



Балка микрокантилеверная на основе низкоразмерных гетероструктур из смарт-материала и углеродного материала

С. Р. Таишев

Пензенский государственный университет, Россия, 440026 г. Пенза, ул. Красная, 40

Д. А. Кудрявцева

Пензенский государственный университет, Россия, 440026 г. Пенза, ул. Красная, 40

Аннотация. В работе описаны условия формирования и технология получения тонкопленочной гетероструктуры на основе интеграции смарт-материала и карбида кремния. Представлены результаты исследования зависимости пьезомодуля микрокантилеверной балки от влияющих факторов.

Ключевые слова: балка микрокантилеверная, гетероструктура, смарт-материал, карбид кремния

Micro cantilever beam based on low-dimensional heterostructures made of smart material and carbon material

S. R. Taishev

Penza State University, 40 Krasnaya Street, 440026, Penza, Russia

D. A. Kudryavtseva

Penza State University, 40 Krasnaya Street, 440026, Penza, Russia

Abstract. The paper focuses on the formation conditions and the technology of obtaining a thin-film heterostructure based on the integration of smart material and silicon carbide. The results studying the dependence of the piezoelectric modulus of a micro cantilever beam on the influencing factors are presented.

Key words: micro cantilever beam, heterostructure, smart material, silicon carbide.

Микроэлектромеханические системы (МЭМС) для аэрокосмических структур нового поколения позволяют миниатюризировать датчики, но в силу физических ограничений, а также повышенных требований по надежности и ресурсу обуславливают поиски новых материалов с улучшенными физическими и механическими параметрами [1]. Отличием таких материалов является прямой отклик на механические воздействия за счет применения адаптивных смарт-материалов и структур, способных реагировать на изменения внешних или внутренних условий (изменяя свое статическое и динамическое поведение).

Для изготовления высокоэффективных МЭМС, работающих при дестабилизирующих условиях на конструкциях ракетно-космической техники (РКТ), наиболее перспективными являются материалы,

реализующие прямой и обратный пьезоэффект. Данный принцип детектирования является альтернативным, традиционно используемому тензорезистивному и емкостному методам, широко распространенным в связи с применением кремниевой и тонкопленочной технологий. Использование смарт-материалов в качестве преобразующего элемента позволяет качественно расширить возможности МЭМС: пороговая чувствительность сенсоров динамической деформации на основе пьезоэлектрических пленок уменьшается до $\Delta l/l \sim 10^{-9} - 10^{-10}$. При этом чувствительность датчиков на основе МЭМС-технологий повышается на два порядка при сохранении долговременной стабильности, не требуются источники стабилизированного напряжения [2].

Малые габариты и масса тонкопленочных пьезоэлектрических датчиков, высокая механическая прочность и гибкость пленочных преобразователей обеспечивают контроль поверхностей переменной во времени кривизны в условиях больших механических нагрузок без внесения искажений в регистрируемую информацию [3].

В работе проведены исследования технологических условий формирования микроантилеверной балки слоистых гетероструктур на основе интеграции смарт-материала и карбида кремния. По своим механическим характеристикам он уступает только алмазу, но более технологичен из-за минимальной разницы температурных коэффициентов линейного расширения с ЦТС керамикой ($\text{TKLP}_{\text{SiC}} - 4,51 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$; $\text{TKLP}_{\text{ЦТС}} - 3,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$; $\text{TKLP}_{\text{UNCD}} - 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) при получении таких гетероструктур и возможности проведения фотолитографии для формирования соответствующего рисунка топологии [4]. Другой причиной несовместимости алмазоподобных пленок с пленками на основе ЦТС является сложность в получении алмазных слоев с низким значением шероховатости поверхности, в связи с этим наблюдается снижение пьезоэлектрической постоянной пьезоэлемента [5].

Тонкопленочные гетероструктуры карбид кремния – ЦТС формировались на кремниевой подложке с помощью ВЧ-магнетронного распыления керамической мишени состава $\text{PbZr}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$ в атмосфере кислорода и мишени из карбида кремния в атмосфере аргона [5]. На кремниевой подложке последовательно сформированы слои двуоксида кремния (SiO_2), нитрида кремния, карбида кремния и платины (нижний электрод). Двуокись кремния толщиной 0,2–0,5 мкм получена термическим окислением. Нитрид кремния получен CVD методом осаждения из газовой фазы в плазме из отношения газов аммиака, моносилана и аргона. Данный слой жертвенный при вытравливании балки. Пленка карбида кремния толщиной 1 мкм получена ВЧ-магнетронным распылением с последовательным ионным ассистированием для получения необходимой шероховатости поверхности, приближая границу раздела с пленкой ЦТС к монофазной. Методом резистивного испарения нанесен нижний электрод из платины толщиной 0,8 мкм. Толщина сегнетоэлектрической пленки ЦТС составила 0,4 мкм, при температуре осаждения 150°C . Перед нанесением сегнетоэлектрической пленки проводилась обработка поверхности платины ионным источником, а затем и процесс осаждения сегнетоэлектрической пленки чередовался с обработкой осаждаемой поверхности ионным источником, благодаря чему увеличивалась сплошность пленки. Температура отжига составляла 530°C , время отжига – 40 мин. Верхний электрод толщиной 0,8 мкм получен резистивным испарением. Травление жертвенного слоя осуществляли с помощью плазмохимического травления.

На рис. 1 представлена температурная зависимость d_{33} (Т). Видно, что при нагреве до 250°C d_{33} уменьшается не более чем на 10 % и, главное, отсутствует эффект деполяризации образца, что согласуется с [6–8].

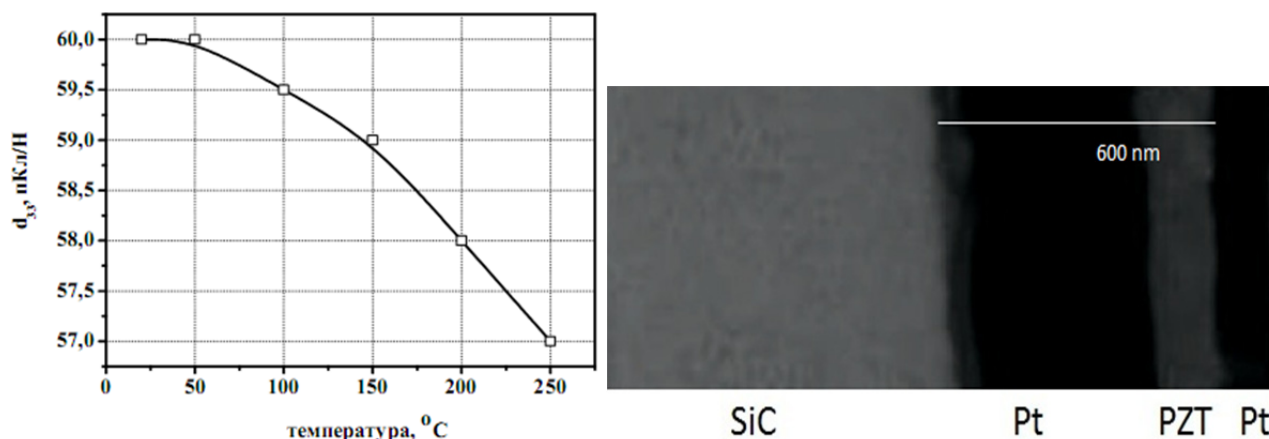


Рис. 1. Температурная зависимость остаточного пьезомодуля d_{33} пленки ЦТС, поляризованной горячим способом и РЭМ снимок поперечного разреза гетероструктуры Pt/PZT/Pt/SiC

Наблюдали эффект увеличения остаточного пьезомодуля сразу после создания устойчивого поляризованного состояния в пленках из-за продолжающихся процессов ее поляризации в поле зарядов, захваченных на ловушки в объеме пленки в соответствии с [2].

Исследование границы раздела полученной гетероструктуры выполнено на растровом электронном микроскопе.

Библиографический список

1. Баринов, И. Н. Высокотемпературные тензорезистивные датчики давлений на основе карбида кремния. Состояние разработок и тенденции развития / И. Н. Баринов // Компоненты и технологии. – 2010. – № 8. – С. 64–71.
2. Мухортов, В. М. Гетероструктуры на основе наноразмерных сегнетоэлектрических пленок: получение, свойства и применение / В. М. Мухортов, Ю. И. Юзюк. – Ростов н/Д : ЮНЦ РАН, 2008. – С. 224.
3. Scott, J. F. The physics of ferroelectric ceramic thin films for memory applications / J. F. Scott // *FerroelectricsRev.* – 1998. – Vol. 1. – P.1
4. Лучинин, В. Отечественный полупроводниковый карбид кремния: шаг к паритету / В. Лучинин, Ю. Таиров // Современная электроника. – 2009. – № 7. – С. 12–15.
5. Shibata, T. Sensors and Actuators A / T. Shibata, K. Unno, E. Makino, S. Shimada // *Physical.* – 2004. – Vol. 114. – P. 398.
6. Яффе, Б. Пьезоэлектрическая керамика / Б. Яффе, У. Кук, Г. Яффе. – М. : Мир, 1974. – С. 288.
7. Баринов, И. Н. Конструктивно-технологические проблемы обеспечения долговременной стабильности параметров высокотемпературных полупроводниковых тензорезистивных датчиков давлений / И. Н. Баринов, В. С. Волков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2011. – Спец. выпуск № 3. – С. 85–95.
8. Аверин, И. А. Управление составом многокомпонентных систем / И. А. Аверин, Р. М. Печерская // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2006. – № 5. – С. 184–190.

Таишев, С. Р.

Балка микроантилеверная на основе низкоразмерных гетероструктур из смарт-материала и углеродного материала / С. Р. Таишев, Д. А. Кудрявцева // Инжиниринг и технологии. – 2017. – Vol. 2(1). – DOI 10.21685/2587-7704-2017-2-1-6