

Поглощение ИК-излучение структурами $\text{SiN}_x/\text{Ti}/\text{SiN}_x$

С. В. Козодоев^{1, 2)}, С. А. Демидович²⁾, П. И. Гайдук¹⁾

¹⁾ Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,
e-mail: serikoz12345@gmail.com

²⁾ ОАО «Интеграл» - управляющая компания холдинга «Интеграл», Минск, Беларусь

Методом Фурье спектроскопии обнаружено, что по сравнению с монослоем SiN_x , структуры $\text{SiN}_x/\text{Ti}/\text{SiN}_x$ с поверхностным микрорельефом более эффективно (на 20 – 60 %) поглощают инфракрасное (ИК) излучение в диапазоне 14 – 24 мкм. Показано, что усиление поглощения имеет место для различных топологических рисунков профилированного Ti (рамки, перекрестий). Вместе с тем выявлено более высокое (на 3 – 18 %) поглощение излучения в диапазоне 16 – 24 мкм при использовании поверхностных микроструктур в виде перекрестий.

Ключевые слова: плазмонные структуры, поглощение ИК излучения, Фурье спектроскопия.

Absorbtion of IR radiation by structures $\text{SiN}_x/\text{Ti}/\text{SiN}_x$

S. V. Kozodoev^{1, 2)}, S. A. Demidovich²⁾, P. I. Gaiduk¹⁾

¹⁾ Belarusian State University, Minsk, Belarus,
e-mail: serikoz12345@gmail.com

²⁾ OJSC «INTEGRAL» – «INTEGRAL» Holding Managing Company, Minsk, Belarus

It is found by Fourier spectroscopy that, compared with the SiN_x monolayer, $\text{SiN}_x/\text{Ti}/\text{SiN}_x$ structures with a surface microrelief absorb infrared (IR) radiation in the range of 14 – 24 μm more efficiently (by 20– 60 %). It is shown that an increase in absorption occurs for various topological patterns of profiled Ti (frames, crosshairs). At the same time, a higher (by 3 – 18 %) absorption of radiation in the range of 16 – 24 μm was revealed when using surface microstructures in the form of crosshairs.

Keywords: plasmonic structures, IR absorption, Fourier spectroscopy

Введение

Для современных инфракрасных сенсоров ключевое значение имеет высокий уровень поглощения ИК-излучения [1]. Одним из путей его повышения является создание профилированных структур с металлическими микро- и наноэлементами внутри диэлектрика [2]. Их преимущество заключается в возбуждении плазмонных резонансов – коллективных колебаний электронов в металле, которые усиливают поглощение за счет концентрации электромагнитного поля на границе металла и диэлектрика [3]. Спектр поглощения таких структур можно тонко настраивать, меняя геометрию и расположение металлических элементов

В ходе работы были сформированы профилированные структуры $\text{SiN}_x/\text{Ti}/\text{SiN}_x$ и исследовано влияние Ti элементов на поглощение ИК-излучения в диапазоне 8 – 24 мкм.

1. Материалы и методы

На рис. 1 представлена схема сформированных структур. Основой служили кремниевые пластины с алюминиевым зеркальным слоем (100 нм). Для имитации зазора в пикселе микроболометра был нанесён полиимидный слой, который после отжига при 350 °С имел толщину 2,5 мкм. Поверх полиимида методом плазмохимического осаждения (ПХО) был нанесён нижний слой SiN_x толщиной $H = 50$ нм.

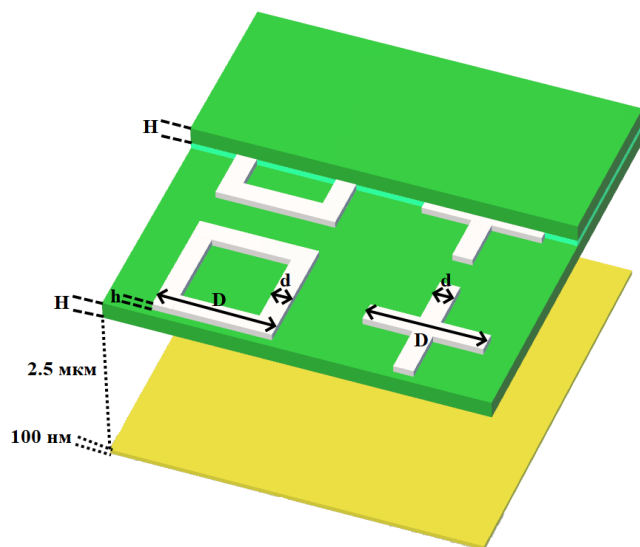


Рис. 1. Схема исследованных структур

Далее, с помощью электронно-лучевого напыления и взрывной фотолитографии, были сформированы титановые элементы (квадратные рамки и перекрестия) размером $D = 6$ мкм, шириной стенки $d = 1$ мкм и толщиной $t = 50$ нм. Затем на эти элементы был осаждён верхний слой SiN_x толщиной 100 нм. В контрольных структурах без Ti-элементов общая толщина слоя SiN_x на полиимиде составляла 150 нм. Измерение спектров поглощения проводилось методом Фурье-спектроскопии.

2. Результаты и обсуждение

На рис. 2 приведены спектры поглощения структур с монослоем SiN_x и профилированных структур $\text{SiN}_x/\text{Ti}/\text{SiN}_x$ в диапазоне 8 – 24 мкм. На вставке рис. 2 показано изображение отдельной структуры $\text{SiN}_x/\text{Ti}/\text{SiN}_x$, полученные методом атомно силовой микроскопии (АСМ).

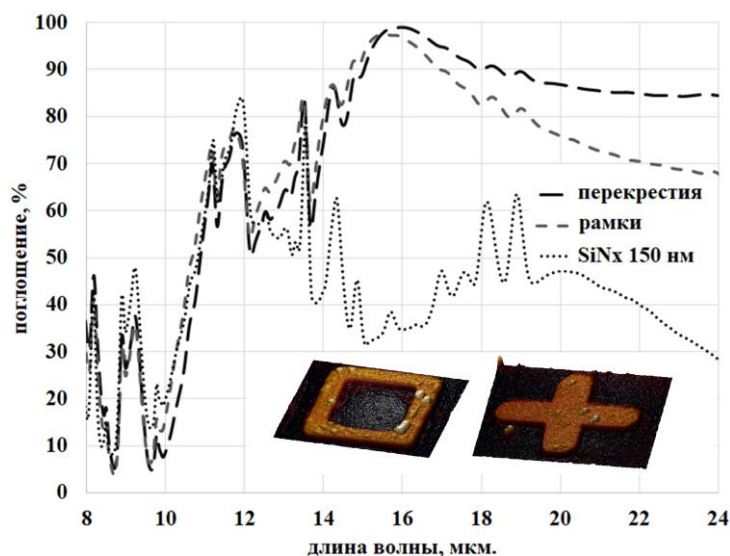


Рис. 2. Спектры поглощения структур

Представленные спектры показывают более высокий уровень поглощения для профилированных структур с Ti элементами в сравнении с монослоем SiN_x в диапазоне 14 – 24 мкм.

Видно, что внедрение рамок из Ti приводит к росту поглощения на 20 – 60 %, при этом наибольшее поглощение с интенсивностью $\geq 80\%$ происходит в диапазоне 14 – 18.5 мкм.

Показано, что структуры типа перекрестие обладают на 3 – 18 % большим уровнем поглощения чем рамочные структуры в диапазоне 16 – 24 мкм.

Мы полагаем, что отдельные узкие пики поглощения в диапазоне 8 – 14 мкм возникают за счёт собственного поглощения излучения в полиимиде, кроме диапазона 11 – 12.1 мкм, в котором высокое поглощение излучения может быть связано с собственным поглощением в SiN_x [4].

Отдельно следует отметить некоторое расхождение теоретически рассчитанных спектров поглощения ИК излучения профилированными структурами, представленных в нашей работе [5] со спектрами, полученными в настоящей работе. Такое расхождение, в частности, может быть связано с тем, что при проведении компьютерного моделирования между слоем Si₃N₄/Ti/Si₃N₄ и Al зеркалом мы использовали вакуумный зазор, тогда как в экспериментальных образцах зазор был заполнен полиимидом, что обусловлено техническими возможностями их изготовления. В свою очередь, высокий (>1) показатель преломления полиимида приводит к увеличению оптического пути излучения что, очевидно, сопровождается смещением области интенсивного поглощения излучения с 8.5 – 13 мкм до 14 – 18.5 мкм.

Заключение

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод о перспективности использования профилированных структур SiN_x/Ti/SiN_x для изготовления высокоэффективных ИК-поглощающих элементов. Показано, что размещение микроструктурированных Ti элементов внутри слоя SiN_x позволяет увеличивать интенсивность поглощения ИК излучения по сравнению с монослоем SiN_x такой же толщины в диапазоне 14 – 24 мкм на 30 – 60 %. Установлено, что структуры с топологическим элементом в виде перекрестия поглощают ИК-излучение в диапазоне 16 – 24 мкм на 5 – 18 % больше, чем рамки.

Библиографические ссылки

1. *Lyu, Xiaochuan*. Recent Progress on Infrared Detectors: Materials and Applications // Highlights in Science, Engineering and Technology. 2022. Vol. 27. P. 191–200.
2. Broadband absorption enhancement in an uncooled microbolometer infrared detector / Basak Kebapci [et al.] // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2014. Vol. 9070.
3. A plasmonically enhanced pixel structure for uncooled microbolometer detectors / O. Erturk [et al.] // Proc. of SPIE. 2013. Vol. 8704. N 87041E.
4. Mid-infrared optical properties of thin films of aluminum oxide, titanium dioxide, silicon dioxide, aluminum nitride, and silicon nitride / J. Kischkat [et al.] // Appl Opt. 2012. Vol. 51, N 28. P. 6789–6798.
5. Влияние типа металла и толщины слоев на поглощение оптического излучения профилированными структурами Si₃N₄/Me/Si₃N₄ / С. В. Козодоев [и др.] // Журнал прикладной спектроскопии. 2025. Т. 92, № 2. С 187–192.