

## ТЕПЛОВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ БОЛОМЕТРИЧЕСКОГО ТИПА

Садченко В.В., Чан В.Ч.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

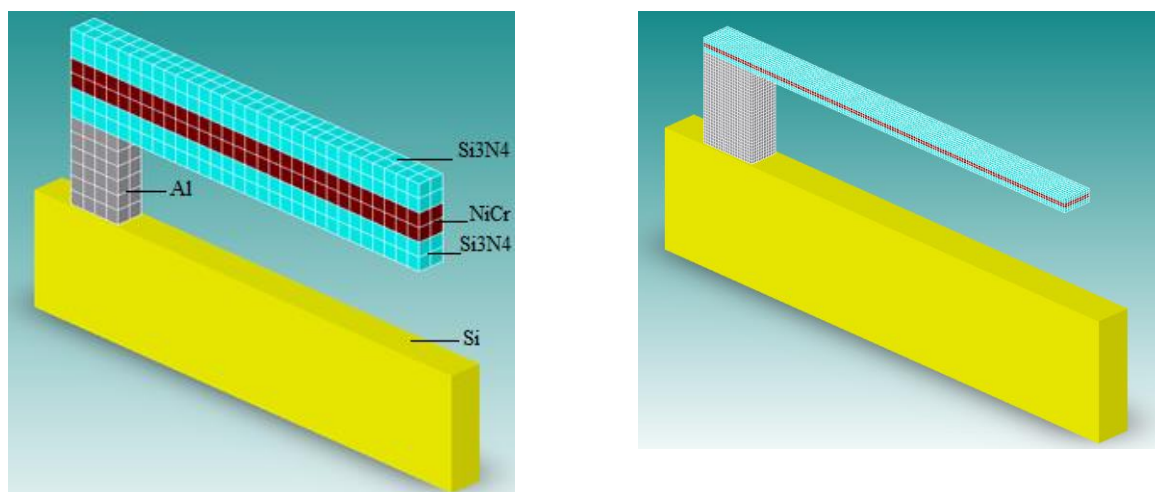
Ловшенко И.Ю. – ст. преподаватель каф. МНЭ,  
зав. НИЛ 4.4 НИЧ БГУИР

Болометры – это миниатюрные резистивные детекторы температуры или термисторы, а также другие типы температурочувствительных резисторов, используемых в основном для измерения среднеквадратичных значений интенсивности электромагнитных излучений в широком спектральном диапазоне от среднего ИК до микроволнового диапазона [1]. Области применения таких детекторов включают определение ИК-температуры, построение тепловых образов, измерение локальных полей при высокой мощности излучений, тестирование СВЧ-устройств [2]. Принцип действия всех болометров основан на фундаментальном физическом законе, связывающем величину поглощенного электромагнитного сигнала с рассеиваемой мощностью [3].

Моделирование и создание таких устройств может представлять значительные трудности, так как необходимо решение целого комплекса задач математической физики (деформации твердого тела, теплопроводности, диффузии, электростатики, гидродинамики и других). Кроме того, моделирование микроустройств требует учета факторов, обычно не принимаемых во внимание при анализе устройств на макроуровне: сопротивления воздуха (или среды, в которой будет использовано устройство) и силы тяжести в электростатических устройствах, поверхностного натяжения жидкости в жидкостных устройствах.

Для описания поведения микромеханических устройств применяются различные подходы: аналитические, с помощью поведенческих моделей (ROM), с использованием дискретной модели на основе конечных элементов, сочетание нескольких способов описания.

Универсальные пакеты конечного элементного анализа, такие, как ANSYS, Algor, Comsol Multiphysics (Femlab) и другие, обеспечивают решение описанных выше задач.[4] Одним из таких инструментов является программный продукт CoventorWare и его различные модули. Используя программный модуль CoventorWare можно создать описание приборной структуры, задать параметры исходных материалов и выполнить моделирование эксплуатационных характеристик болометра. Одним из важных параметров для болометра, является устойчивость к механическим напряжениям (внутренним и внешним). Для оценки механической прочности конструктивного решения болометра проведено термомеханическое моделирование консольных балок (рисунок 1), выполняющих роль подвеса активной области. Балка состоит из трёх слоёв: нижний  $\text{Si}_3\text{N}_4$  (слой 1), NiCr (слой 2), верхний  $\text{Si}_3\text{N}_4$  (слой 3). Ширина балки равна 1 мкм. Балка опирается на алюминиевую опору квадратного сечения (1x1 мкм) высотой 3 мкм. Длина фрагмента без опоры – 15 мкм. Для исследования выбраны две конструкции, отличающиеся друг от друга толщиной слоев: для структуры №1 толщины слоев 1-3 равны 1 мкм, для структуры №2 – 0,15 мкм.



а) б)  
Рисунок 1 – Структуры №1 (а) и №2 (б) консольной балки

Технологический маршрут формирования конструкции балок условно разделён на 7 операций: задание подложки (кремний, толщина 4 мкм); осаждение алюминиевой пленки (толщина 3 мкм); осаждение и травление в соответствии с топологией тонких пленок  $\text{Si}_3\text{N}_4$  (слои 1 и 3) и NiCr (слой 1); подтрав алюминиевой пленки.

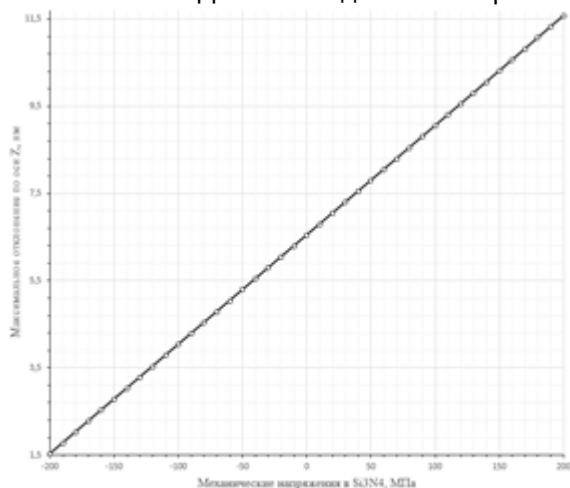
Деформация возникает, когда механическая жесткость устройства уравнивается разрешением остаточных напряжений при изготовлении, а также повышенными температурами, из-за которых происходит неравномерное изменение геометрических размеров слоев из-за разных коэффициентов теплового расширения материалов. Деформации консольных балок вдоль оси OZ (плоскостность) оценена с помощью термомеханического анализа в установленном режиме, при котором конструкции нагреваются до температуры  $T = 300$  К. Повышение температуры из-за излучения, Джоулева нагрева, проводимости и т. д. не учитывается. В качестве термоинтерфейса (точка с фиксированной температурой  $T = 300$  К) определена алюминиевая опора. Внутренние механические напряжения материалов составляют для  $\text{Si}_3\text{N}_4$  200 МПа, для NiCr 1 ГПа. Результаты моделирования для удобства сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты термомеханического анализа

Параметр	Конструкция №1		Конструкция №2		теплов ой поток 2 нВт/ мкм <sup>2</sup> и T = 37 3К
	без учета внутрен них напряж ений	с учетом внутрен них напряж ений	без учета внутрен них напряж ений	с учетом внутрен них напряж ений	
Деформа ции вдоль оси OZ (прогиб) в области свободног о конца консольно й балки, нм	-8,75	5,0	-5,3	11,6	-3,3
Деформа ции вдоль оси OZ (прогиб) в области закреплен ного конца консольно й балки, нм	4,3	-3,1	0,5	-0,4	1,6

По результатам моделирования установлено, что наибольшее отклонение по оси Z (почти 12 нм) соответствует конструкции №2. Показано, что происходит изменение направления изгиба с учетом внутренних механических напряжений и без него.

Для более детального рассмотрения и выявления зависимости величины отклонения



по оси Z от внутренних механических напряжений в материалах было проведено моделирование Конструкции №2 с изменением внутреннего механического напряжения в слоях  $\text{Si}_3\text{N}_4$  от -200 до 200 Мпа с шагом в 10 Мпа (для NiCr механическое напряжение составляет 1 ГПа). Результаты моделирования представлены на рисунке 2.

Наблюдается линейная зависимость величины отклонения консольной балки по оси Z от внутренних механических напряжений в слоях  $\text{Si}_3\text{N}_4$  и NiCr. совпадают с теоретическими данными

Рисунок 2 - Зависимость величины отклонения по оси Z от механических напряжений в  $\text{Si}_3\text{N}_4$  и NiCr

*57-я Научная Конференция Аспирантов, Магистрантов и Студентов БГУИР, 2021 г.*

Расчеты с использованием программного продукта CoventorWare предлагают возможность выполнения мультифизического (междисциплинарного) анализа компонентов микроэлектроники с учетом факторов, оказывающих существенно влияние на работу микроустройств, позволяющего повысить точность результатов вычислений, сократить сроки и избежать ошибок при проектировании устройств.

**Список использованных источников:**

1. *Unil Perera, A.G. Bolometers / A.G. Unil Perera – Rijeka : Intech Design Team, 2012. – 196 p.*
2. *Hengstberger, F. Absolute Radiometry: Electrical Calibrated Thermal Detectors of Optical Radiation / F. Hengstberger – Boston : Academic Press, Inc., 1989. – 266 p.*
3. *Родионов, Ю.А. Микроэлектронные датчики и сенсорные устройства : учеб.пособие / Ю.А. Родионов – М. : БГУИР, 2019. – 300 с.*
4. *Коловский, А.А Компьютерное моделирование компонентов МЭМС: научная статья / А.А. Коловский, А.А. Левицкий, П.С. Маринушкин // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем. – 2008. – №1. – 398–401 с.*