

КОРРЕЛЯЦИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Н. А. КАЛЬНЕВ, И. Н. МАГДЕН

Механические свойства монокристаллических полупроводников, в частности, кремния и германия, существенным образом зависят от содержания в них примесей и структурных дефектов [1, 2]. В работах [3—5] отмечалось влияние межатомных расстояний, типа связи и плотности дислокаций на микротвердость полупроводников. В [6, 7] изучалась корреляция между микротвердостью кремния электронного типа проводимости и его удельным сопротивлением. Не вызывает сомнений, что исследование механических свойств в сочетании с другими методами (в частности, электрическими) может явиться одним из эффективных способов выяснения структурных особенностей полупроводниковых материалов. Интерпретация результатов, полученных ранее [6, 7], была затруднена, поскольку данные измерений удельного сопротивления не учитывают рассеяния носителей на неактивных примесных центрах, обуславливающих непостоянство подвижности носителей заряда. Кроме того, исследования, проводимые на образцах малого диаметра, в силу методических ограничений не позволяли избежать влияния краевых эффектов.

В настоящей работе представлены результаты исследования влияния распределения концентрации легирующей примеси по диаметру монокристаллического кремния, выращенного методом Чохральского, на распределение механических напряжений в объеме полупроводника с учетом плотности дислокаций.

Исследовались два слитка кремния диаметром 72 и 80 мм, легированные фосфором с удельным сопротивлением 60 ом см, выращенные: а) без наличия дислокаций и б) с плотностью дислокаций $5 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$. Из слитков вырезались плоскопараллельные пластины толщиной 1,5 мм с ориентацией в кристаллографической плоскости [111]. Для измерения микротвердости поверхность кристаллов кремния обрабатывалась следующим образом: после механической шлифовки и полировки кристалл травился в СР-4 и подвергался затем тонкой механической обработке (для уничтожения фигур травления). Микротвердость измерялась через 1 мм с помощью прибора ПМТ-3 с автоматическим нагружением и инденторной нагрузкой в 50 г.

После снятия микротвердости из пластин вырезались полоски по исследуемому диаметру, которые затем разрезались на образцы правильной геометрической формы с размерами $3 \times 3 \times 0,15 \text{ мм}^3$ для определения холловской концентрации основных носителей заряда при помощи квадратного пробника по методу Ван-дер-Пауэ.

Рис. 1 иллюстрирует результаты измерений микротвердости и концентрации легирующей примеси по площади кремниевой пластины для кремния с плотностью дислокаций $5 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$. Как видно из приведенного распределения микротвердости, наблюдается значительная ее флуктуация, при этом величина микротвердости изменяется в широких пределах (от 900 до 1300 кг/мм²) с минимумом у периферии и достигает максимального значения в центральной части пластины. Следует отметить, что такой характер изменения микротвердости отнюдь не является случайным, поскольку он отражает распределение концентрации основных носителей заряда, которое также достигает своего максимального значения в центральной части образца. Этот результат свидетельствует о том, что увеличение концентрации основных носителей заряда приводит к увеличению упругих напряжений кристаллической решетки за счет несоответствия тетраэдрических ковалентных радиусов внедряемого вещества и основного материала.

Влияние упругих деформаций, вносимых наличием дислокаций в монокристалле, может быть оценено сравнением рис. 1 и 2. На рис. 2 представ-

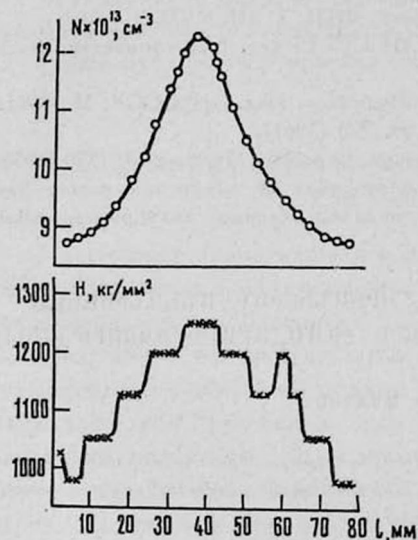


Рис. 1. Распределение концентрации легирующей примеси (1) и микротвердости (2) по диаметру кремния с плотностью дислокаций $5 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$.

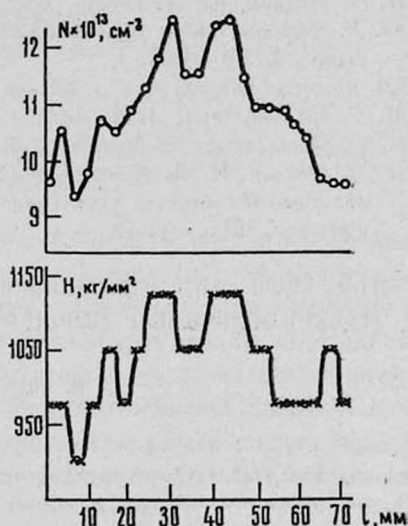


Рис. 2. Распределение концентрации легирующей примеси (1) и микротвердости (2) по диаметру бездислокационного кремния.

лено распределение микротвердости и концентрации основных носителей заряда для бездислокационного кремния. На кривой распределения концентрации по сечению монокристалла имеется несколько минимумов, которые коррелируют с минимальным значением микротвердости. Представляет значительный интерес тот факт, что в бездислокационном материале величина микротвердости изменяется в гораздо меньших пределах, чем для кремния с повышенной плотностью дислокаций, несмотря на то, что харак-

тер изменения концентрации в образцах ограничивается одними и теми же пределами.

Наблюдаемое увеличение микротвердости полупроводника можно объяснить влиянием пластической деформации, возникающей в монокристалле кремния при его кристаллизации. При этом происходит наложение внутренних механических напряжений от внедрения примесных атомов на поле неупругих деформаций дислокационной природы. Естественно, что в такой ситуации нет никаких оснований предполагать возможность аннигиляции возникающих полей неупругих деформаций кристаллической решетки для выполнения условия минимального значения внутренней энергии кристалла. По-видимому, такой процесс не является характерным для монокристаллов большого диаметра из-за значительных температурных градиентов, возникающих при кристаллизации.

Институт физики
г. Одесса

Поступила 25.I.1974

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. J. R. Patel, A. R. Chaudhure. J. Appl. Phys., 34, 2788 (1963).
2. И. Н. Магден, Ю. А. Евсеев, В. Е. Челюков. ФТП, 7, 858 (1973).
3. Ю. Х. Векилов, И. Г. Мильвидский. Изв. АН СССР, сер. Неорганические материалы, 2, 720 (1966).
4. Сб. Вопросы металлургии и физики полупроводников, Изд. АН СССР, М., 1961.
5. М. Г. Мильвидский, Л. В. Лайнер. ФММ, 88, 923 (1961).
6. В. А. Дроздов, Л. А. Мозювая, А. Л. Рвачев. Укр. физ. журнал, 10, 1270 (1966).
7. И. Н. Магден, Н. А. Кальнев. Всесоюзное совещание по внедрению новых технологических методов и материалов для создания силовых полупроводниковых приборов, 1972, стр. 17.

ՄԵՐ ՏՐԱՄԱԳԻՒԹԻ ՄՈՆՈԿՐԻՏՈՐԵԳԱՅԻՆ ԿՐԻՄՆԻՈՒՄԻ ՄԵՆԱՆԻԿԱԿԱՆ
ԵՎ ԷԼԵԿՏՐԱՑԻԶԻԿԱԿԱՆ ՀԱՏՎՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀԱՄԱՀԱՐԱՐԵՐԱԿՑՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ն. Ա. ԿԱԼՆԵՎ, Ի. Ն. ՄԱԳԴԵՆ

Հետազոտված է Չոխրալսկու եղանակով աճեցված մոնոքրիստալային կրիմնիումի տրամադծով բաշխված լեգիրող խառնուրդի աղղեցությունը մեխանիկական լարվածությունների բաշխման վրա տեղախախտումների խտության հաշվառմամբ:

CORRELATION OF MECHANICAL AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF LARGE DIAMETER MONOCRYSTALLINE SILICON

N. A. KALNEV, I. N. MAGDEN

The influence of impuritized heterogeneity in monocrystalline silicon prepared by Chohralsky method upon the distribution of the microsolidity on the plate diameters (the diameters of the samples were 72 mm and 80 mm) was investigated with due regard for the solidity of dislocations. In the distribution of the microsolidity a considerable fluctuation is noticed when the microsolidity changes in wide limits (from 900 to 1300 kg/mm²) with the minimum at the plate periphery and maximum in the central part of a monocrystall.