

## ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВЫХ УСЛОВИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ НА СОВЕРШЕНСТВО КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ БЕЗДИСЛОКАЦИОННОГО КРЕМНИЯ

С. А. ШАБОЯН, А. Г. БАХШЕЦЯН, С. Г. ДОЛМАЗЯН

Приведены результаты исследований влияния тепловых условий выращивания на образование и распределение микродефектов типа кластеров в бездислокационных кристаллах кремния, выращенных методом бестигельной зонной плавки. Показано, что подбором соответствующей подогревной системы в процессе выращивания можно достичь устранения образования А-кластеров.

Исследование причин выхода из строя полупроводниковых приборов и низкий коэффициент воспроизводимости последних позволили установить взаимосвязь между совершенством кристаллической решетки исходного кремния и качеством приборов. Развитие технологии производства полупроводниковых материалов привело к разработке методов выращивания кремния без таких дефектов структуры, как малоугловые границы и дислокации.

Однако отсутствие указанных дефектов еще не решает проблемы получения высококачественных приборов, так как в этом случае становится определяющей роль кластеров точечных дефектов [1—3]. Наблюдаются два типа таких микродефектов, именуемых кластерами типа А и В, которые отличаются размерами, концентрациями, структурой и пространственным распределением в объеме кристалла [1, 4—6]. В случае А-кластеров распределение носит ярко выраженный слоистый характер, тогда как В-кластеры распределяются значительно однороднее. В работах [1, 7, 8] сообщалось о разработке методов получения кристаллов диаметром до 28 мм с незначительной концентрацией микродефектов и даже с полным их отсутствием. Из этих работ следует, что бескластерный рост достигался варьированием скорости и среды выращивания кристаллов. Однако авторы не проводили исследований влияния подогревной системы на образование и распределение микродефектов.

Очевидно, что варьирование скорости выращивания и применение подогревной системы в конечном счете приводит к изменению скорости охлаждения растущего кристалла. Следовательно, на процесс образования микродефектов можно влиять и подбором соответствующей подогревной системы. К такому же заключению приходит и автор работы [1].

В настоящей работе приводятся результаты исследования влияния подогревной системы на образование и распределение микродефектов при обычной скорости выращивания. С этой целью были выращены бездислокационные кристаллы кремния диаметром  $42 \div 44$  мм и длиной  $200 \div 230$  мм. Кристаллы выращивались в направлении  $\langle 111 \rangle$  методом бестигельной зонной плавки в атмосфере аргона с добавлением  $7 \div 8\%$  водорода. В процессе выращивания кристаллов все основные технологические параметры

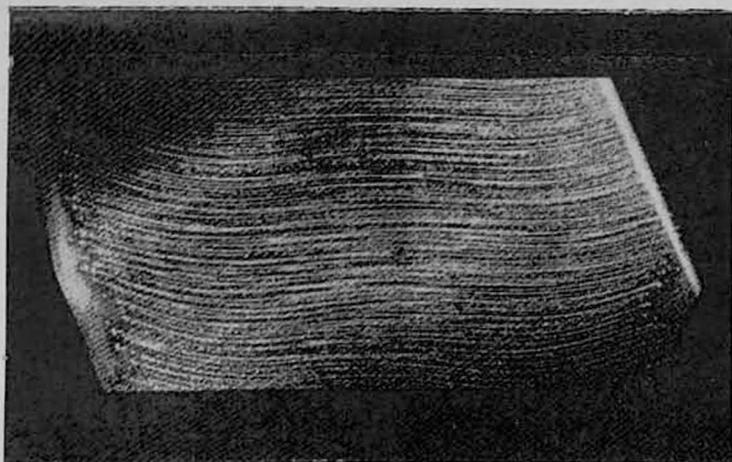


Рис. 1. Рентгенотопограмма продольной, декорированной медью пластины, вырезанной из кристалла 2: отражение (111), негативный контраст,  $\times 4$ .

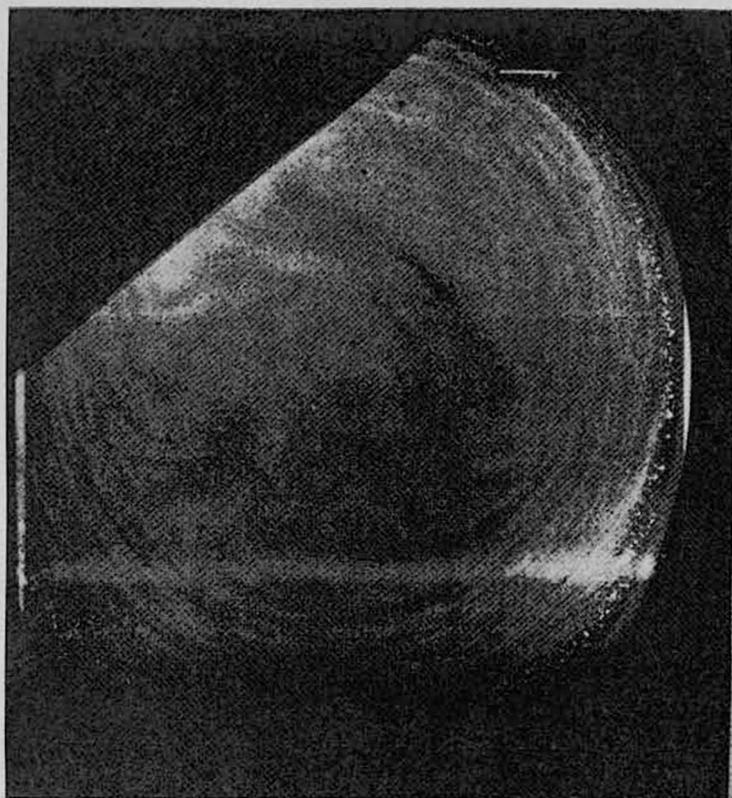


Рис. 2. Рентгенотопограмма поперечной, декорированной медью пластины, вырезанной из кристалла 2: отражение (220), негативный контраст,  $\times 4$ .

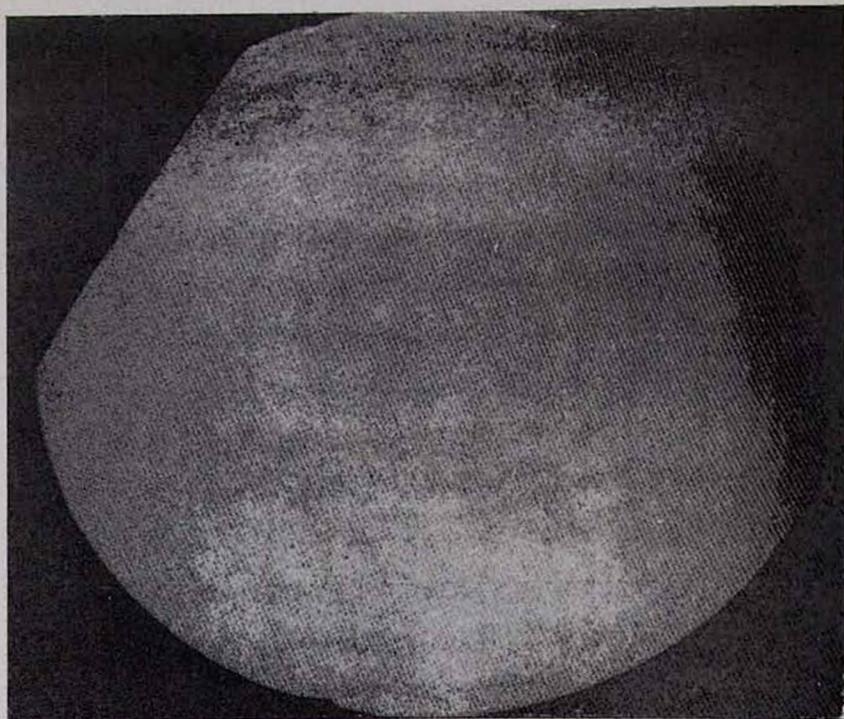


Рис. 3. Рентгенограмма поперечной, декорированной медью пластины, вырезанной из кристалла 3: отражение (220), негативный контраст,  $\times 4$ .



Рис. 4. Рентгенограмма продольной, декорированной медью пластины, вырезанной из кристалла 3: отражение (111), негативный контраст,  $\times 4$ .

поддерживались постоянными в пределах возможностей установки выращивания. В качестве подогревной системы использовался графитовый экран, вставленный в подогревную индуктор. Мощность, подаваемая на последний, варьировалась в зависимости от эксперимента, тогда как мощность, подаваемая на плавильный индуктор, при выращивании основной части кристалла по возможности поддерживалась неизменной. Расстояние между плавильным индуктором и графитовым экраном было одинаковым во всех экспериментах.

Основные параметры и режимы выращивания некоторых из исследованных кристаллов приведены в таблице. Выращивание других кристаллов с указанными в таблице режимами привело к схожей дефектной структуре.

Таблица

№ кристалла	Вид подогрева	Мощность, подаваемая на под. янд. (отн. ед.)	Скорость роста (мм/мин)
1	без экрана	—	1,90
2	„пассивный“ экран	—	1,95
3	с экраном	1,0	2,0
4	с экраном	1,45	1,95

По характеру тепловых условий выращивания бездислокационный кристалл можно условно разделить на три части: конусную (т. е. прилежащую к затравочному кристаллу), основную и конечную. Конец кристалла характеризуется резким изменением тепловых условий в момент прекращения процесса роста, что приводит к образованию дислокаций. Исходя из этого исследовались лишь конусная и основная части кристаллов с целью нахождения связи между дефектной структурой этих частей и тепловыми условиями выращивания.

Исследования проводились на продольных и поперечных образцах. Основными методами исследования служили декорирование медью с последующим рентгенотопографированием методом Ланга и избирательное травление.

Исследование кристаллов 1, 2 и 4 выявило наличие ярко выраженного (с некоторыми вариациями) слоистого распределения микродефектов, очевидно типа *A*, на продольных образцах и «вихревой» картины тех же дефектов на поперечных пластинах. Как слоистое, так и «вихревое» распределение кластеров типа *A* окружено т. н. «ободком», содержащим гомогенно распределенные *B*-кластеры. Топограммы, иллюстрирующие такие характерные распределения микродефектов, приведены на рис. 1 и 2.

Исследование же кристалла 3 показало, что микродефекты, содержащиеся в этом кристалле, имеют примерно одинаковый размер и распределены довольно гомогенно (рис. 3, 4). Примечательно, что на топограммах пластинок, вырезанных из кристалла 3, отсутствует «ободок». Это свидетельствует о том, что микродефекты, наблюдаемые в кристалле 3, являются *B*-кластерами. В пользу этого предположения свидетельствует также и

гомогенное распределение этих дефектов. Полученные результаты были подтверждены и при исследовании методом избирательного химического травления.

Приведенные результаты показывают, что изменение условий охлаждения посредством использования подогревной системы приводит к весьма различной дефектной структуре кристаллов. С точки зрения качества полупроводникового материала, используемого для создания приборов, предпочтительно иметь гомогенное распределение микродефектов. Этому условию удовлетворяют *B*-кластеры, которые распределены значительно однороднее кластеров типа *A*.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что путем подбора соответствующей тепловой системы можно предотвратить образование *A*-кластеров в монокристалле кремния достаточно большого диаметра даже при обычной скорости выращивания. Кроме того, в отличие от работ [1, 7, 8], где выращивание бездислокационных кристаллов кремния осуществлялось методом пьедестала, наши кристаллы выращивались методом вертикальной бестигельной зонной плавки.

СКТБ полупроводниковой  
техники, г. Ереван

Поступила 31.X.1978

#### ЛИТЕРАТУРА

1. A. J. R. de Kock. Philips Res. Rept. Suppl., № 1 (1973).
2. C. J. Varker, K. V. Ravi. Semiconductor Silicon 1973, Princeton, N. J., 1973, p. 670.
3. H. Shiraki. Japan J. Appl. Phys., 13, 319 (1974).
4. A. J. R. de Kock. J. Electrochem. Soc., 118, 1851 (1971).
5. P. M. Petroff, A. J. R. de Kock. J. Cryst. Growth, 30, 117 (1975).
6. H. Foll, B. O. Kolbessen. Appl. Phys., 8, 319 (1975).
7. A. J. R. de Kock, P. J. Roksnoer, P. G. T. Boonen. Semiconductor Silicon 1973, Princeton, N. J., 1973, p. 83.
8. A. J. R. de Kock, P. J. Roksnoer, P. G. T. Boonen. J. Cryst. Growth, 22, 311 (1974).

#### ԱՃՆՅՄԱՆ ՋԵՐՄԱՑԻՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐԻ ԱԶԳԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՈՉ-ԴԻՍԼՈՒԿՑԻՈՆ ՍԻԼԻՑԻՈՒՄԻ ԲՅՈՒՐԵՂԱՅԻՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ԿԱՏԱՐԵԼԻՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ

Ս. Հ. ՇԱԲՈՅԱՆ, Հ. Գ. ԲԱԽՇԵՏՅԱՆ, Ս. Գ. ԴՈԼՄԱԶՅԱՆ

Բերված են ոչ տիգելային հալման մեթոդով աճեցված ոչ դիսլոկացիոն սիլիցիումի բյուրեղներում կլաստերների տիպի միկրոարատների առաջացման և տեղաբաշխման վրա աճեցման ջերմային պայմանների ազդեցության հետազոտության արդյունքները: Ցույց է տրված, որ համապատասխան սխեմայի ընտրության միջոցով, աճեցման պրոցեսում կարելի է հանգել Ա-կլաստերների առաջացման վերացմանը:

#### THE INFLUENCE OF THERMAL CONDITIONS OF GROWTH ON THE PERFECTION OF CRYSTALLINE STRUCTURE OF DISLOCATION-FREE Si CRYSTALS

S. A. SHABOYAN, H. G. BAKHSHETSYAN, S. G. DOLMAZYAN

The influence of thermal conditions of growth on the generation and distribution of cluster defects in dislocation-free floating zone Si crystals has been studied. It is shown that the formation of A-clusters during the growth could be prevented by the appropriate selection of a heating system.