# ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРО-ДЕФЕКТОВ В БЕЗДИСЛОКАЦИОННОМ КРЕМНИИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОТОКА ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ

#### С. А. ШАБОЯН, С. Г. ДОЛМАЗЯН, Г. А. ПОГОСОВ

Исследовано влияние облучения тепловыми нейтронами и последующей термообработки на характер распределения и размеры микродефектов в бездислокационном кремнии, выращенном методом зонной плавки. Установлено, что изменения характера распределения микродефектов под действием облучения и последующего отжига определяются типом дефектов, содержащихся в исходном материале.

Изыскание методов получения Si с минимальным разбросом электрофизических параметров привело к созданию радиационного способа легирования кремния [1, 2]. Исследование электрофизических свойств такого материала показало высокую степень однородности в распределении электрофизических параметров [3—7] и его перспективность при изготовлении полупроводниковых приборов [8, 9].

В предлагаемой работе приводятся результаты исследований влияния облучения тепловыми нейтронами и последующей термообработки (последняя необходима для отжига радиационных дефектов) на характер распределения микродефектов в бездислокационном (БД) монокристаллическом кремнии.

В качестве исходного материала, предназначенного для раднационного легирования, использовался БД кремний высокой степени чистоты, выращенный методом зонной плавки в направлении <111>. Образец № 1 был выращен в атмосфере аргона, а образцы № 2 и № 3 — в среде аргона с ьодородом (7÷8%). Облучение проводилось тепловыми нейтронами с Ф= 18 н/см  $_{2}$ , продолжительность облучения не превышала 6 часов. После облучения образцы отжигались в течение 1 часа при температуре  $t = 900^{\circ}$ С.

Рентгенотопографические исследования дефектной структуры образдов проводились методом Ланга с использованием излучения МоK<sub>a</sub>. Образцы кремния предварительно декорировались медью (последнее было обусловлено необходимостью усиления полей напряжений микродефектов, что делало возможным их выявление рентгеновским топографированием) [10]. Декорирование осуществлялось при температуре 900°C в протоке аргона [11]. Продолжительность термообработки при декорировании не превышала 1 час. После декорирования образцы механически шлифовались и обрабатывались в стандартном полирующем растворе. Толщина исследуемых образцов составляла 300—400 мкм. Рентгеновские топограммы снимались от образцов кремния до и после легирования, а также после термообработки.



Рис. 1. Топограммы исходных образцов БД кремния (а — № 1, 6 — № 2, в — № 3). Декорирование Си, контраст негативный, отражение (220).



Рис. 2. Топограммы образцов после радиационного легирования (а — № 1, б — № 2, s — № 3). Декорирование Си, контраст негативный, отражение (220)







На топограммах исходных образцов (рис. 1) были выявлены контрасты, соответствующие выделениям меди на микродефектах. Причем на топограммах, полученных от образцов № 1 и № 2, в распределении микродефектов наблюдается «кольцо», свободное от выделений (рис. 1, а и б). Расположение этого «кольца» на шайбах различное. В случае образцов из первого слитка «кольцо» находится в центральной области, тогда как на шайбах из второго слитка оно расположено по периферии пластин. Следует отметить, что размеры выделений за «кольцом» больше, чем до него, а концентрация мелких дефектов больше крупных. В областях вне «колец» распределение дефектов однородное.

Топограмма шайбы из слитка № 3 выявила наличие дефектов одинакового размера с распределением, характеризующимся высокой степенью однородности. При втом размеры выделений приблизительно имеют такую же величину, как в областях за «кольцом» на шайбах, вырезанных из слитков № 1 и № 2.

Топограммы, полученные после облучения, показали, что в характере распределения микродефектов в образцах № 1 и № 2 произошли изменения. В частности, распределение дефектов до области «кольца» для образца № 1 стало слоистым. Здесь отчетливо видны области, свободные от выделений меди (рис. 2а), в центральной же области шайб распределение дефектов осталось без изменения.

Незначительное расслоение в распределении дефектов также в области до «кольца» произошло и в случае образца № 2 (рис. 26). Характер распределения дефектов для образца № 3 остался таким же, как на исходной шайбе (рис. 2e).

После отжига распределение дефектов в образце № 1 существенным образом изменилось (рис. За). Здесь до «кольца» резко уменьшилась концентрация дефектов и появились широкие зоны, свободные от мелких выделений меди. Помимо этого возникли протяженные включения в виде полос и звезд. В центральной же части кристалла в распределении дефектов произошло незначительное расслоение. Аналогичные изменения произошли и в случае образца № 2 (рис. 36). Распределение дефектов и их размеры для образца № 3 остались такими же, как на исходной шайбе (рис. 3в).

Анализируя полученные данные, можно предположить, что контрасты, выявленные на топограммах, обусловлены выделениями меди на микродефектах двух типов. Последние, как видно из топограмм, различаются не только размерами, но и концентрациями. Следует отметить, что диффузия *Cu* в исходные образцы осуществлялась одновременно.

Согласно принятой классификации, в БД монокристаллах имеются микродефекты А- и Б-типов. Эти дефекты отличаются друг от друга не только своими размерами, но и характером распределения в объеме материала. Крупным А-дефектам присуще слоистое распределение, которое в поперечном сечении проявляется в виде т. н. «свирлов». Для мелких — Б-дефектов распределение характеризуется высокой степенью однородности [10]. Сопоставляя описанное выше с полученными результатами, можно считать, что в исследуемых образцах А-дефекты отсутствуют. Наличие же мелких и относительно крупных микродефектов, характеризующихся однородным распределением, можно объяснить тем, что более крупные контрасты, по-видимому, соответствуют выделениям меди на Б-дефектах, а мелкие — или на зародышах Б-дефектов [12], или на микродефектах, не вошедших в известную классификацию [10]. В пользу сделанного предположения свидетельствует то обстоятельство, что после облучения и термообработки мелкие дефекты трансформируются, их концентрация изменяется, а распределение из однородного становится слоистым. В то же время более крупные, очевидно, Б-дефекты, расположенные в областях за «кольцом» на образцах из слитков № 1 и № 2, а также микродефекты образца № 3, отличаются стабильностью в характере распределения и размерах под воздействием раднации и термообработки. Различное поведение дефектов позволяет предположить и различие в природе самих дефектов.

В заключение авторы считают своим долгом выразить благодарность В. А. Харченко за предоставленные образцы.

Поступила 5. VI. 1980

### ЛИТЕРАТУРА

- K. Lark-Horovitr. Semiconducting Materials, Proc. Conf. Univ. Reading, 47, London, Butterworths, 1951.
- 2. M. Tanenbaum, A. D. Mills. J. Electrochem. Soc., 108, 171 (1961).
- 3. В. А. Харченко, С. П. Соловьев. ФТП, 5, 1641 (1971).
- 4. В. А. Харченко, С. П. Соловьев. Изв. АН СССР, Неорг. матер., 7, 2137 (1971).
- 5. В. А. Харченко и др. Изв. АН СССР, Неорг. матер., 7, 2142 (1971).
- 6. В. Н. Морднович и др. ФТП, 8, 210 (1974).
- 7. Л. Ф. Копорова н др. ФТП, 10, 2036 (1977).
- 8. Л. Н. Афонин и др. Электронная прсмышленность, № 6, 121 (1976).
- Л. Н. Афонин, Е. З. Мазель. Сб. Микровлектроника и полупроводниковые приборы, Изд. Советское радио, М., 1978, № 3, стр. 133.
- 10. J. R. de Kock. Philips. Res. Rept. Suppl., № 1 (1973).
- 11. T. F. Cizek. Semiconductor Silicon, Eds. H. R. Hutt and R. R. Burgess (Electrochem. Soc., Chicago), 1973, p. 150.
  - 12. H. Full, U. Goselle, B. O. Kolbesen. J. Cryst. Crowth, 40, 90 (1977).

## በዒ ԴԻՍԼՈԿԱՑԻՈՆ ՍԻԼԻՑԻՈՒՄԱՑԻՆ ԲՑՈՒՐԵՂՆԵՐՈՒՄ ՄԻԿՐՈԴԵՖԵԿՏՆԵՐԻ ԲԱՇԽՄԱՆ ԲՆՈՒՑԹԻ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ՋԵՐՄԱՅԻՆ ՆԵՅՏՐՈՆՆԵՐԻ ՀՈՍՔԻ ՆԵՐԳՈՐԾՈՒԹՅԱՆ ՏԱԿ

#### Ս. Ա. ՇԱԲՈՅԱՆ, Մ. Գ. ԴՈԼՄԱԶՑԱՆ, Գ. Ա. ՊՈՂՈՍՈՎ

Հնտաղոտված է ղոնային հայման հղանակով անհցված ոչ դիսլոկացիոն սիլիցիումային թյութեղներում ջերմային նեյտրոններով ճառագացիման և հետագա ջերմամշակման ազդեցու-Բյունը միկրոդնֆեկտների չափսերի և նրանց բաշխման բնույթի վրա։ Հաստատված է, որ ճառագայթման և հետագա ջերմամշակման ազդեցության ներթո միկրողեֆեկտների բաշխման բնույթի փոփոխությունները որոշվում են ելակետային նյութում պարունակվող դեֆեկտների տարատեսակով։

T

# THE CHANGE OF MICRODEFECTS DISTRIBUTION CHARACTER IN DISLOCATION-FREE SILICON UNDER THE INFLUENCE OF THERMAL NEUTRONS FLUX

## S. A. SHABOYAN, S. G. DOLMAZYAN, G. A. POGOSOV

The influences of thermal neutron irradiation and following heat treatment on the distribution character and the size of the microdefects in float-zoned dislocationfree silicon have been investigated. It was established, that the change of microdefects distribution character under the influence of madiation and following annealing was determined by the type of defects in the initial material.