

06

©1994

НАНЕСЕНИЕ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЕНОК НА КАРБИД КРЕМНИЯ

*А.Ю.Максимов, А.А.Мальцев,
С.Г.Шульман, Н.К.Юшин*

В настоящее время основное применение сегнетоэлектрических пленок связано с их использованием в устройствах сегнетоэлектрической памяти. Быстрое развитие сегнетоэлектрической памяти обусловлено ее существенными преимуществами по сравнению с другими видами запоминающих устройств, а именно: сохранение информации при выключении питания, радиационная стойкость, легкий вес, малая потребляемая электрическая мощность, высокая плотность записи информации и др. (см. [1]). Современные устройства сегнетоэлектрической памяти состоят из тонкой сегнетоэлектрической пленки, покрывающей полупроводниковый транзистор или диод. Поляризация сегнетоэлектрической пленки может переключаться внешним электрическим напряжением в одно из двух возможных положений, а при отключении напряжения ориентация поляризации сохраняется сколь угодно долго. Устройства памяти, основанные на переключении поляризации, называются сегнетоэлектрической памятью с произвольной выборкой (FRAM). Другой тип сегнетоэлектрической памяти носит наименование динамическая память с произвольной выборкой (DRAM) и использует высокую диэлектрическую проницаемость сегнетоэлектрической пленки, т.е. действует как простая ячейка памяти на сохранении заряда конденсатора.

Для многих применений оба типа ячеек сегнетоэлектрической памяти должны быть устойчивыми относительно разрушающего воздействия радиации. Существующие FRAM и DRAM используют пленки таких материалов, как ЦТС (т.е. твердый раствор титаната и цирконата свинца), ЦТС с лантаном, титанат бария, твердые растворы титанатов бария и стронция, ниобат и танталат калия, магнийниобат свинца и другие соединения со структурой перовскита. Эти материалы выдерживают большие дозы облучения, что и позволяет авторам работ по сегнетоэлектрической памяти декларировать радиационную стойкость такой памяти [1]. Однако полупроводниковые элементы, включае-

Постоянные решетки некоторых перовскитоподобных сегнетоэлектриков, кубических полупроводников и карбида кремния разных политипов (данные из [4-5])

Соединение	$a(\text{Å})$	$c(\text{Å})$
SrTiO ₃	3.904	
KNbO ₃	3.9714	
KTaO ₃	3.9885	
BaTiO ₃	3.992	
PbTiO ₃	3.898	4.136
PbZrO ₃	4.1585	4.108
PbMg _{1/3} Nb _{2/3} O ₃	4.041	
Si	5.43086	
Ge	5.65735	
GaP	5.4505	
GaAs	5.6534	
InP	5.86875	
InAs	6.0584	
InSb	6.4782	
3C-SiC	4.3598	
4H-SiC	3.0800	10.081
6H-SiC	3.0817	15.1183
15R-SiC	3.0817	37.817

мые в устройство памяти, используют такие материалы как кремний, арсенид галлия и др., которые никак нельзя отнести к радиационно стойким. В то же время хорошо известно, что карбид кремния SiC является наиболее радиационно стойким полупроводником из-за своей широкой запрещенной зоны. Карбид кремния широко применяется в качестве высокоомощных, скоростных, высокотемпературных, высокочастотных и радиационно стойких твердотельных микроэлектронных устройств, таких как полевые транзисторы, лавиннопролетные диоды, диоды Шоттки и т.д. (см. [2,3]). Поэтому кажется вполне естественным объединить в одной ячейке памяти сегнетоэлектрическую пленку со структурой на основе карбида кремния, чтобы добиться реальной радиационной стойкости и высокотемпературной стабильности устройства памяти в целом.

Для того чтобы оценить возможность осуществления этой идеи, необходимо прежде всего сравнить постоянные решеток сегнетоэлектрических материалов с параметрами карбида кремния и других полупроводников. В таблице

представлены такие данные для некоторых сегнетоэлектриков со структурой перовскита вместе с данными для обычных полупроводников, включая разные политипы карбида кремния. Для оценок предполагалось, что параметры решетки твердого раствора находятся между параметрами компонент. Из таблицы видно, что решеточное рассогласование не превышает 10% для кубического (3С) карбида кремния и любого сегнетоэлектрика, используемого в сегнетоэлектрической памяти. Это рассогласование намного меньше, чем для любых других полупроводников. Отметим также, что в настоящее время кубическая модификация доступна в виде эпитаксиальных слоев на подложках карбида кремния других политипов (а также на кремниевых подложках) [2-3].

Очень существенным является то обстоятельство, что при использовании в качестве подложечного материала карбида кремния при изготовлении ячеек сегнетоэлектрической памяти не будут возникать проблемы, связанные с температурой процесса нанесения пленок или с химической устойчивостью подложки, поскольку карбид кремния устойчив относительно воздействия большинства кислот и окислителей. Кроме того, коэффициент теплового расширения карбида кремния не превышает $4 \cdot 10^{-6}$ К, что согласуется с коэффициентами сегнетоэлектриков с перовскитоподобной структурой.

Экспериментальная проверка возможности роста сегнетоэлектрической (ЦТС) пленки на подложке из карбида кремния 3С (кубической) модификации осуществлялась методом лазерного испарения. Использовался импульсный лазер на АИГ со следующими параметрами: длина волны излучения 1.06 мкм, частота следования импульсов 1.5 Гц, длительность импульса 40 нс, энергия в импульсе 0.1 Дж. Диаметр эрозийного пятна на мишени составлял примерно 1.5 мм. Мишень была изготовлена из мелкозернистого порошка (с размером частиц менее 0.1 мм) цирконата-титаната свинца с добавкой до 20% окиси свинца PbO и представляла собой тор с внешним диаметром 40, внутренним 20 и толщиной 2.5 мм. При помощи специального электромагнитного устройства осуществлялось одновременное вращение и радиальное смещение мишени, чтобы обеспечить равномерную абляцию материала со всей поверхности мишени. Луч лазера падал нормально на поверхность мишени и создавал над ней светящееся облако (факел) высотой примерно в 3 см.

Подложка представляла собой структуру, состоящую из эпитаксиального слоя (толщиной около 150 мкм) 3С-модификации, нанесенного методом вакуумной сублимации на пластину 6Н карбида кремния (выращенную методом Ле-

ли), площадь подложки составляла 5×8 м. Перед напылением ЦТС пленки подложка карбида кремния очищалась в органических растворителях и приклеивалась к титановому держателю, который располагался коаксиально во внешнем цилиндрическом нагревателе на расстоянии 3 см от мишени. Температура держателя измерялась вставленной в него термопарой хромель-алюмель. Процесс напыления ЦТС пленки проводился в предварительно откачанной до давления 10 Тор стеклянной камере, в которой затем поддерживалось давление кислорода порядка 10 Па. Температура подложки составляла $500 - 600^\circ \text{C}$, длительность роста составляла 1.0 – 1.5 ч. Скорость напыления была около $0.5 \text{ \AA} / \text{импульс}$.

Предварительный рентгеновский анализ подтвердил перовскитоподобную структуру нанесенной пленки ЦТС, а электрические измерения показывают достаточно большую диэлектрическую проницаемость и насыщенные петли гистерезиса.

Таким образом, нами предложена идея объединить сегнетоэлектрическую пленку и карбид кремния с целью достижения реальной радиационной стойкости сегнетоэлектрических ячеек памяти. Кроме того, экспериментально подтверждена возможность нанесения ЦТС пленки на карбид-кремниевую гетероэпитаксиальную структуру.

Авторы благодарят В.Е.Челвокова за полезное обсуждение. Работа была частично поддержана US Department of Defense.

Список литературы

- [1] *Paz de Araujo C.A., McMillan L.D., Melnick B.M., Cuchiaro J.D., Scott J.F.* // *Ferroelectrics*. 1990. V. 104. P. 241–256.
- [2] *Davis R.F., Kelner G., Shur M., Palmour W., Edmond J.A.* // *Proceedings IEEE*. 1991. V. 79. P. 677–701.
- [3] *Trew R.J., Yan J-B., Mock P.M.* // *Proceedings IEEE*. 1991. V. 79. P. 598–620.
- [4] *Galasso F.* *Structure. Properties and Preparation of Perovskite-type Compounds*. Pergamon Press, Oxford. P. 18–26.
- [5] *Нарай-Сабо И.* Неорганическая кристаллохимия. Изд. АН Венгрии, Будапешт. 1969. 504 с.

Физико-технический
институт им.А.Ф.Иоффе РАН
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
18 ноября 1993 г.