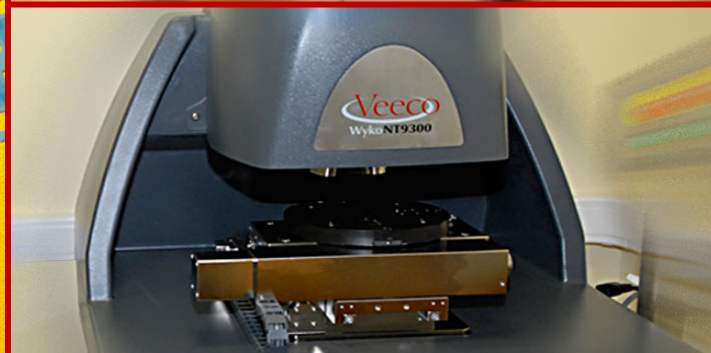
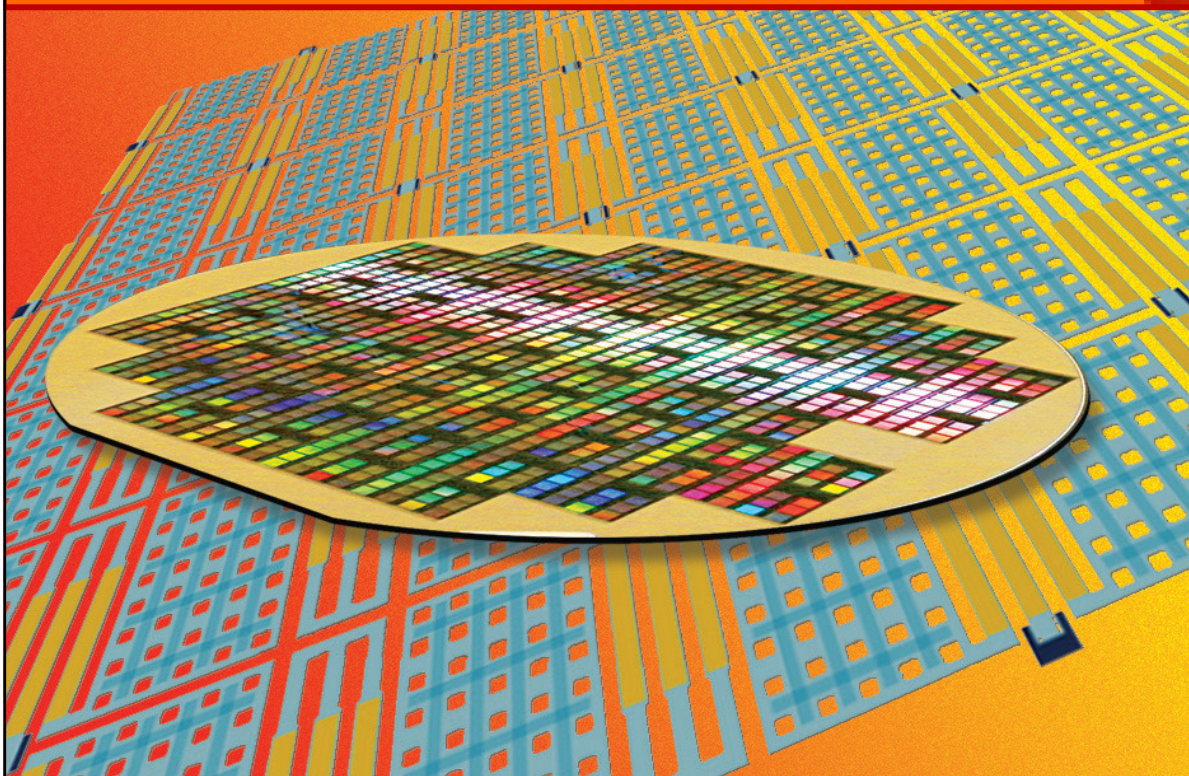


ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МАТРИЧНЫХ СЕНСОРОВ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ОПТИЧЕСКОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ СИГНАЛА НА ОСНОВЕ МИКРООПТОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ (МОМС)

*В. А. Беспалов, Д. Б. Рыгалин, Е. А. Фетисов, Р. З. Хафизов, В. И. Золотарев
И. А. Решетников, Г. А. Рудаков, Р. В. Лапшин, Е. П. Кириленко*

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации



3-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
“ТЕХНОЛОГИИ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ В МИКРО- И НАНОСИСТЕМНОЙ ТЕХНИКЕ”
28-29 ноября 2012 г.

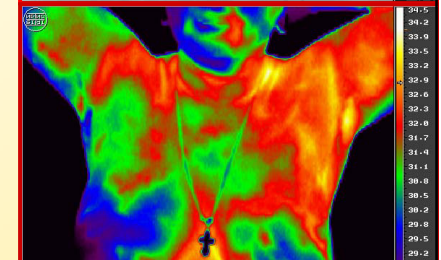
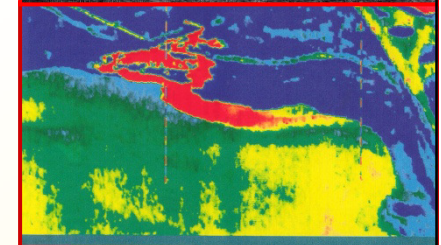
Актуальность работы

Преимущества сенсоров МОМС с оптической модуляцией:

- работа при комнатной температуре
- отсутствие электрических цепей считывания сигнала
- встроенное преобразование ИК-изображения в видимое изображение
- более дешёвая чем МЭМС/КМОП технология
- использование стандартных ПЗС или КМОП матриц

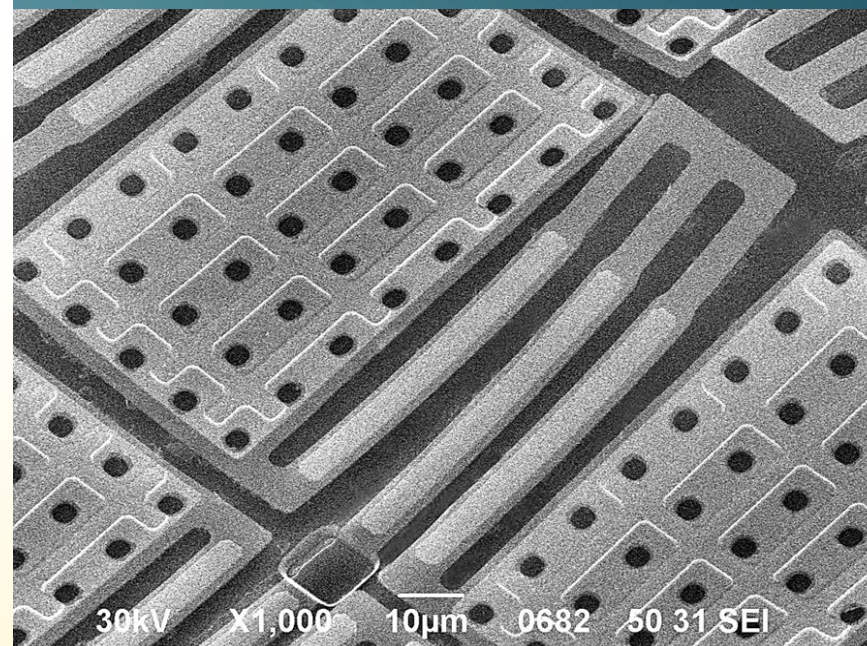
Важные гражданские и военные применения:

- пожарная служба
- энергосберегающие технологии
- прицелы и системы слежения
- системы безопасности автомобилей
- медицина



Принцип действия чувствительных элементов экспериментальных образцов матрицы МОМС

Интегральные матричные сенсоры теплового излучения с оптической модуляцией сигнала на основе микрооптомеханических систем (МОМС) относятся к перспективным приёмникам излучения в ИК-диапазоне. В основе функционирования данного типа устройств лежит термомеханический эффект, в соответствии с которым при изменении температуры происходит изгиб биматериальной микроконсоли. Изгиб возникает из-за разности коэффициентов теплового расширения пары материалов. Величина изгиба составляет от нескольких единиц до нескольких сотен нанометров при изменении температуры на 1 К.

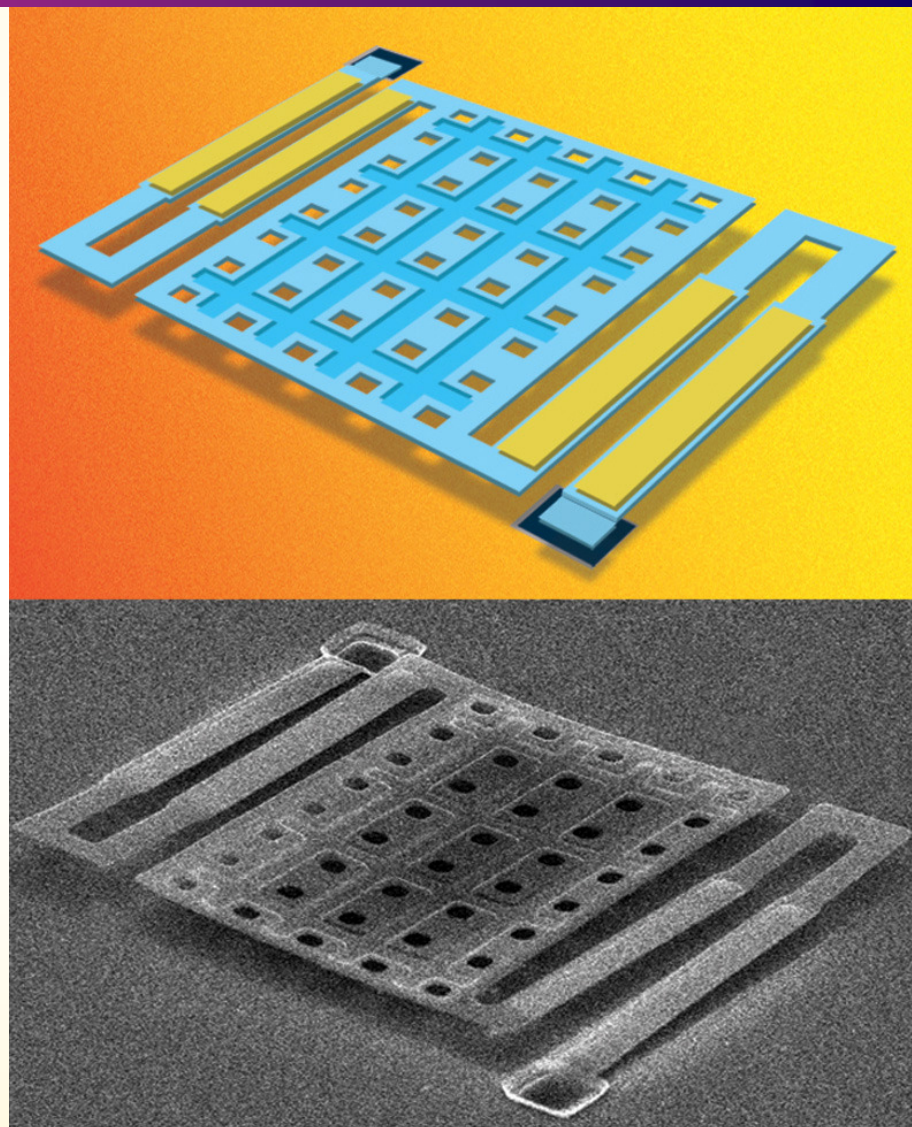


Принцип действия чувствительных элементов экспериментальных образцов матрицы МОМС

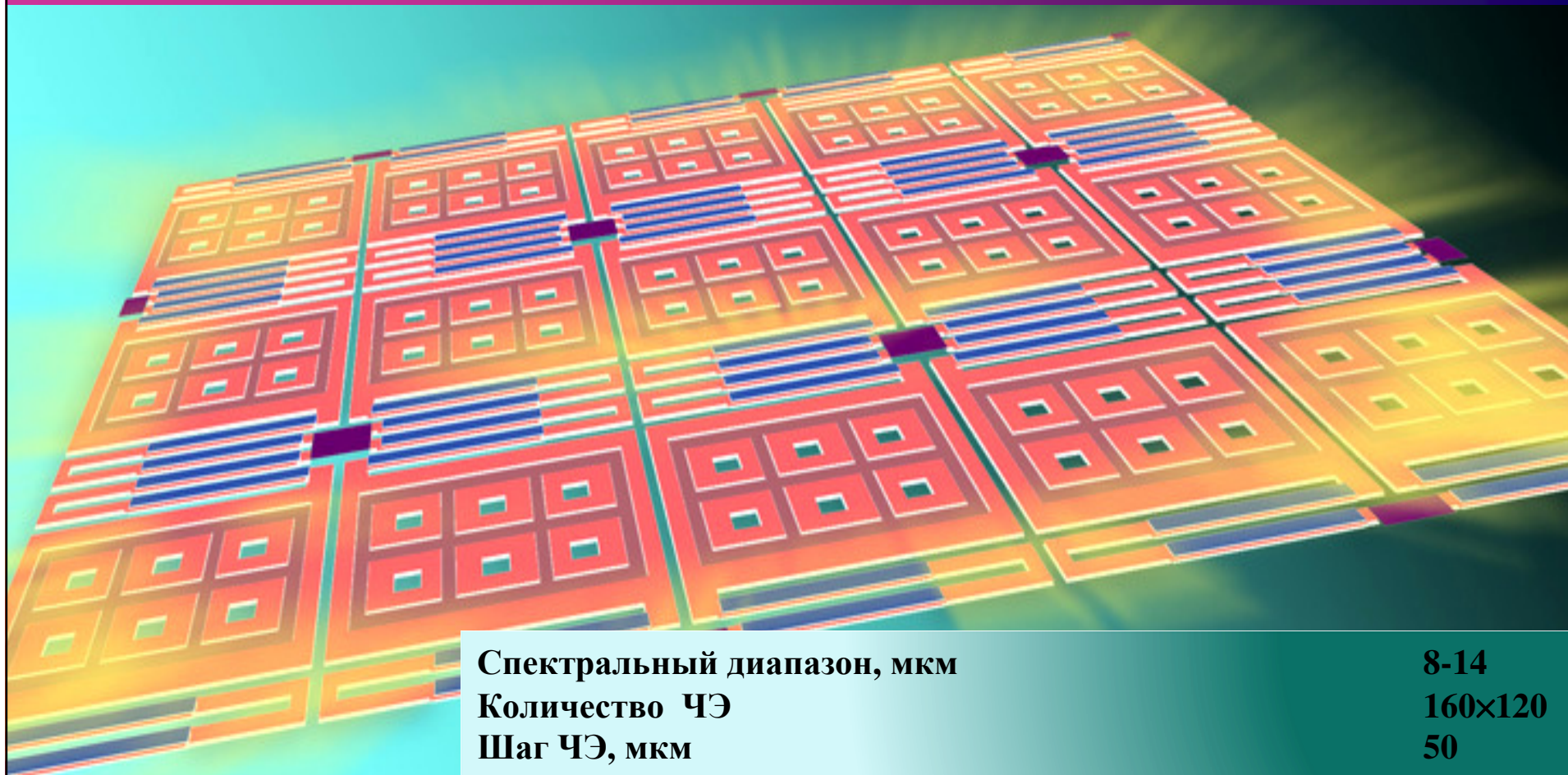
Поглощающий тепло чувствительный элемент (ЧЭ) ИК-сенсора МОМС выполнен в виде мембраны субмикронной толщины, термоизолированной от подложки. Мембрана закреплена на биматериальных микроконсолях.

Термоизоляция обеспечивается вакуумным зазором между мембраной и подложкой, а также конструкцией и подбором материалов микроконсоли.

Разработанная конструкция биматериального сенсора обладает высоким термосопротивлением, препятствующим оттоку на подложку теплового излучения, поглощённого мембраной.



Конструктивные параметры экспериментальных образцов матрицы МОМС

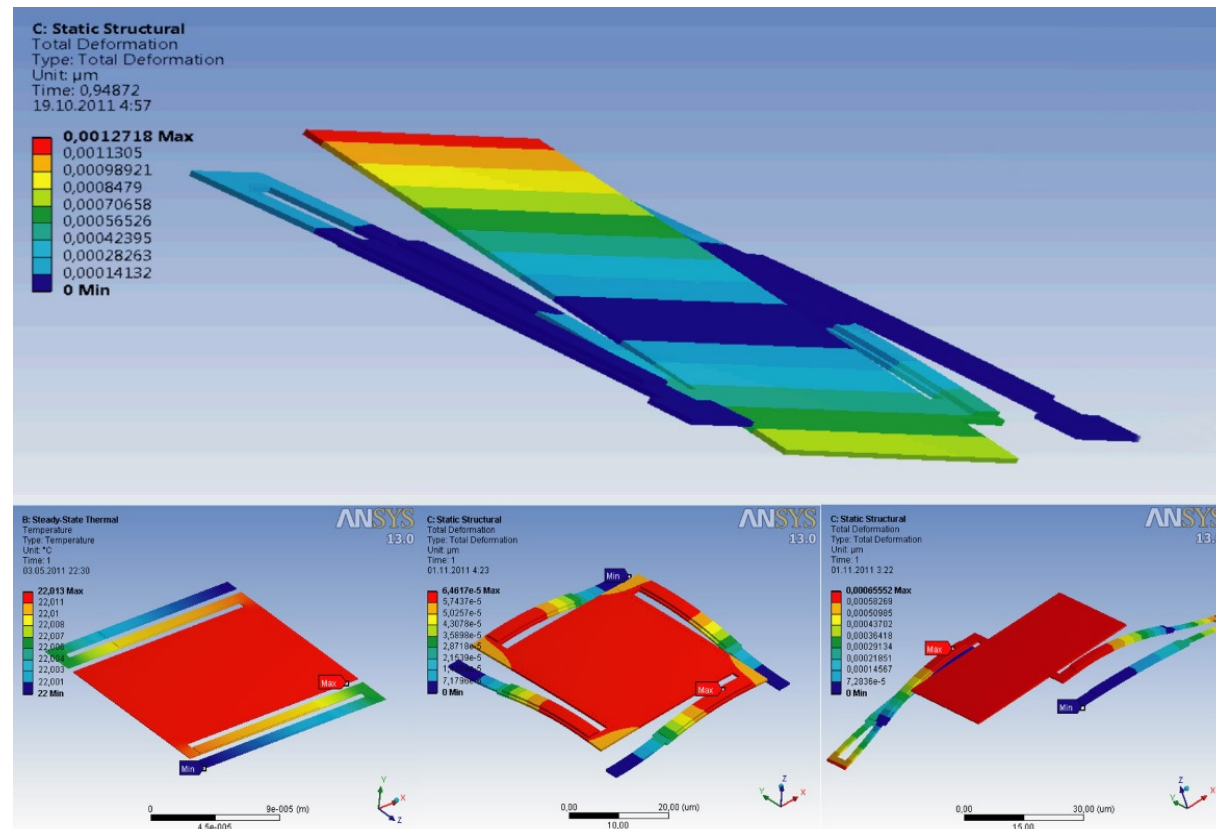


Спектральный диапазон, мкм	8-14
Количество ЧЭ	160×120
Шаг ЧЭ, мкм	50
Величина контролируемой деформации, нм	0.5
Минимальный воспроизводимый размер, мкм	1.2
Площадь кристалла, мм²	48

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МАТРИЧНЫХ СЕНСОРОВ ТЕПЛОвого ИЗЛУЧЕНИЯ С ОПТИЧЕСКОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ СИГНАЛА НА ОСНОВЕ МИКРООПТОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ (МОМС)

Моделирование микромеханических детекторов

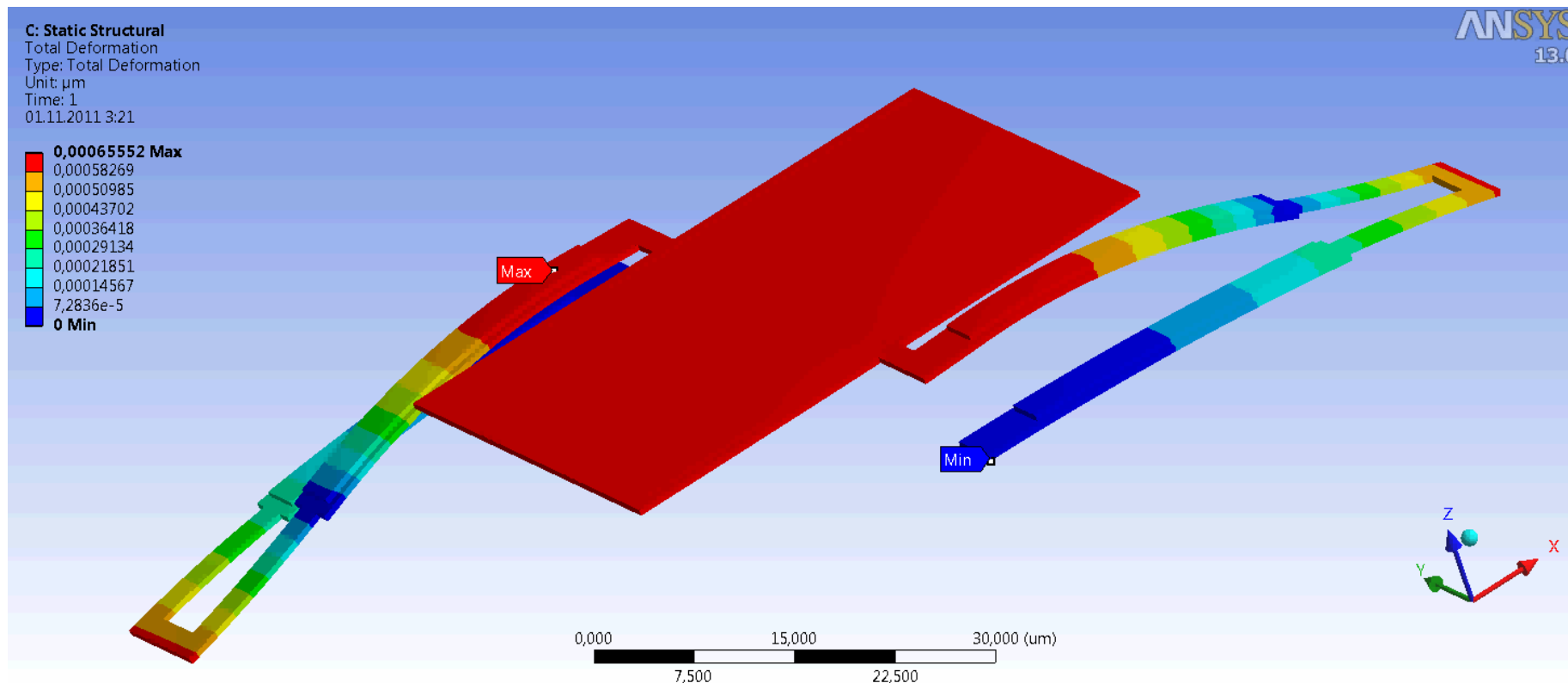
Моделирование процесса термомеханического отклика на тепловое воздействие для различных вариантов ЧЭ выполнено с помощью системы ANSYS. В качестве исходных данных для анализа взяты параметры материалов, используемых в технологическом процессе (толщина мембраны из Si_3N_4 ~0.5 мкм и толщина слоя Al биматериальной части микроконсоли ~0.5 мкм).



Параметры теплового воздействия рассчитаны, исходя из изменения температуры сцены на 1 К, что для стандартной оптической системы соответствует плотности ИК-излучения в плоскости образца ~1 Вт/м².

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МАТРИЧНЫХ СЕНСОРОВ ТЕПЛОвого ИЗЛУЧЕНИЯ С ОПТИЧЕСКОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ СИГНАЛА НА ОСНОВЕ МИКРООПТОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ (МОМС)

Моделирование микромеханических детекторов



Анализ результатов моделирования позволил сделать вывод о том, что для разработанных ЧЭ можно ожидать термомеханическую чувствительность не хуже 4-7 нм/К

Технология МОМС

Основные технологические операции формирования биматериального чувствительного элемента



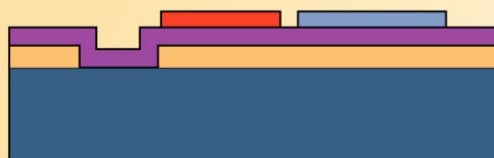
1. Осаждение жертвенного слоя SiO_2



2. Травление окон в жертвенном слое для создания анкеров, осаждение слоя Si_3N_4



3. Напыление слоя NiCr и его травление (формирование отражающего зеркала)



4. Напыление слоя Al и его травление (формирование биморфной части консоли)



5. Травление слоя Si_3N_4 (формирование геометрии мембраны)

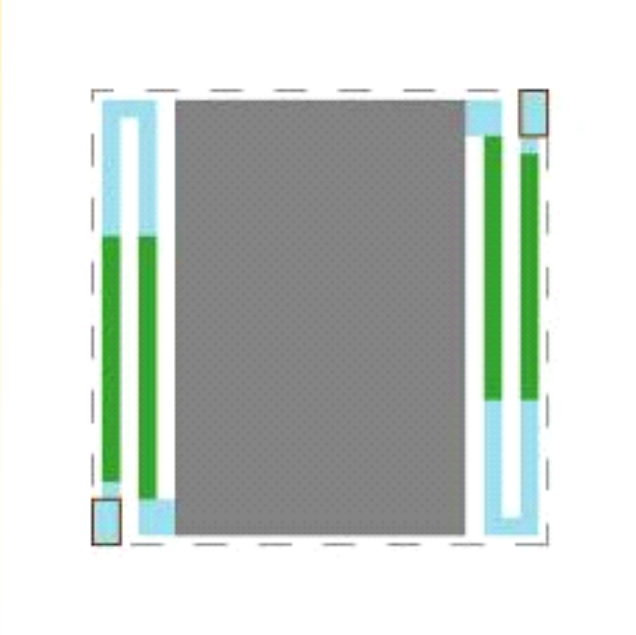
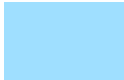






6. Удаление жертвенного слоя SiO_2



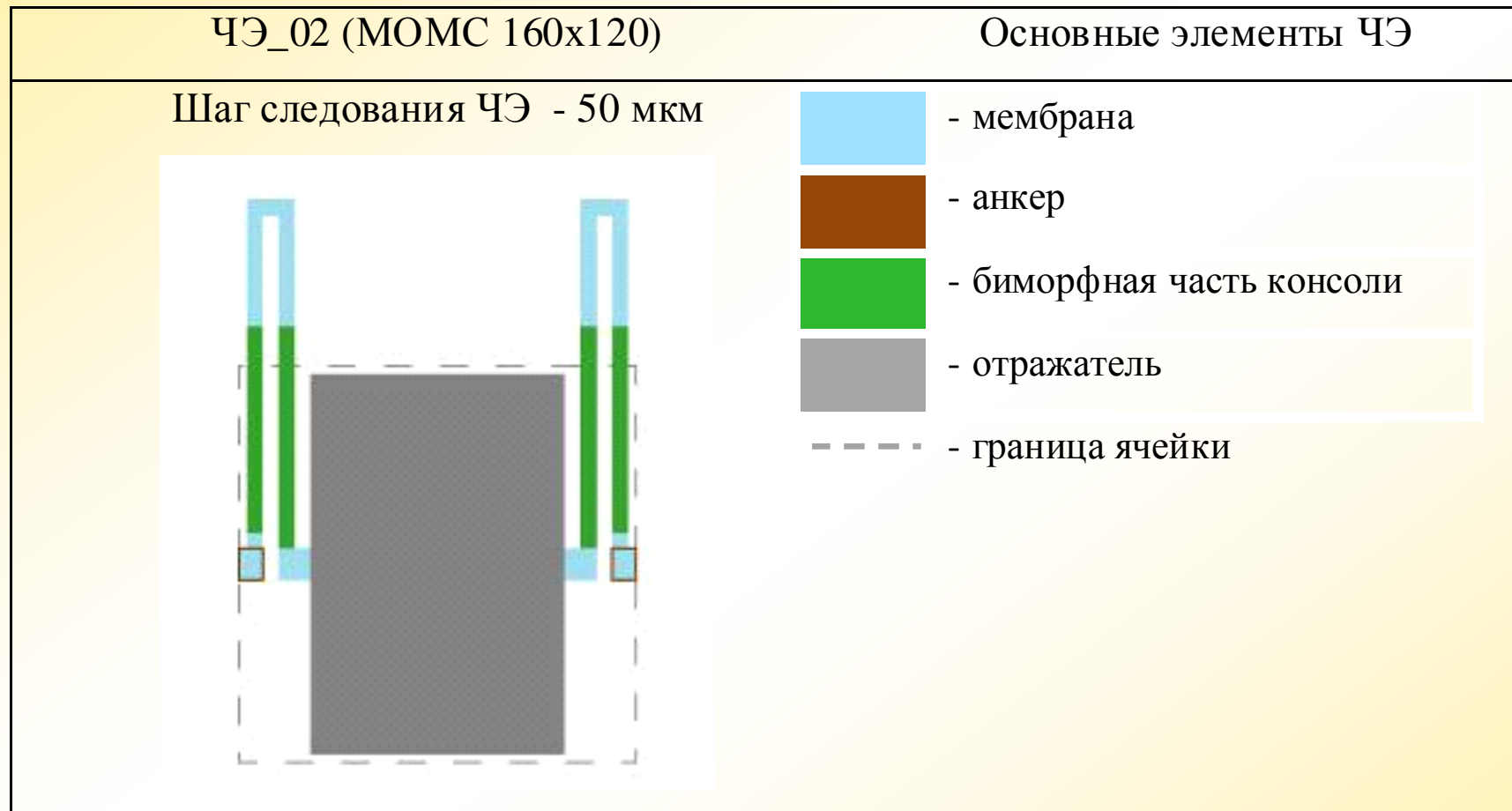
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МАТРИЧНЫХ СЕНСОРОВ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ОПТИЧЕСКОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ СИГНАЛА НА ОСНОВЕ МИКРООПТОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ (МОМС)

Варианты конструкции ЧЭ матрицы МОМС 160×120 элементов

ЧЭ_01 (МОМС 160×120)	Основные элементы ЧЭ
<p data-bbox="389 424 999 469">Шаг следования ЧЭ - 50 мкм</p> 	<ul style="list-style-type: none"><li data-bbox="1167 427 1525 480"> - мембрана<li data-bbox="1167 517 1447 569"> - анкер<li data-bbox="1167 603 1834 655"> - биморфная часть консоли<li data-bbox="1167 694 1554 746"> - отражатель<li data-bbox="1167 785 1637 837"> - граница ячейки

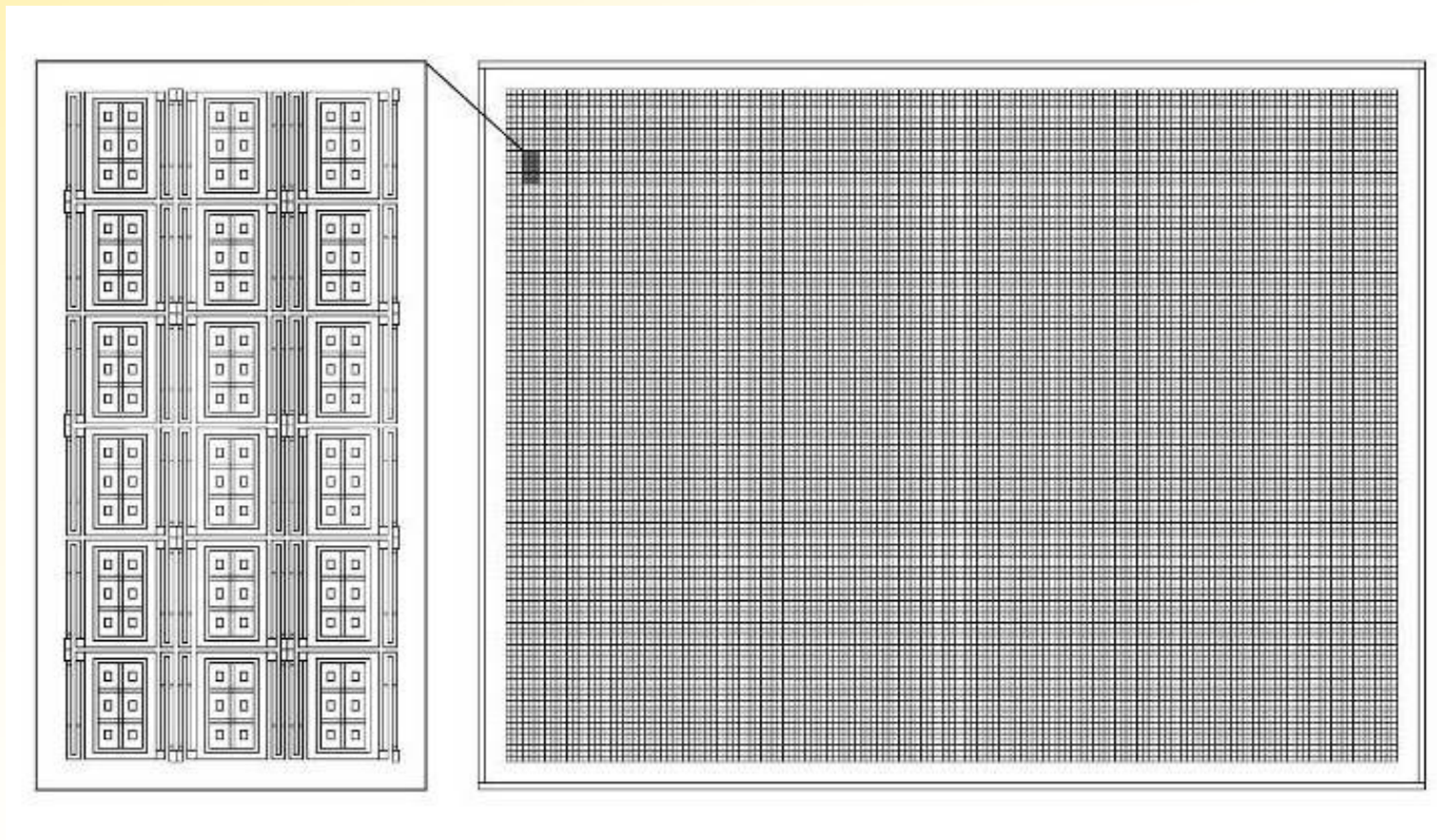
Чувствительный элемент с диагональным закреплением консолей

Варианты конструкции ЧЭ матрицы МОМС 160×120 элементов



Чувствительный элемент с центральным закреплением консолей

Топология экспериментальных образцов матриц МОМС



Топология интегрального матричного ИК-сенсора с оптической модуляцией (МОМС-160×120)

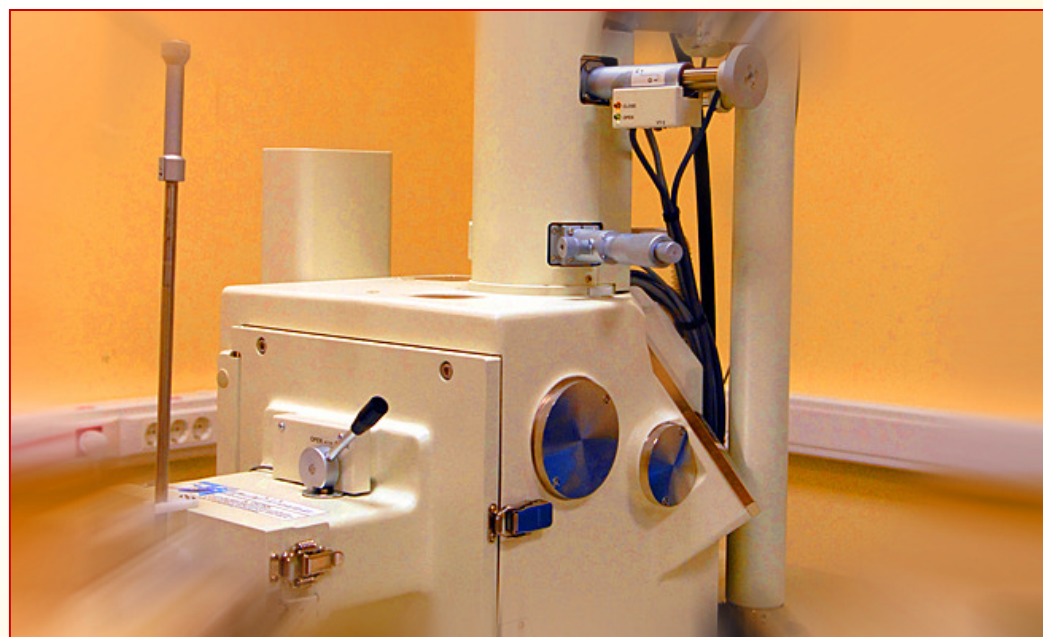
Контроль функционирования экспериментальных образцов матрицы MOMC

Для предварительного анализа образцов MOMC использовался растровый электронный микроскоп (РЭМ) JSM-6490LV (Jeol, Япония).

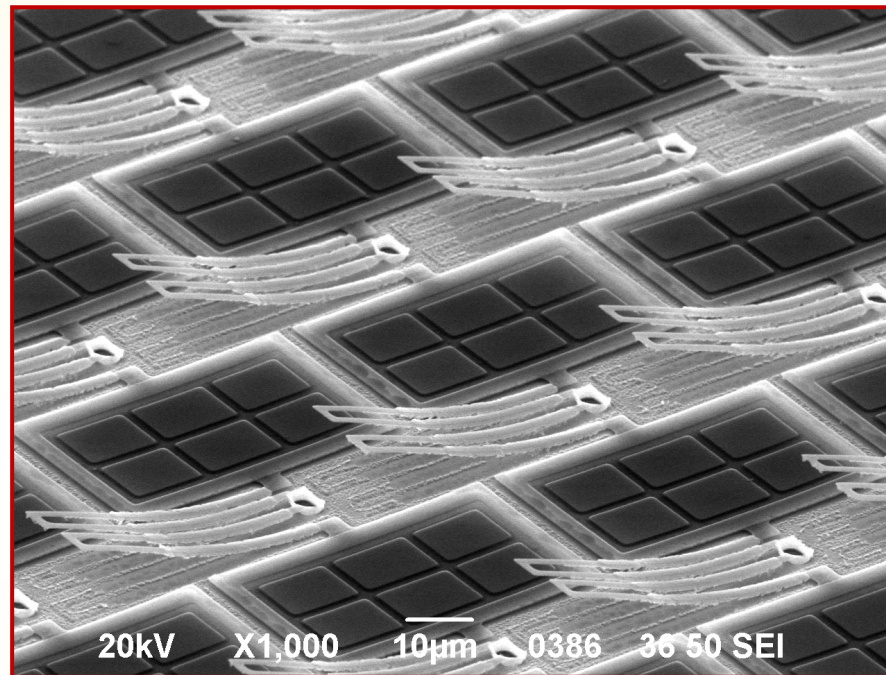
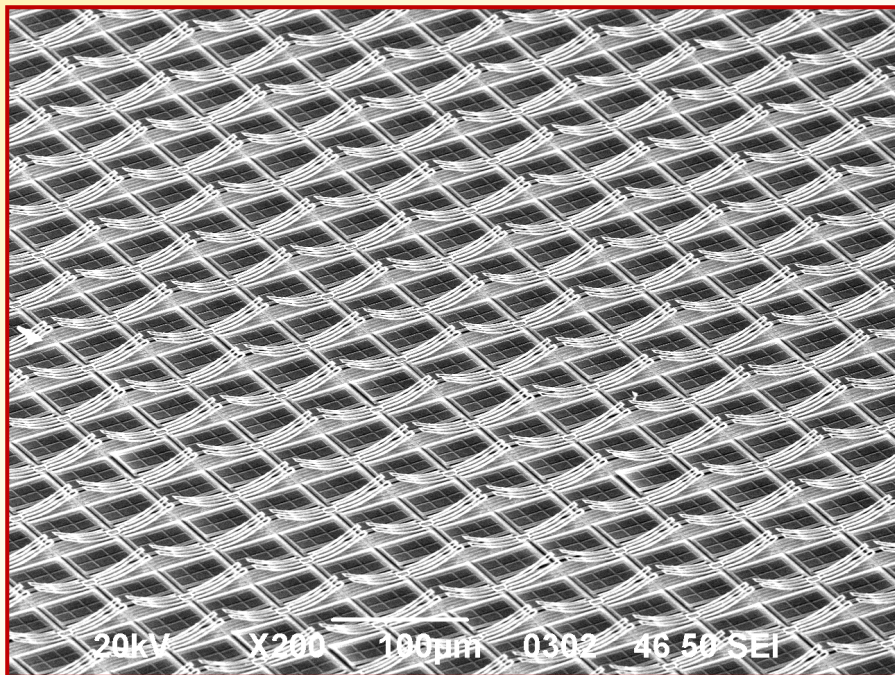
Контроль работоспособности образцов осуществлялся путём проведения измерений при различных температурах образцов.

Особенностью использования метода РЭМ является возможность прямого визуального наблюдения за функционированием массива биматериальных сенсоров MOMC.

Обработка результатов измерений с использованием анимационных процедур для последовательно измеренных кадров позволяет выявить динамику механических реакций элементов на тепловые воздействия

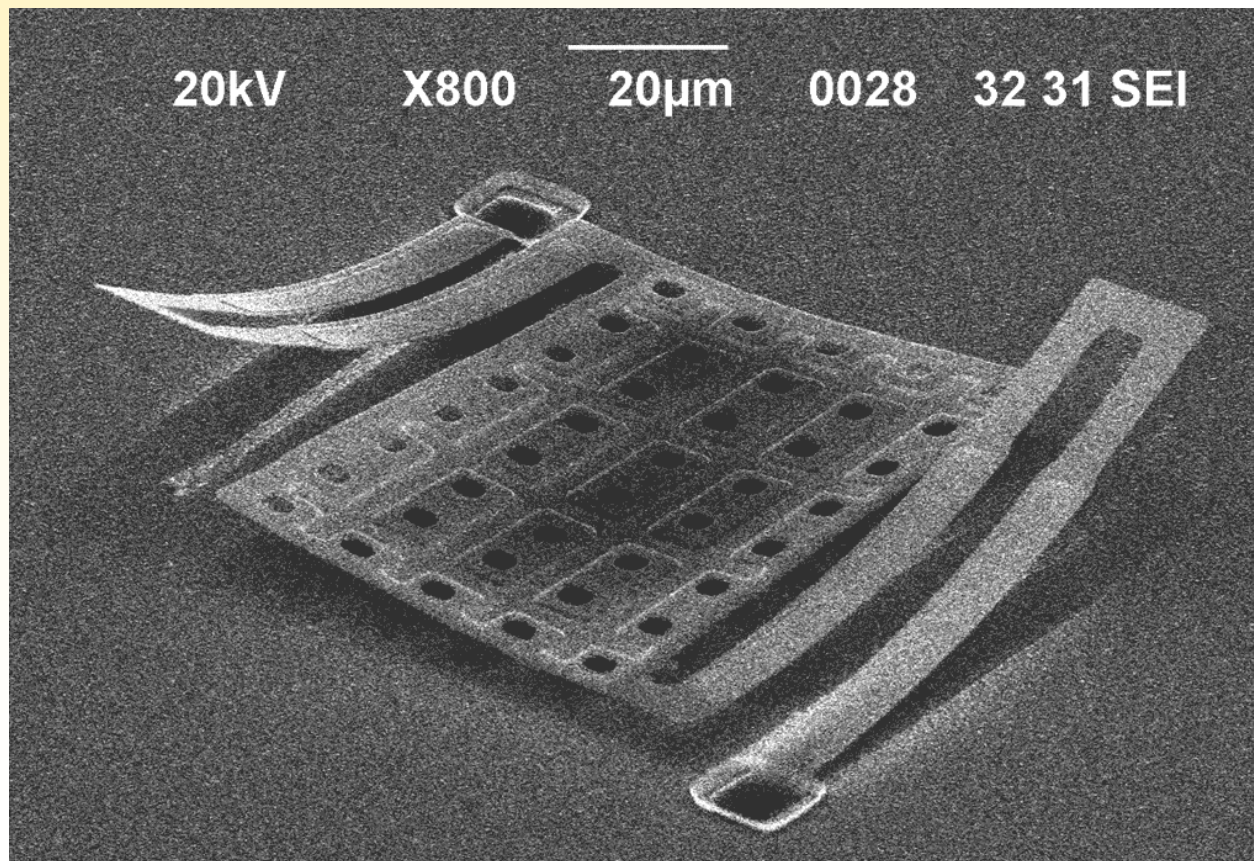


Контроль функционирования экспериментальных образцов матрицы МОМС



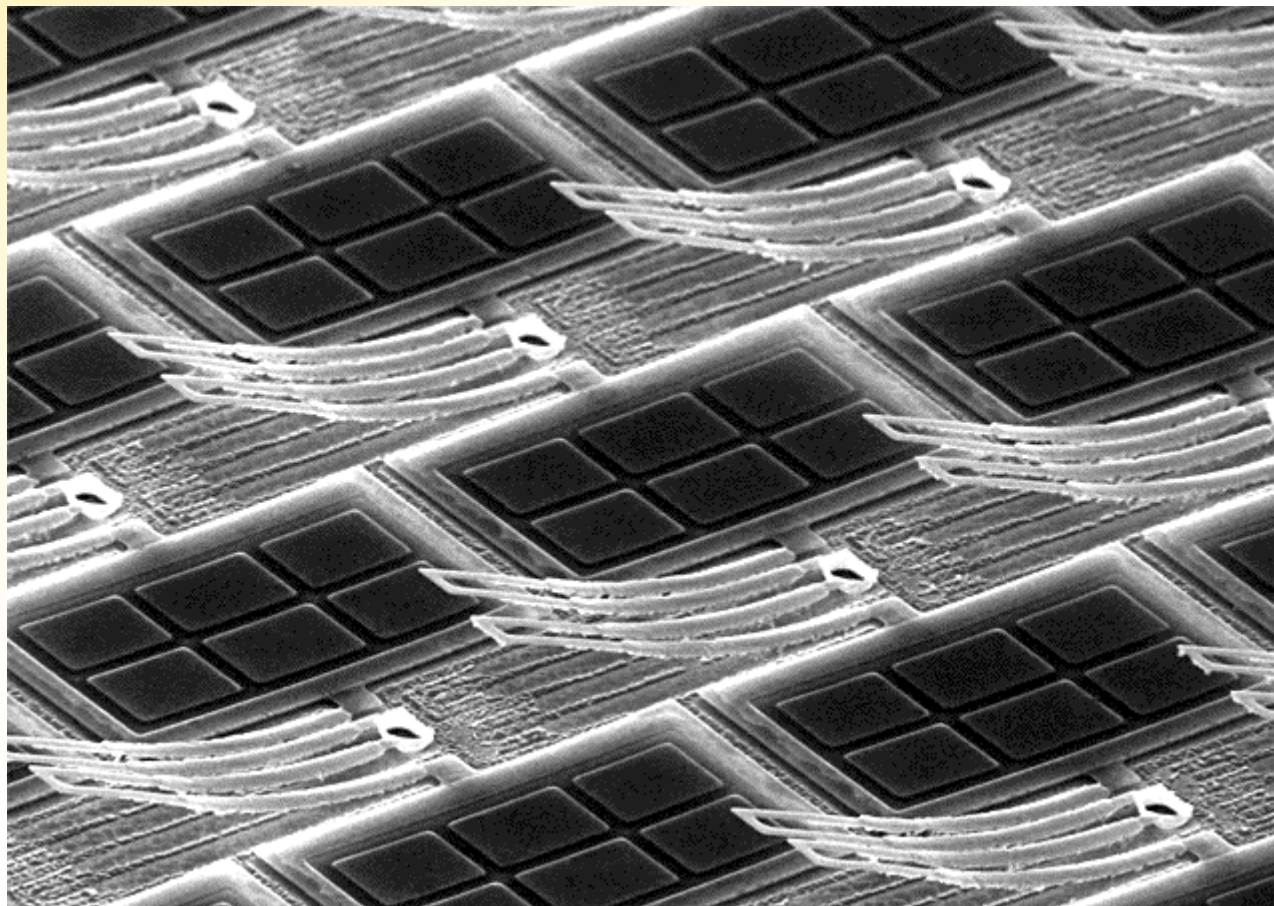
Микрофотографии экспериментального образца матрицы МОМС с числом элементов 120×160, полученные на РЭМ JSM-6490LV

Измерение параметров и характеристик экспериментальных образцов матрицы МОМС



Реакция ИК-сенсора МОМС на изменение температуры

Контроль функционирования экспериментальных образцов матрицы МОМС



Реакция массива ИК-сенсоров матрицы МОМС на изменение температуры

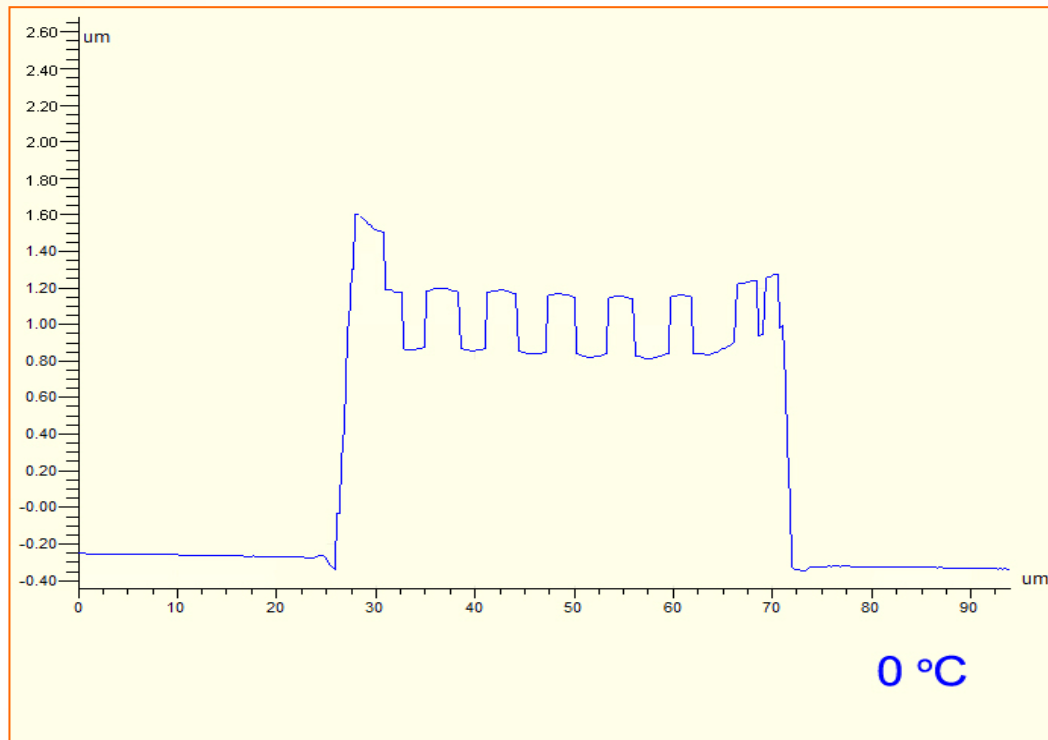
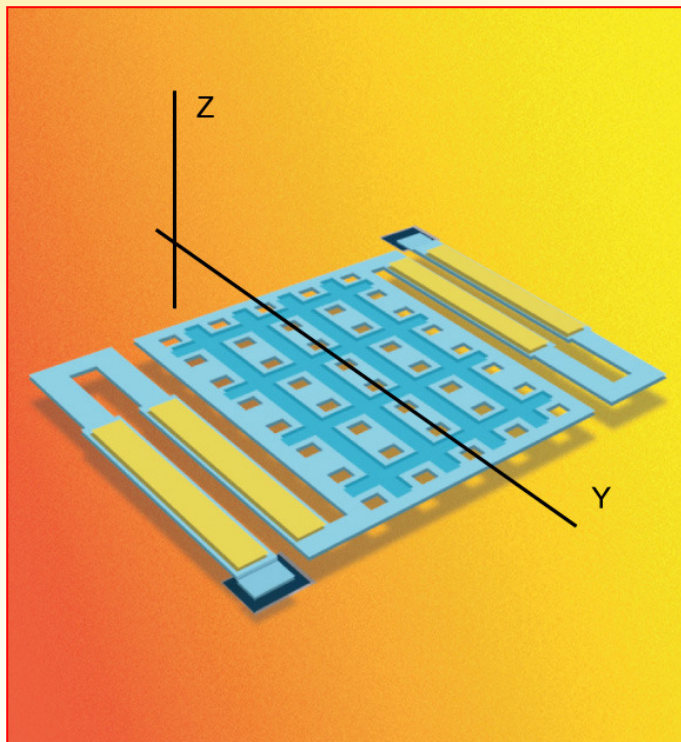
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МАТРИЧНЫХ СЕНСОРОВ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ОПТИЧЕСКОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ СИГНАЛА НА ОСНОВЕ МИКРООПТОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ (МОМС)

Измерение термомеханической чувствительности экспериментальных образцов на профилометре Wyko NT9300



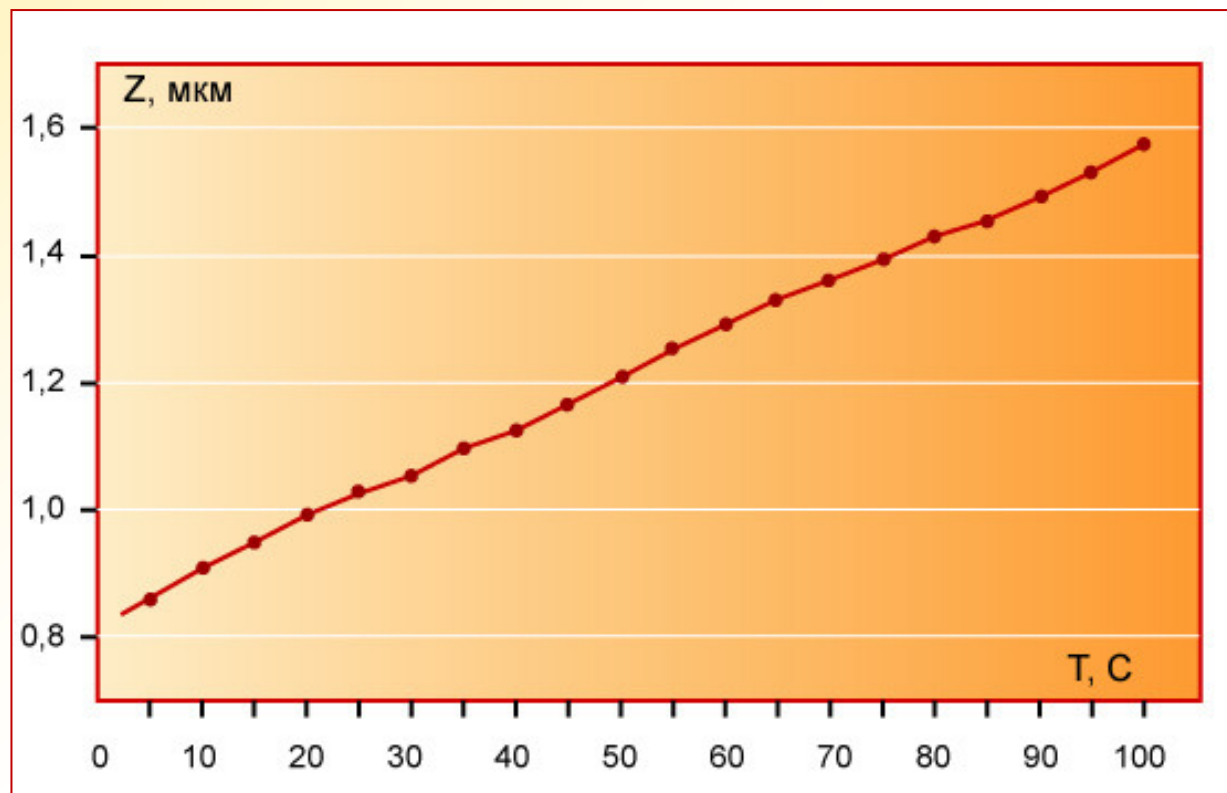
Для измерения термомеханической чувствительности экспериментальных образцов использовался оптический профилометр Wyko NT9300

Измерение термомеханической чувствительности экспериментальных образцов на профилометре Wyko NT9300



Реакция мембраны ИК-сенсора матрицы МОМС на изменение температуры.
Коэффициент термомеханической чувствительности $K_{ZT} = dZ/dT \approx 7.5 \text{ нм/}^\circ\text{C}$.

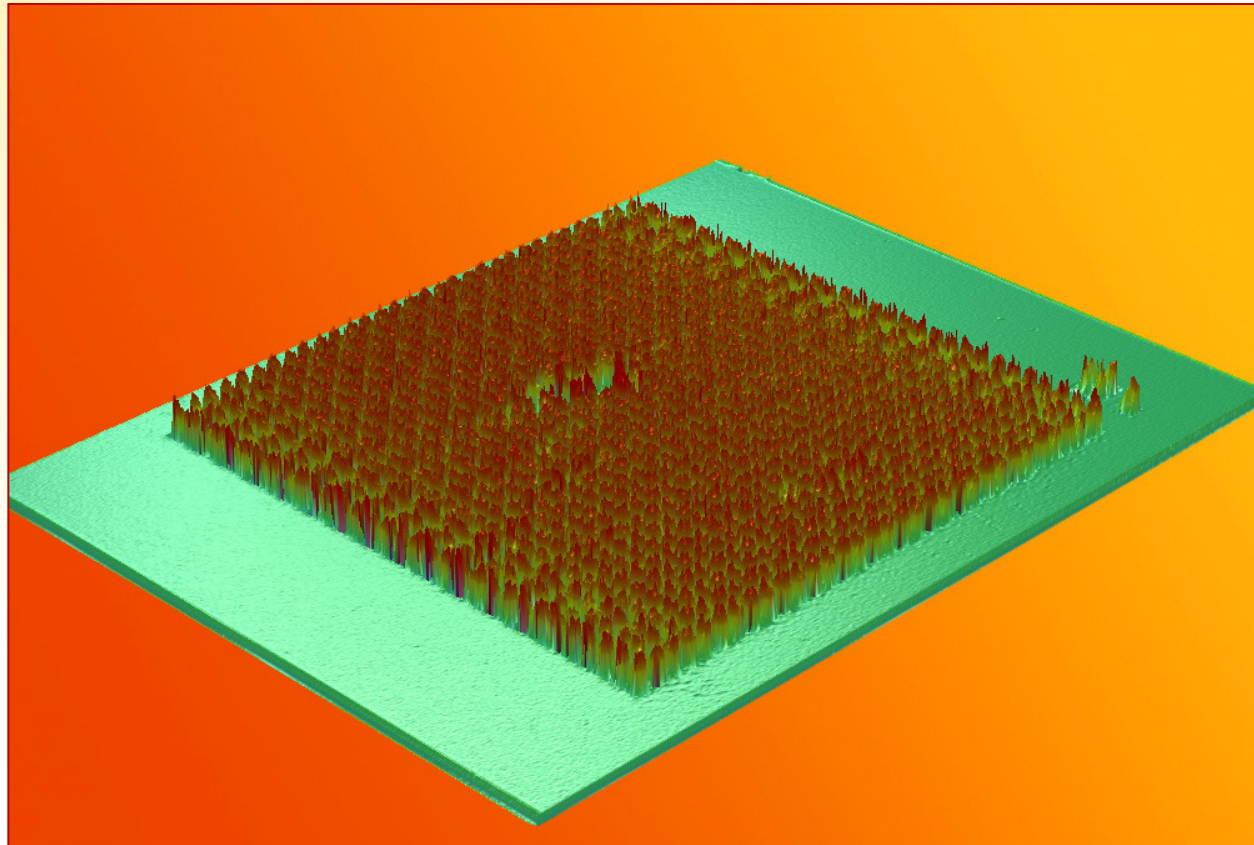
Измерение термомеханической чувствительности экспериментальных образцов на профилометре Wyko NT9300



Зависимость смещения мембраны биматериального ИК-сенсора MOMC от температуры. Коэффициент термомеханической чувствительности

$$K_{ZT} = dZ/dT \approx 7.5 \text{ нм/}^\circ\text{C}.$$

Измерение термомеханической чувствительности экспериментальных образцов на профилемере Wyko NT9300



Оптическое изображение отклика ИК-матрицы МОМС с числом элементов 32×32 (шаг элементов 50×50 мкм)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получены экспериментальные матричные биматериальные ИК-приёмники, образующие микрооптомеханическую систему (МОМС) с двумя типами чувствительных элементов. Степень интеграции МОМС до 160×120 элементов, площадь, занимаемая одним элементом, 50×50 мкм.

Теоретически показано, что неохлаждаемые ИК-приёмники на биматериальных структурах могут обладать чувствительностью ≈ 20 мК.

Модули матрицы содержат всего 6 технологических слоёв, включая “жертвенный” слой из оксида кремния.

Коммерциализация проекта

Неохлаждаемые ИК-приёмники на биматериальных структурах по параметрам не уступают матрицам микроболометров. ИК-приёмники на биматериальных структурах являются технологически значительно менее сложными, а значит более дешёвыми в производстве.