

# КОМПАКТНАЯ (ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ) МОДЕЛЬ НЕОХЛАЖДАЕМОГО ТЕПЛОВОГО ДЕТЕКТОРА БОЛОМЕТРИЧЕСКОГО ТИПА

Чан Ван Чиеу, Дао Динь Ха, Новиков П.Э.,

Корсак К.В., Ловшенко И.Ю., Стемпицкий В.Р.

Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроники  
Минск, Беларусь

## Введение

Тепловые детекторы и системы на их основе (тепловизоры) находят применение в широком спектре приложений, таких как военная, космическая, газовая промышленность, системы безопасности, медицинское оборудование. Обычно [1] работа детекторов обеспечивается в одной из двух областей электромагнитного спектра: длинноволновой (LWIR, длина волны  $\lambda$  от 8 до 14 мкм) и средневолновой (MWIR, от 3 до 5 мкм) инфракрасной. Неохлаждаемый тепловой детектор болометрического типа (микроболометр) по сравнению с другими типами ИК-детекторов обладает такими преимуществами, как низкая стоимость, малый вес и хорошая портативность.

Качество тепловизоров зависит не только от характеристик микроболометров, но и от реализации и параметров интегральной схемы считывания (ROIC). Таким образом, важной задачей в области проектирования сенсорных устройств, в т.ч. в области термографии, является разработка систем, обеспечивающих точную обработку входных данных, а также их преобразование в цифровой сигнал. Решить такую задачу можно только при наличии электрических моделей микроболометров, учитывающих как можно большее количество эффектов при их эксплуатации. В работе представлены результаты разработки такой модели, которая учитывает изменение температуры микроболометра при протекании через него электрического тока и влиянии ИК-излучения.

## Приборная структура

В качестве приборной структуры использована конструкция микроболометра, представляющая собой резонатор Фабри-Перо [2] и состоящая из многослойной мембраны, расположенной на расстоянии  $D$  (вакуумный зазор) от кремниевой подложки с нанесенным слоем отражающего покрытия (Al). Мембрана состоит из пленок проводящего и поглощающего (NiCr), диэлектрического ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) и термочувствительного ( $\text{VO}_x$ ) материалов (рисунок 1, отражающий слой не показан). Воздушный зазор обеспечивается за счет опорных «ног», которые также являются контактами микроболометра.

Посредством компьютерного моделирования [3] установлены оптимальные с точки зрения коэффициента поглощения параметры слоёв: нижний слой  $\text{Si}_3\text{N}_4$  – 70 нм; NiCr – 4 нм; средний слой  $\text{Si}_3\text{N}_4$  – 200 нм; термочувствительный слой  $\text{VO}_x$  – 250 нм; верхний слой  $\text{Si}_3\text{N}_4$  – 150 нм.



Рисунок 1. Конструктивные слои микроболометра.

## Компактная (электрическая) модель

На языке описания аппаратуры Verilog-A реализована компактная модель

микроболометра. Модель содержит блок расчета выходного напряжения в зависимости от входного сигнала и теплового потока (ИК-излучения). Таким образом, реальная температура болометра определяется по выражению

$$T_{real} = T_{nom} + \Delta T_1 + \Delta T_2.$$

Вклад каждой составляющей рассчитывается исходя из устоявшегося режима работы болометра при пропускании постоянного тока.

Величина сопротивления микроболометра рассчитывается по аппроксимационной зависимости (рисунок 2, достоверность  $R^2 = 0,9999965$ ), полученной при анализе результатов приборного моделирования:

$$R = 2,23 \cdot 10^{-6} \cdot T_{real}^6 - 4,32 \cdot 10^{-3} \cdot T_{real}^5 + 3,49 \cdot T_{real}^4 - 1,50 \cdot 10^3 \cdot T_{real}^3 + 3,64 \cdot 10^5 \cdot T_{real}^2 - 4,70 \cdot 10^7 \cdot T_{real} + 2,53 \cdot 10^9.$$

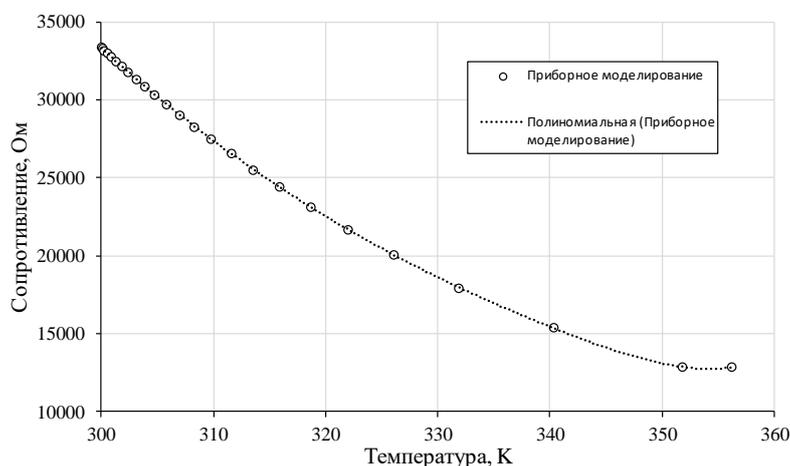


Рисунок 2. Зависимость величины сопротивления от температуры микроболометра.

Для учета изменения температуры во времени введены функции зависимости скорости нагрева и остывания микроболометра от временного шага для эффекта самонагрева и поглощения тепла от внешнего источника  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$  и  $f_4$  соответственно. Функции также определяются по аппроксимационным зависимостям, полученным на основе временных диаграмм в программном продукте приборного моделирования.

На рисунке 3 представлено сравнение результатов моделирования в программных продуктах приборного и схемотехнического моделирования.

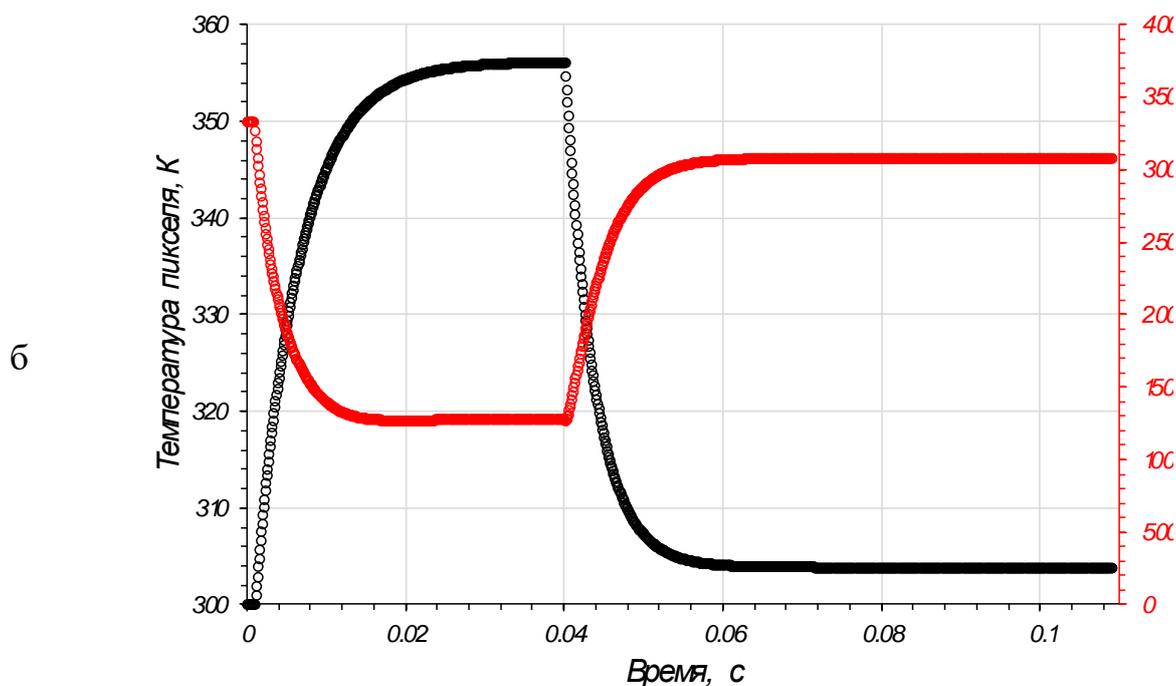
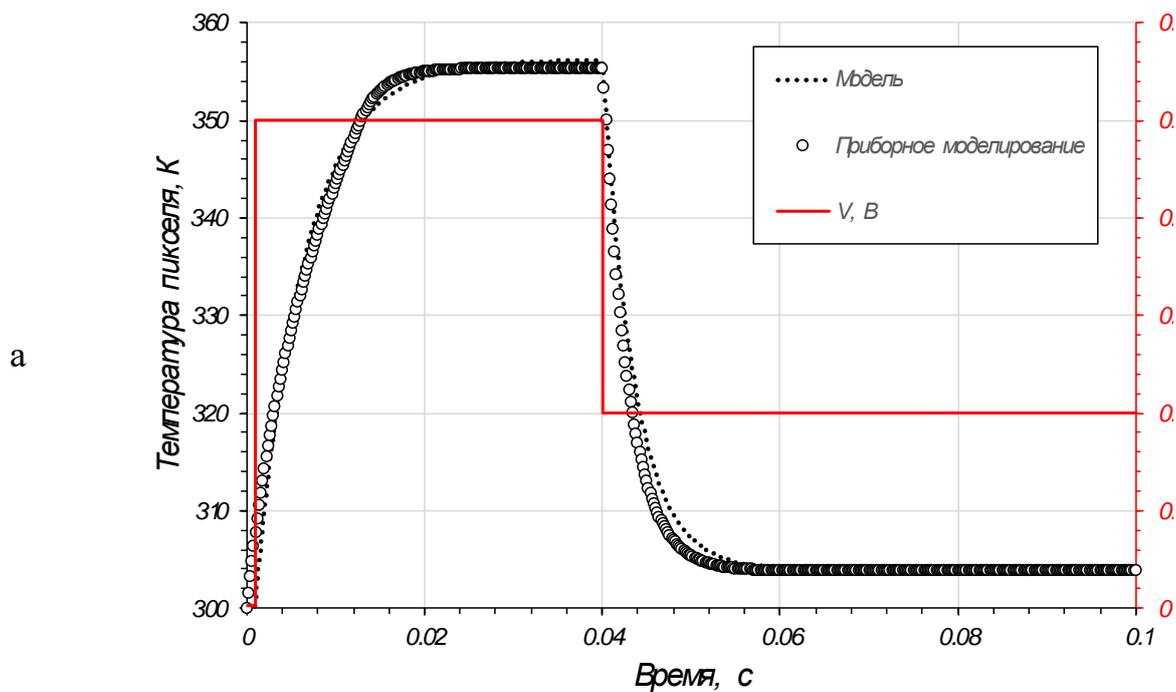


Рисунок 3. Сравнение результатов схемотехнического и приборно-технологического моделирования при воздействии управляющего импульса: температура (а) и сопротивление (б).

### Заключение

Проведена интеграция в программный продукт схемотехнического моделирования и топологического проектирования в микроэлектронике компактной модели неохлаждаемого теплового детектора болометрического

типа, реализованной на языке описания аппаратуры Verilog-A, которая позволяет учитывать изменение температуры микроболометра при протекании через него электрического тока и влиянии ИК-излучения. В рамках тестирования электрической модели в среде программного комплекса схемотехнического моделирования установлено, что погрешность моделирования характеристик микроболометров не превышает 10% по сравнению с результатами приборно-технологического моделирования с использованием моделей переноса носителей заряда.

### **Благодарности**

Исследования выполняются при финансовой поддержке и в рамках решения задач государственной программы научных исследований «Фотоника, опто- и микроэлектроника» (задание 3.1.03).

### *Литература*

1. Uncooled thermal MWIR imagers for high-temperature imaging applications / M. Michel [et al.] // Proc. SPIE 12737, Electro-Optical and Infrared Systems: Technology and Applications XX. 2023. P. 1273703.
2. Smith P. W., Turner E. H. (1977) A Bistable Fabry-Perot Resonator. Applied Physics Letters. 30 (6), 280–281.
3. Оптические, механические и электрические характеристики теплового неохлаждаемого детектора болометрического типа на основе оксида ванадия = Optical, Mechanical and Electrical Characteristics of Thermal Uncooled Bolometric Type Detector Based on Vanadium Oxide / Чан Ван Чиеу [и др.] // Доклады БГУИР. – 2023. – Т. 21, № 6. – С. 84–91.