

МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРОВ ПОГЛОЩЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА НЕОХЛАЖДАЕМОГО ТЕПЛОГО ДЕТЕКТОРА БОЛОМЕТРИЧЕСКОГО ТИПА

Жамойть А.Е.¹, Колос В.В.², Левчук Д.С.²

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Минск, Республика Беларусь
Открытое акционерное общество «ИНТЕГРАЛ», Минск, Республика Беларусь

Соловьёв Я.А. – канд. техн. наук, доцент,
заведующий отраслевой лабораторией
новых технологий и материалов ОАО
«ИНТЕГРАЛ»

Аннотация. Проведено моделирование поглощения ИК-излучения длинноволновой области (8-14 мкм) электромагнитного спектра в САПР «COMSOL Multiphysics» чувствительным элементом неохлаждаемого теплового детектора болометрического типа. Установлено, что при уменьшении толщины поглощающего слоя с 10 нм до 4 нм интегральный коэффициент поглощения увеличивается на 10 – 25%.

Ключевые слова: неохлаждаемый тепловой детектор болометрического типа, микроболометр, чувствительный элемент, моделирование, поглощение, LWIR.

Введение

Микроболометры находят широкое применение в различных областях деятельности человека, таких как космическая, военная промышленность, медицинское оборудование. Функционирование неохлаждаемого теплового детектора болометрического типа обеспечивается в длинноволновой LWIR (Long Wavelength Infrared, длина волны λ от 8 до 14 мкм) области электромагнитного спектра [1].

Принцип работы микроболометра основан на повышении температуры термочувствительного материала за счёт поглощения падающего инфракрасного (ИК) излучения. Изменение температуры вызывает изменение электрического сопротивления термочувствительного материала микроболометра, которое и измеряется схемой считывания.

Для поглощения падающего ИК-излучения используются тонкие слои металлов или их сплавов [2]. Толщина поглощающего слоя обусловлена необходимостью скоростного отвода тепловой энергии, которая образуется за счёт поглощаемого ИК-излучения.

Основным параметром, характеризующим качество функционирования микроболометра, является его чувствительность. Чем выше коэффициент поглощения, тем меньшую разность температур может зарегистрировать микроболометр. С точки зрения минимальной теплоёмкости и наибольшего коэффициента поглощения в ИК диапазоне, подходящим материалом для этого, является NiCr.

Настоящая работа посвящена моделированию спектров поглощения чувствительного элемента микроболометра в диапазоне длин волн от 8 мкм до 14 мкм, с целью получения максимальных значений.

Основная часть

На рисунке 1 показана конструкция ячейки (пикселя) неохлаждаемого теплового детектора болометрического типа.

Пиксель микроболометра представляет собой подвешенную структуру. Для повышения эффективности микроболометров под чувствительным элементом на поверхности подложки наносится отражающий слой. Зазор между поглощающим слоем и подложкой делается кратным одной четвертой длины волны падающего излучения. При этом отражающий слой с чувствительным элементом образуют резонансную микрополость (оптический резонатор), настроенную на поглощения излучения с определённой длиной волны. Непоглощённое излучение переотражается внутри полости и поглощается чувствительным элементом. Поскольку неохлаждаемые тепловые детекторы болометрического типа работают на длине волны около 10 мкм, то вакуумный зазор делают 2,5 мкм.

На рисунке 2 представлена структура чувствительного элемента, исследуемая в данной работе при проведении расчёта коэффициента поглощения.

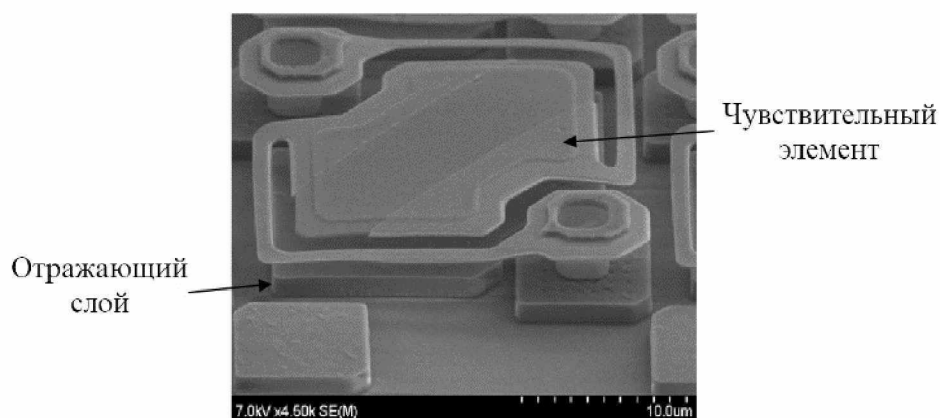


Рисунок 1 – Конструкция термочувствительного пикселя микроболметра

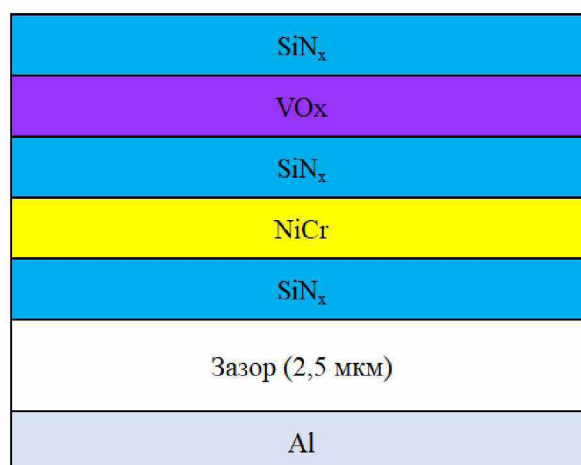


Рисунок 2 – Структура чувствительного элемента микроболметра

Толщины всех слоёв нитрида кремния (SiN_x) при проведении расчётов составляли 70 нм. Толщина оксида ванадия (VO_x) составляла 100 нм. Для оценки влияния толщины поглощающего слоя из NiCr моделирование проводилось для четырех вариантов: 10 нм, 7 нм, 4 нм, 2 нм.

Моделирование спектров поглощения для диапазона длин волн от 8 мкм до 14 мкм выполнялось в САПР «COMSOL Multiphysics» с использованием метода конечных разностей во временной области [3]. Данный способ проведения расчётов является эффективным подходом к решению уравнений Максвелла, который позволяет с приемлемой точностью моделировать оптические параметры поглощения, пропускания и отражения во всем исследуемом спектре за один расчёт.

Для подтверждения результатов моделирования спектров поглощения чувствительного элемента микроболметра были изготовлены и измерены экспериментальные образцы на ИК-Фурье-спектрометре Vertex 70 фирмы «Bruker».

Результаты моделирования спектров поглощения для исследуемых структур (рисунок 3) показывают, что с уменьшением толщины поглощающего слоя NiCr их интегральный коэффициент поглощения увеличивается во всём диапазоне исследуемой области.

Заключение

Выполнено моделирование спектров поглощения чувствительного элемента неохлаждаемого теплового детектора болометрического типа в диапазоне LWIR согласно предложенной конструкции чувствительного элемента многослойной структуры. Получены зависимости его коэффициента поглощения от толщины поглощающего слоя.

Установлено, что при толщине поглощающего слоя NiCr 4 нм интегральный коэффициент поглощения падающего ИК-излучения на многослойную структуру достигает 92 %, что обусловлено минимальными коэффициентами отражения и пропускания.

Результаты моделирования сопоставимы с измерениями экспериментальных образцов и имеют расходимость не более 8 %.

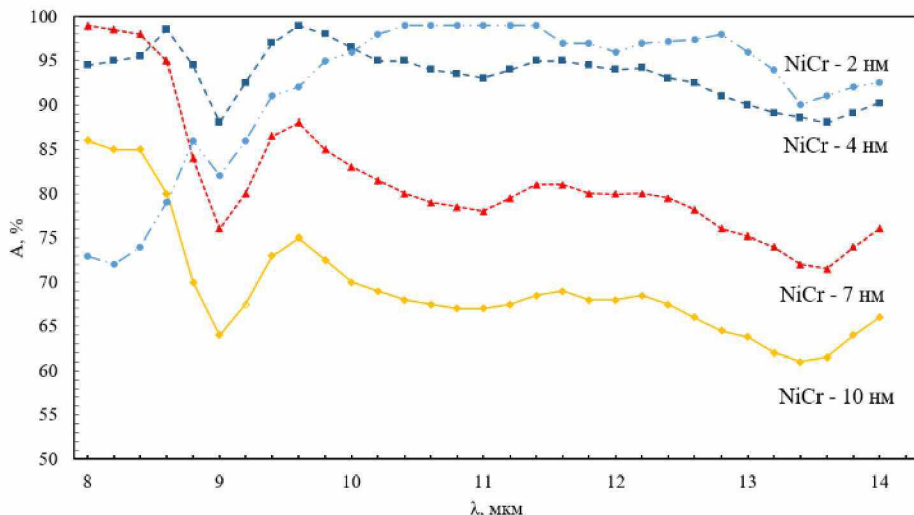


Рисунок 3 – Результаты расчёта спектров поглощения

Список использованных источников:

1. Michel M., Blaeser S., Litke A. Uncooled Thermal MWIR Imagers for High-Temperature Imaging Applications. Proc. SPIE 12737, Electro-Optical and Infrared Systems: Technology and Applications XX. 1273703, 2023.
2. Murphy, D. Performance Improvements for VOx Microbolometer FPAs. / Ray M., Wyles J., Asbrock J., Hewitt C., Wyles R., Gordon E., Sessler T., Kennedy A., Baur S., Van Lue D // Proc.SPIE. 5406. – 2004. – P. 531–540.SPIE. 4820. – 2003. – P. 200–207.
3. Teixeira F. L. Finite-Difference Time-Domain Methods / F. L. Teixeira // Nat Rev Methods Primers. Vol. 3, P.76. 2023