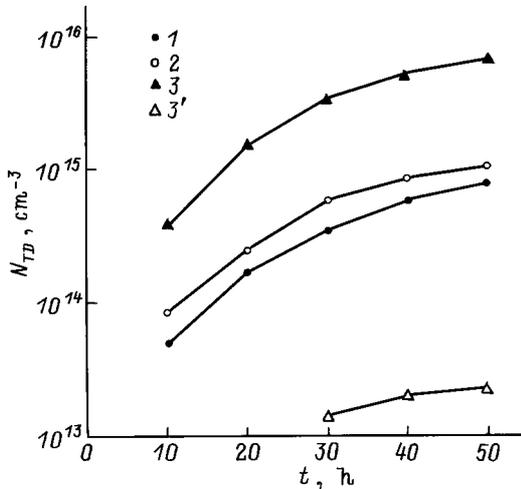


Рис. 1. Кинетические кривые генерации термодоноров в Cz-Si. Номера кривых соответствуют номерам образцов в таблице. Длительность высокотемпературного отжига t , ч: 1, 3 — 0; 1', 3' — 5.

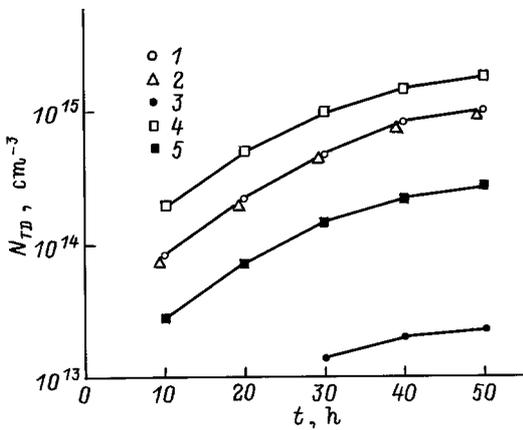


Рис. 2. Кинетические кривые накопления термодоноров в образцах, прошедших высокотемпературный отжиг. Номера кривых соответствуют номерам образцов в таблице. Концентрация кислорода, находящегося в преципитатах N_O^p , см^{-3} : 1, 2, 4 — ниже 10^{17} ; 3, 5 — свыше $4 \cdot 10^{17}$.

единиц к центрам зарождения ТД, в качестве которых могут выступать электрически неактивные комплексы, состоящие из 3 атомов кислорода. Природа подвижных частиц, участвующих в формировании термодоноров, к настоящему времени окончательно не установлена. Однако известно, что в их состав должен входить 1 атом кислорода. Ранее также отмечалось [5], что концентрация подвижных частиц не зависит от термической предыстории кристаллов, а определяется только величиной N_O .

Не исключено, что существует несколько механизмов, учитывающих влияние кислородных преципитатов на генерацию ТД. Так, априори можно утверждать, что длительная высокотемпературная обработка, сопровождающаяся интенсивной преципитацией кислорода, устраняет коррелированное распределение атомов кислорода, что

в итоге приводит к уменьшению центров зарождения термодоноров и существенному изменению их кинетики накопления [2].

Помимо этого, введение преципитатов может вести к появлению в кристаллах внутренних полей упругих напряжений. Такие поля могут изменять потенциальный рельеф вблизи центров зарождения и увеличивать энергетический барьер для захвата подвижных частиц этими центрами. Однако наиболее вероятным представляется "захват" подвижных частиц кислородными преципитатами, что исключает часть атомов кислорода из реакций образования термодоноров.

Список литературы

- [1] В.П. Маркевич, Л.И. Мурин, А.Г. Литвиненко. ФТП, **21**, 24 (1987).
- [2] V.P. Markevich, L.I. Murin. Phys. St. Sol. (a), **111**, K149 (1989).
- [3] К. Рейви. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии (М., Мир, 1984).
- [4] Д.И. Бринкевич, В.П. Маркевич, Л.И. Мурин, В.В. Петров. ФТП, **26**, 682 (1992).
- [5] В.П. Маркевич, Л.И. Мурин. ФТП, **25**, 262 (1991).

Редактор Т.А. Полянская

Oxygen precipitates and suppression of thermodonor generation in silicon

N.V. Vabishchevich, D.I. Brinkevich, V.S. Prosolovich

Polotsk State University,
211440 Novopolotsk, Belarus