

06; 10; 12

© 1992

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОСВЕЧИВАЮЩЕЙ МИКРОСКОПИИ
ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИИ ДОЗУ 4МА.А. Б а л ы ч е н к о, С.В. Л е б е д е в,
Ю.М. Л и т в и н о в, А.П. Н а г и н

Увеличение степени интеграции современных интегральных схем привело к уменьшению минимальных размеров топологических элементов до субмикронного уровня, в частности, для динамических запоминающих устройств емкостью 4М. До нанометрового уровня уменьшились толщины технологических слоев. Необходимость существенного увеличения плотности упаковки ячеек ДОЗУ при одновременном сохранении общей площади кристалла вызвала переход к трехмерной архитектуре ячеек. Разработка новых технологий, связанных с необходимостью получения канавочных и столбчатых структур, привела к ряду новых, ранее не исследованных проблем. К важнейшей из них можно отнести создание тонкого 10–30 нм однородного по толщине подзатворного диэлектрика и такой же толщины термического окисла на стенках канавки. Другой важной проблемой является процесс заполнения канавки поликремнием [1]. Желательно иметь однородное распределение зерен по сечению канавки при полном отсутствии образования пор или полостей. Геометрические размеры канавки, толщина окисла на стенках, структурные характеристики поликремния должны быть оптимизированы таким образом, чтобы микронапряжения вокруг траншеевидной структуры были минимальными [2]. Это связано с тем, что последующие технологические операции могут вызвать образование дислокаций и окислительных дефектов упаковки [3].

Вследствие описанных выше особенностей трехмерных структур меняется и методология их исследования. Для исследования таких структур необходимы методы, характеризующиеся высоким пространственным разрешением. Просвечивающая электронная микроскопия, пространственное разрешение которой не хуже 3–5 Å, наилучшим образом соответствует требованиям, предъявляемым для решения этих проблем.

Цель настоящей работы состояла в изучении геометрических характеристик тонкого подзатворного диэлектрика и термического окисла, а также структурных особенностей поликремния, выращенного в канавке.

Исследования траншеевидных структур проводили методом просвечивающей электронной микроскопии на электронном микроскопе Н-800 ф. "Hitachi". Методы просвечивающей электронной микроскопии могут быть наиболее полно реализованы лишь при условии наличия соответствующей методики приготовления тонких фольг из

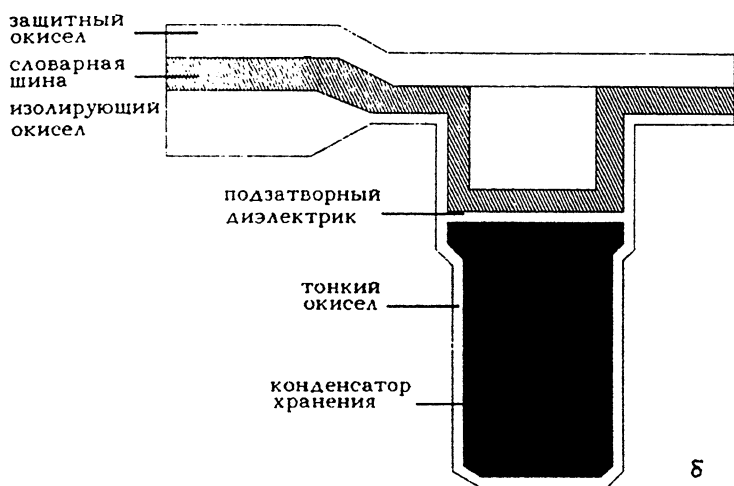
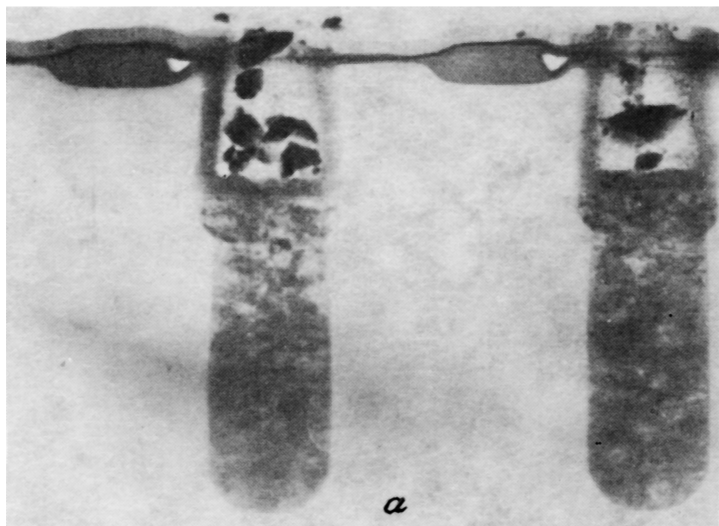


Рис. 1. Электронномикроскопическое изображение группы ячеек ДОЗУ емкостью 4М (а), схема сечения ячейки ДОЗУ (б).

планарных и вертикальных сечений исследуемых образцов. Применительно к структурам ДОЗУ 4М была специально доработана методика, описанная ранее в [4]. Отличительными особенностями этой методики являются: 1 – возможность получения вертикальных сечений в заданной группе ячеек ИС; 2 – возможность получения области, просвечиваемой в электронном микроскопе с ускоряющим напряже-

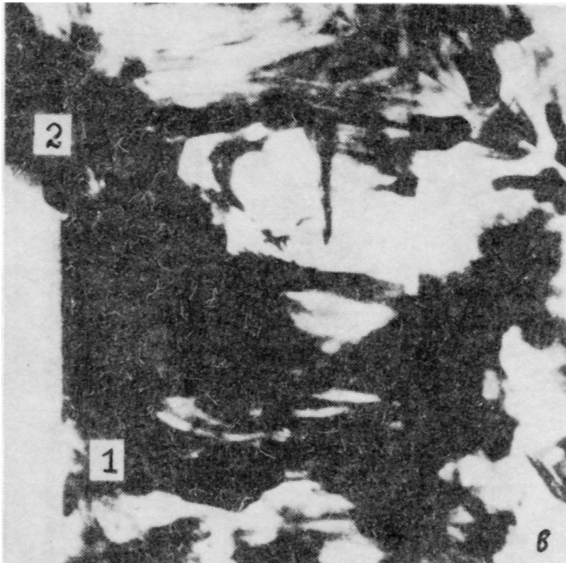
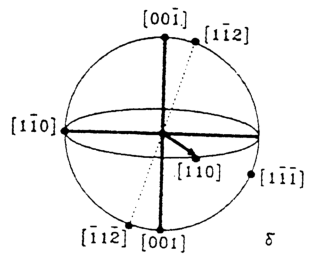
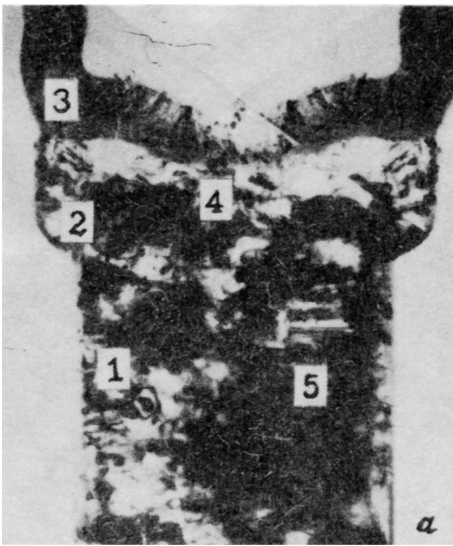
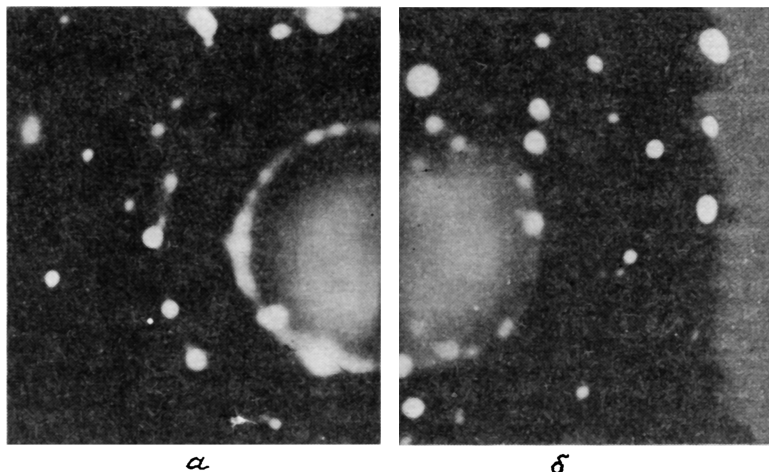


Рис. 2. Увеличенное электронномикроскопическое изображение вертикального сечения ячейки ДОЗУ (а), стереографическая проекция кристаллографической плоскости $\{110\}$ кремния (б), фрагмент стенки канавочного конденсатора (в).



а

б

Рис. 3. Электронограммы, полученные от центральной (а) и периферийной (б) частей канавочного конденсатора.

нием 200 кВ, диаметром не менее 2 мм, что позволяет исследовать процессы дефектообразования не только у поверхности, но и в объеме ИС. Электронномикроскопическое изображение группы ячеек ДОЗУ, емкостью 4М, полученное от образца, подготовленного по разработанной методике, показано на рис. 1, а, а на рис. 1, б соответствующая этому изображению схема сечения ячейки ДОЗУ. Сравнение схемы с реальным изображением, где идентифицируются все слои, изображенные по схеме, свидетельствует об эффективности предложенной методики подготовки фольг из вертикальных сечений образцов и собственно метода просвечивающей электронной микроскопии. На рис. 2, а показано увеличенное электронномикроскопическое изображение вертикального сечения ячейки ДОЗУ, состоящей из вертикального МОП-транзистора и канавочного конденсатора хранения. Плоскость сечения совпадает с кристаллографической плоскостью $\{110\}$ кремния. На стереографической проекции (рис. 2, б) показаны основные кристаллографические направления в этой плоскости. Толщина термического окисла на стенках канавочного конденсатора, перпендикулярных кристаллографическому направлению $\langle 110 \rangle$, максимальна и составляет примерно 30 нм (рис. 2, в, область 1, соответствует области 1 на рис. 2, а). В то же время толщина окисла, выращенного на поверхности канавки, нормаль к которой совпадает с кристаллографическим направлением $\langle 112 \rangle$, меньше почти на треть величины и составляет примерно 20 нм (рис. 2, в, область 2, соответствует области 2 на рис. 2, а). Резкий 90-градусный переход поверхности канавки от плоскости

{110} к другой перпендикулярной ей плоскости {100} сопровождается еще большим уменьшением толщины тонкого окисла (рис. 2, а, область 3). Такое изменение толщины окисла в плоскости {110} отражает анизотропию скорости окисления в различных кристаллографических направлениях в этой плоскости.

Получение тонкого подзатворного диэлектрика связано с дополнительными трудностями. Это обусловлено тем, что в отличие от термического окисла, выращенного на поверхности монокристаллического кремния, при получении подзатворного диэлектрика окислению подвергается поверхность поликристаллического кремния, заполняющего канавку. Как видно из рис. 2, а, область 4, наличие мелких, ограниченных кристаллитов кремния, вследствие анизотропии скорости окисления, приводит к неоднородности в толщине тонкого подзатворного диэлектрика, что значительно увеличивает вероятность пробоя диэлектрика. Таким образом, видно, что структура поликристаллического кремния играет определяющую роль при формировании подзатворного диэлектрика.

Структура поликристаллического кремния, заполняющего канавку конденсатора хранения, может в значительной мере влиять как на величину механических микронапряжений, создаваемых в кремниевой матрице, так и на электрические параметры последнего. Из рис. 2, а, область 5, видно, что в объеме поликристаллического кремния имеется вертикальная полость. Наличие такой полости связано с различием в структуре поликристаллического кремния в центральной и периферийной частях канавочного конденсатора. Электронограммы, полученные от соответствующих участков канавочного конденсатора, приведены на рис. 3, а, б. Из анализа электронограмм можно заключить, что зерна поликристаллического кремния в центральной части канавочного конденсатора имеют размер в несколько десятков нанометров и хаотически ориентированы в пространстве (рис. 3, а). Электронограмма, полученная от периферийного участка, указывает на наличие $\langle 110 \rangle$ текстуры поликремния (рис. 3, б).

Таким образом, приведенные результаты показывают, что электронная микроскопия является эффективным средством, способным значительно ускорить процесс разработки интегральных схем с высокой степенью интеграции.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Долгов А.Н., Кравченко Д.Г., Куликов О.А., Титов А.Г., Пуканов В.В. // Электронная техника. Сер. 3. Микроэлектроника. 1991. В. 3 (142). С. 38-42.
- [2] N a d a h a r a S., K a m b a y a s h i S., W a t a n a b e M., N a k a k u b o T. Extend. Abstr. of the 19th Conf. on Solid State Dev. and Mater. Tokyo. 1987. P. 327-330.

[3] Stiffler S.R., Lasky J.B., Koburger C.W., Berry W.S. // IEEE Trans. on Electron Dev. 1990. V. 37. N 5. P. 1253-1257.

[4] Захаров Н.Д., Кириченко В.В., Лебедев С.В., Литвинов Ю.М., Рожанский В.Н. // Изв. АН СССР. Сер. физич. 1988. Т. 52. В. 7. С. 1331-1333.

Поступило в Редакцию
29 июня 1992 г.