

Е. И. ВЕРХОВСКИЙ, Э. Г. АЖАЖА, Г. И. ЕПИФАНОВ, А. Т. САНЖАРОВСКИЙ

ВНУТРЕННИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ПЛЕНКАХ SiO_2 , ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОКИСЛЕНИЯ КРЕМНИЯ

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 19 IV 1972)

В окисных пленках, выращиваемых на поверхности кремния при производстве полупроводниковых приборов, практически всегда возникают внутренние напряжения. Интерес к этим напряжениям резко возрос в последние годы в связи с обнаруженным влиянием их на параметры приборов (¹⁻³). Однако из-за отсутствия надежных методов исследования вопрос количественного изучения внутренних напряжений, особенно в слоях SiO_2 , полученных методом высокотемпературного окисления кремния, остается до настоящего времени в значительной мере открытым. Имеются лишь единичные публикации, посвященные этому вопросу (^{4, 5}).

Нами разработан метод измерения внутренних напряжений и проведения изучения напряжений в слоях SiO_2 высокотемпературного выращивания. На рис. 1 показана кремниевая подложка с выращенной на ней окисной пленкой. Подложка имеет форму прямоугольного параллелепипеда с размерами: $l = 30$ мм, $b = 3$ мм и $a = 0,3$ мм. Пленка SiO_2 выращивалась на верхнем и нижнем основаниях подложки и имела толщину h .

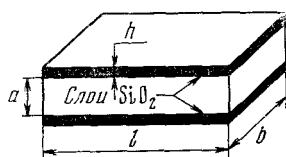


Рис. 1

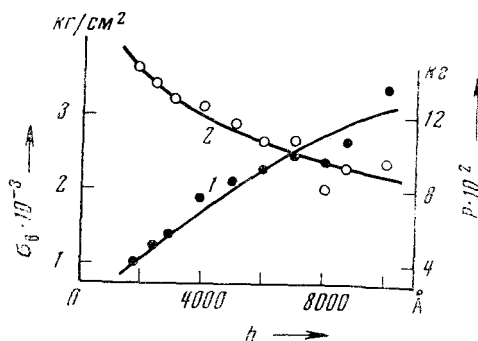


Рис. 2

Рис. 1. Схема образца кремния (подложки) с выращенными на нем слоями SiO_2

Рис. 2. Зависимость внутренних напряжений σ_v (2) в пленках SiO_2 и упругой силы P (1) от толщины пленок

Исследования показали, что в такой пленке возникают внутренние напряжения сжатия σ_v , приводящие к формированию в подложке равномерно распределенных напряжений растяжения σ_n . Упругая сила P , действующая в напряженной окисной пленке, равна

$$P = 2\sigma_v h b. \quad (1)$$

Эта сила передается подложке, вызывая появление в ней напряжений σ_n . Поэтому

$$P = \sigma_n a b. \quad (2)$$

Из соотношений (1) и (2) находим

$$\sigma_v = \sigma_n h / (2a). \quad (3)$$

Напряжения в подложке σ_n измерялись поляризационно-оптическим методом ⁽⁶⁾, толщина пленки определялась с помощью микронинтерферометра МИИ-4.

На рис. 2 показана зависимость упругой силы P (1) и внутренних напряжений σ_n (2) в слоях SiO_2 от их толщины. Пленки выращивались на образцах кремния КЭФ-4,5 в атмосфере $\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$ при температуре 1200°C ; скорость охлаждения образцов после окисления составляла 200° в 1 мин. Уровень внутренних напряжений в слоях SiO_2 , полученных методом высокотемпературного окисления, является

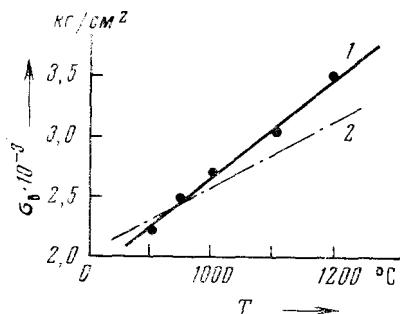


Рис. 3. Зависимость внутренних напряжений в пленках SiO_2 от температуры окисления кремния: 1 — эксперимент, 2 — расчет

весьма высоким (измеряясь тысячами kg/cm^2). С увеличением толщины пленок внутренние напряжения уменьшаются. Упругая сила P растет с ростом h .

При окислении образцов кремния в чистом кислороде, в парах воды и в смеси кислорода и паров воды уровень напряжений в пленках SiO_2 оставался практически одним и тем же. Это указывает на то, что природа окислительной среды не оказывает заметного влияния на уровень внутренних напряжений, формирующихся в слоях SiO_2 при окислении кремния.

На рис. 3, 1 показана зависимость внутренних напряжений в пленках SiO_2 от температуры окисления. Пленки имели толщину порядка $3000 \text{ \AA}$; скорость охлаждения образцов равнялась 200° в 1 мин. С ростом температуры окисления внутренние напряжения в слоях SiO_2 увеличиваются. Это свидетельствует, во-первых, о том, что напряжения имеют термическую природу и, во-вторых, что релаксационные процессы, способные привести к снижению напряжений, при столь высокой скорости охлаждения образцов проявляются слабо. Однако при низкой скорости охлаждения релаксация напряжений может быть существенной. Уменьшение скорости охлаждения с 200° до 1° в 1 мин. приводит к уменьшению напряжений примерно в два раза.

Результаты расчета внутренних напряжений в слоях SiO_2 по разности коэффициентов термического расширения кремния и SiO_2 и температуре охлаждения образцов приведены на рис. 3, 2. Как видим, расчетные напряжения мало отличаются от значений σ_n , найденных экспериментально, что подтверждает предположение о термической природе этих напряжений.

Интересно, что расчетная кривая 2 идет под меньшим углом и ниже экспериментальной кривой 1. Так как с точки зрения возможного влияния релаксационных процессов на σ_n следовало бы ожидать обратного расположения кривых 1 и 2, то это свидетельствует о существовании иного механизма формирования напряжений сжатия в окисной пленке. Таким механизмом может быть образование кремнийкислородных тетраэдров при внедрении атомов кислорода в решетку в процессе окисления. Образование подобных тетраэдров сопровождается увеличением объема решетки и должно приводить к возникновению в пленке напряжений сжатия.

Московский институт электронного машиностроения

Поступило
7 IV 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ J. A. Abowitz, E. Arnold, J. Ladell, Phys. Res. Letters, 18, № 5, 543 (1967).
- ² Дзюки пусия гаккай дзасси, № 10, 1887 (1966). Пер. Новости зарубежной электронной техники, № 3, 14 (1967).
- ³ Е. А. Павлов, А. С. Жеребцов и др., Радиотехника и электроника, 14, № 7, 1348 (1969).
- ⁴ К. А. Валиев, А. С. Жеребцов и др., Тр. III Всесоюз. симп. по электронным процессам на поверхности полупроводников, Новосибирск, 1969, стр. 72.
- ⁵ R. J. Jaccodine, W. A. Schlegel, J. Appl. Phys., 37, № 6, 2429 (1966).
- ⁶ В. И. Никитенко, Сборн. Напряжения и дислокации в полупроводниках, Изд. АН СССР, 1962, стр. 48.