

ПЛАЗМОННО-УСИЛЕННОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ ИК ИЗЛУЧЕНИЯ В МИКРОБОЛОМЕТРИЧЕСКОМ ПИКСЕЛЕ

С.В. Козодоев^{1), 2)}, П.И. Гайдук²⁾

¹⁾ОАО «ИНТЕГРАЛ» - управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»,
ул. Казинца 121А, Минск 220108, Беларусь, serikoz12345@gmail.com

²⁾Белорусский государственный университет,
пр. Независимости 4, Минск 220030, Беларусь, gaiduk@bsu.by

Методом конечных разностей во временной области рассчитаны спектры поглощения инфракрасного излучения микроболометрического пикселя с включенными в конструкцию плазмонными структурами в виде титановых перекрестий. Установлено, что модификация микроболометра плазмонными Ti структурами может усиливать поглощение излучения в диапазоне 8-10.5 мкм на 10-30 %, при этом средний уровень поглощения в диапазоне 8-14 мкм увеличивается с 72 до 86 %.

Ключевые слова: плазмонное поглощение; спектр поглощения; микроболометр; ИК-излучение.

PLASMONIC-ENHANCED ABSORPTION OF IR RADIATION IN A MICROBOLOMETRIC PIXEL

S. Kozodoev^{1), 2)}, P. Gaiduk²⁾

¹⁾JSC «INTEGRAL» – «INTEGRAL» Holding Management Company,
121A Kazintsa Str., 220108 Minsk, Belarus, serikoz12345@gmail.com

²⁾Belarusian State University, 4 Nezavisimosti Ave., 220030 Minsk, Belarus, gaiduk@bsu.by

The finite difference time domain method was used to calculate the infrared absorption spectra of a microbolometric pixel with plasmonic structures in the form of titanium crosshairs included in the design. It was found that the modification of the microbolometer with plasmonic Ti structures can enhance the absorption of radiation in the range of 8-10.5 μm by 10-30%, while the average absorption level in the range of 8-14 μm increases from 72 to 86%.

Keywords: plasmonic absorption; absorption spectrum; microbolometer; IR radiation.

Введение

Микроболометры в настоящее время являются основным типом неохлаждаемых сенсоров инфракрасного излучения [1]. Их эффективность напрямую зависит от поглощения инфракрасного излучения. Чтобы повысить чувствительность, микроболометры выполняют в виде подвешенных балок над зеркальным слоем. Ключевой элемент конструкции — зазор толщиной $\lambda/4$ (где λ — длина волны из рабочего диапазона), формирующий резонатор Фабри-Перо [2].

Дополнительное увеличение поглощения может достигаться внедрением плазмонных элементов: металлических микроструктур, расположенных вблизи диэлектрических слоев [3]. В таких структурах

возбуждаются поверхностные плазмоны на границе раздела, что приводит к усилению поглощения в микроболометре.

Результаты и их обсуждение

На рисунке 1 приведена схема исследованного в настоящей работе микроболометрического пикселя с интегрированными в конструкцию плазмонными структурами. Для оптимизации расчетов использовалась упрощенная модель пикселя, представлявшая собой квадрат из Si_3N_4 размером 21 мкм и толщиной 150 нм с включенными на середине толщины пикселя титановыми крестами размером 3 мкм и толщиной 50 нм.

Для приближения к конструкции микроболометра в структуру пикселя были включены металлизация из Ti толщиной

50 нм, расположенная на середине толщины пикселя, а также цилиндрическое отверстие диаметром 2.4 мкм, расположен-

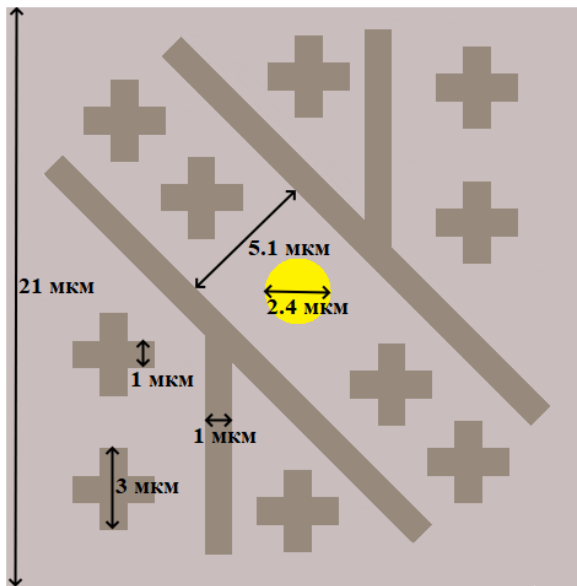


Рис. 1. Схема исследуемой структуры

ное в центре. Пиксель располагался на высоте 2.5 мкм над зеркально-отражающим слоем Au толщиной 100 нм.

Для моделирования использовался метод конечных разностей во временной области (FDTD) в программном пакете FDTD Solutions [4]. Коэффициент поглощения рассчитывался по формуле:

$$I(\lambda) = 1 - R(\lambda) - T(\lambda),$$

где $R(\lambda)$ и $T(\lambda)$ — доли отраженного и прошедшего излучения соответственно.

Оптические свойства материалов (нитрид кремния, золото, титан) взяты из литературы [5, 6]. В расчетах применялись периодические граничные условия по осям X и Y, а по оси Z — поглощающие слои PML (Perfectly Matched Layer). Размеры расчетной сетки составили: 25 нм в области исследуемых структур, 50 нм в области зеркала и 200 нм в остальных областях. Источник излучения был направлен нормально к поверхности структур.

На рисунке 2 приведены спектры поглощения микроболометров как для конструкций без перекрестий, так и плазмонно-улучшенной. Видно, что в диапазоне 8 – 10.5 мкм поглощение выше на 10-30 % для

структур с перекрестиями. При этом в диапазоне 11-14 мкм существенного ($\geq 4\%$) различия в интенсивности поглощения не

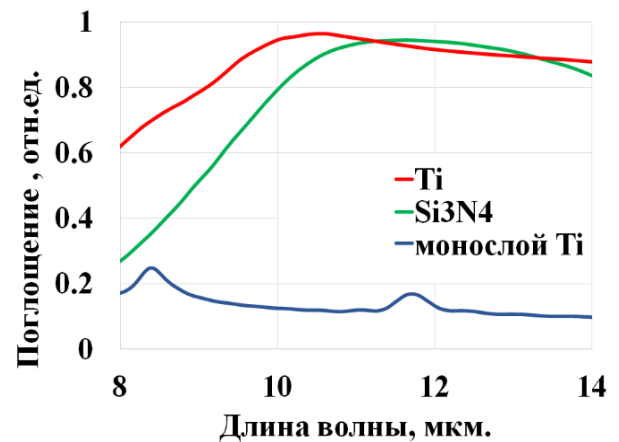


Рис. 2. Спектры поглощения структур

наблюдается что связано с высоким собственным поглощением Si_3N_4 в данном диапазоне.

Средний уровень поглощения излучения в исследованном диапазоне для пикселей без крестов составил 72%, в то время как включение плазмонных структур позволило увеличить это значение до 86%. Следует отметить, что в случае, когда вместо структурированного слоя титана используется сплошной слой Ti той же толщины (50 нм) поглощение становится существенно меньше 23-10 %. Что связано с тем, что Ti такой толщины преимущественно отражает излучение и без структурирования усиления поглощения не происходит.

Отдельно для структуры со сплошным слоем Ti проявляются два пика поглощения на длинах волн 8.4 и 11.7 мкм. Предполагается, что их проявление связано с нелинейными эффектами при прохождении через субволновое отверстие в центре пикселя, однако их интенсивность недостаточна для внесения существенного вклада в общую интенсивность поглощения.

Представленное на рисунке 3 распределение интенсивности электрического поля может свидетельствовать о существовании в исследованных структурах плазмонных колебаний. Локализация интенсивности

поля в областях структуры, много меньших, чем длина волны падающего излучения, является характерным признаком плазмонного резонанса, поскольку длина волны плазмонных колебаний значительно меньше длины волны падающего излучения. Отметим, что поле концентрируется более всего на тех концах перекрестий, которые перпендикулярны вектору напряженности электрического поля.

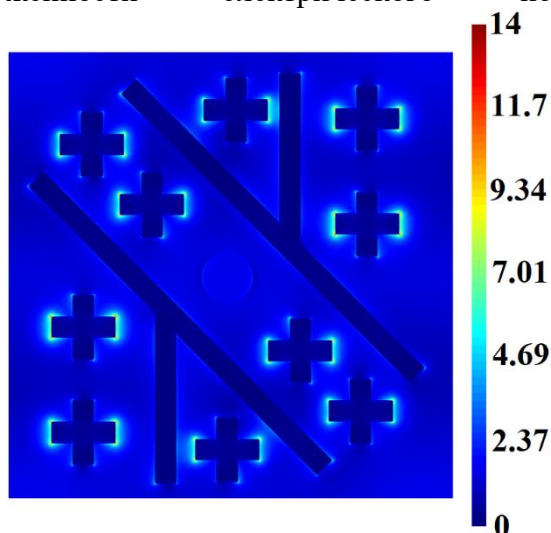


Рис. 3. Распределение интенсивности электрического поля на длине волны 10 мкм

Заключение

В работе методом компьютерного моделирования показано, что включение в конструкцию микроболометра плазмонных структур в виде титановых перекрестий может быть использовано для улучшения его способности поглощать ИК-излучение.

Библиографические ссылки

1. Roxhed Niclas, Niklaus Frank, Fischer Andreas, Forsberg Fredrik, Höglund Linda, Ericsson Per, et al. Low-Cost Uncooled Microbolometers for Thermal Imaging. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering* 2010; 7726.
2. Minhas A., Bansal D. Effect of beam length on the uncooled microbolometer performance. *Microsystem Technologies* 2021; 27(8): 3219-3223.
3. Kebapci Basak, Dervisoglu Ozgecan, Battal Enes, Okayay Ali, Akin Tayfun. Broadband absorption enhancement in an uncooled microbolometer infrared detector. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering* 2014; 9070.
4. Nanophotonic FDTD Simulation Software [Electronic resource], Lumerical FDTD – Mode of access, <https://www.lumerical.com/products/fdtd>, Date of access: 03.2025.
5. Luke K., Okawachi Y., Lamont M.R.E., Gaeta A.L., Lipson M. *Opt. Lett.* 2015; 40(21): 4823-4826.
6. Palik E.D. Handbook of Optical Constants of Solids, 2, Academic Press, 1985.