

О ВЛИЯНИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПРЕДЫСТОРИИ НА ОБРАЗОВАНИЕ КИСЛОРОДНЫХ ДОНОРОВ В КРЕМНИИ

Бабицкий Ю. М., Васильева М. В., Гринштейн П. М.,
Ильин М. А., Ремизов О. А.

Исследовано влияние сечения слитка и условий предварительной термообработки на образование термодоноров в монокристаллах кремния.

В литературе имеется не очень обширная, но достаточно противоречивая информация о влиянии предварительных высокотемпературных обработок на образование термодоноров в кремнии при 300—500 °С [1-3, 5]. Поэтому представляло интерес получение дополнительной информации о влиянии термической предыстории на образование термодоноров в монокристаллах кремния. Кроме того, этот вопрос также важен с точки зрения перехода промышленности на получение монокристаллов диаметром 100 мм и более из больших загрузок. Такие слитки подвергаются достаточно длительному температурному воздействию в печи выращивания в ходе охлаждения от температуры кристаллизации. Исследование проводили на образцах, вырезанных из различных сечений выращенных методом Чохральского монокристаллов диаметрами 76, 100 и 150 мм.

Вначале остановимся на результатах, полученных на слитках диаметром ≥ 100 мм. После выращивания образцы отжигались 1 ч при температуре 650 °С с целью отжига «ростовых» термодоноров. Затем исследовалась кинетика начальной стадии образования термодоноров при 430 °С. На рис. 1 приведена зависимость начальной скорости генерации доноров от содержания кислорода для слитков разного диаметра. Из рис. 1 видно, что в кристаллах диаметром 100 мм термодоноры образуются более эффективно по сравнению с кристаллами диаметром 76 мм. По нашему мнению, такой результат является следствием различий в термической предыстории слитков, обусловленных неодинаковыми скоростью роста и темпом охлаждения кристаллов разного диаметра. Большой разброс данных для кристаллов диаметром ≥ 100 мм может быть связан с различием в термической предыстории образцов, вырезанных из разных сечений таких слитков, а также с различными режимами их вытягивания.

Таким образом, приведенные данные свидетельствуют о том, что различный темп охлаждения от температуры кристаллизации приводит к существенному отличию в скоростях образования термодоноров при 430 °С. Для проверки этого утверждения и получения дополнительной информации был проведен следующий эксперимент. Из одинаковых сечений слитков диаметром 100 мм с содержанием кислорода $(7-12) \cdot 10^{17}$ см⁻³ вырезали образцы, которые затем отжигали в течение 30 мин при температурах 750, 850, 950 и 1050 °С. После этого исследовали начальную стадию образования термодоноров при 430 °С. На рис. 2 приведена зависимость начальной скорости генерации термодоноров от температуры предварительного отжига для кристаллов с различным содержанием кислорода. Как следует из рис. 2, с повышением температуры предварительного отжига увеличивается и скорость образования термодоноров. Более детальные эксперименты показали, что этот эффект не зависит от месторасположения образца в слитке. Эти данные полностью согласуются с описанными выше.

Представляло интерес исследование наблюдаемого эффекта при других температурах генерации термодоноров. Результаты приведены на рис. 3 для образцов с содержанием кислорода $1.2 \cdot 10^{18}$ см⁻³, вырезанных из верхнего

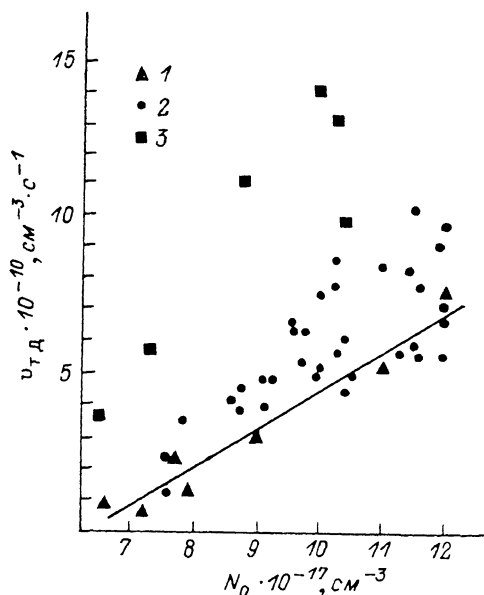


Рис. 1. Зависимость начальной скорости генерации доноров от содержания кислорода для слитков разного диаметра.

Диаметр, мм: 1 — 76, 2 — 100, 3 — 150.

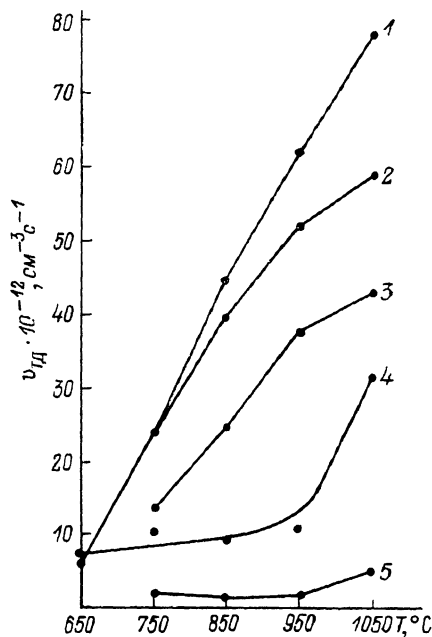


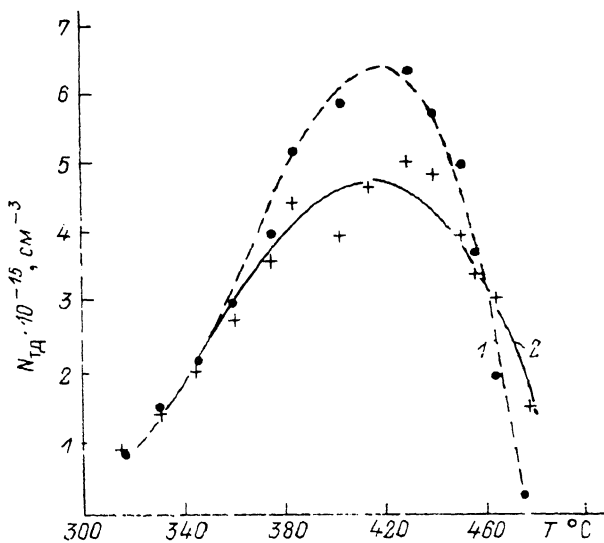
Рис. 2. Зависимость начальной скорости генерации доноров от температуры предварительного отжига для кристаллов с различным содержанием кислорода.

Содержание кислорода, см⁻³: 1 — $9.0 \cdot 10^{17}$, 2 — $1.04 \cdot 10^{18}$, 3 — $1.03 \cdot 10^{18}$, 4 — $1.15 \cdot 10^{18}$, 5 — $1.15 \cdot 10^{18}$.

сечения слитка. На рис. 3 представлена зависимость концентрации термодоноров от температуры термообработки длительностью 19 ч для двух режимов предварительного отжига: 950 °С, 30 мин — кривая 1 и 850 °С, 30 мин — кривая 2. Следует обратить внимание на тот факт, что эффект стимулирующего воздействия предварительного отжига на генерацию термодоноров проявляется лишь в относительно узком диапазоне температур: 390—450 °С. Поэтому представляло интерес исследовать температурную зависимость кинетики генерации термодоноров в образцах, прошедших различную предварительную обработку.

Рис. 3. Зависимость концентрации термодоноров от температуры термообработки длительностью 19 ч для двух режимов предварительного отжига.

1 — 950 °С, 30 мин; 2 — 850 °С, 30 мин.



Такие данные приведены на рис. 4 для предварительного отжига 950 °С, 30 мин. Из рис. 4 видно, что при низких температурах наблюдается двухстадийная кинетика

тика генерации термодоноров. С повышением температуры время начала второй стадии уменьшается, а при температурах более 430 °C имеет место уже одностадийная кинетика. Аналогичные результаты получены и для случая предварительного отжига 850 °C, 30 мин.

Таким образом, из приведенных результатов можно сделать вывод о том, что в монокристаллах кремния большого диаметра предварительная высокотемпературная обработка (как при охлаждении растущего слитка, так и специально проведенная) приводит к возрастанию скорости генерации низкотемпературных кислородных доноров. Известно, что при таких термообработках протекает

преципитация кислорода, сопровождающаяся эмиссией в объем кристалла собственных межузельных атомов кремния. Поэтому можно предполагать, что в результате взаимодействия атомов кислорода с межузельными атомами кремния диффузионная подвижность атомов кислорода возрастает. Такие предположения в литературе уже встречались [4].

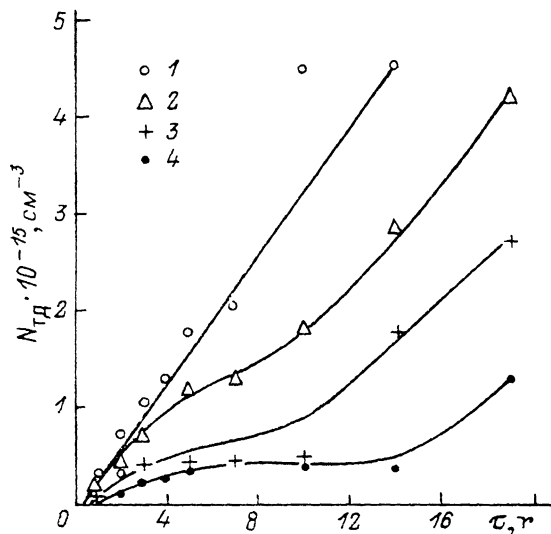


Рис. 4. Температурная зависимость кинетики генерации термодоноров в образцах, прошедших предварительную обработку при 950 °C, 30 мин.

T, °C: 1 — 430, 2 — 403, 3 — 375, 4 — 330.

С другой стороны, при всей неопределенности модельных представлений о структуре и механизме образования термодоноров большинство авторов предполагают наличие нескольких атомов кислорода в донорном комплексе. Можно было бы предположить, что создание при высокотемпературных обработках спектра комплексов кислорода также может ускорить образование термодоноров при последующих низкотемпературных обработках. Однако это противоречит классическим представлениям о распаде пересыщенных твердых растворов, так как при высоких температурах критический размер устойчивого зародыша достаточно велик и все мелкие скопления атомов кислорода должны растворяться.

Таким образом, наблюдаемые закономерности генерации низкотемпературных доноров довольно сложны для интерпретации и для их понимания необходимы дальнейшие эксперименты и теоретическая проработка.

Список литературы

- [1] Fuller C. S., Logan R. A. // J. Appl. Phys. 1957. V. 28. N 12. P. 1427—1436.
- [2] Capper P., Jones A. W., Wallhouse E. J., Wilkes J. C. // J. Appl. Phys. 1977. V. 48. N 4. P. 1646—1655.
- [3] Mao B. Y., Lagowski J., Gatos H. C. // J. Appl. Phys. 1984. V. 56. N 10. P. 2729—2733.
- [4] Stavola M., Patel J. R., Kimerling L. C., Freeland P. E. // Appl. Phys. Lett. 1983. V. 42. N 1. P. 73—75.
- [5] Pajot B., Compain H., Lerouelle J., Clerjand B. // Physica. 1983. V. 117-118 B. P. 110—112.

Государственный научно-исследовательский
и проектный институт
редкометаллической промышленности
Москва

Получена 3.12.1990
Принята к печати 9.01.1991