

ЗАВИСИМОСТЬ ИК ПОГЛОЩЕНИЯ СТРУКТУР $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Ti}/\text{Au}/\text{Si}_3\text{N}_4$ ОТ ГЕОМЕТРИИ ПРОФИЛИРОВАННЫХ Ti/Au СЛОЁВ

¹ОАО «Интеграл», Минск, Беларусь

²Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Методом конечных разностей во временной области получены спектры поглощения инфракрасного излучения для структур $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Ti}/\text{Au}/\text{Si}_3\text{N}_4$ с периодически расположенными решётками Ti/Au . Обнаружено, что для таких структур характерно явление плазмонного резонанса. Установлено, что увеличение размеров решеток от 5.7 мкм до 5.9 мкм приводит к смещению пика максимального поглощения с 7.8 мкм до 8.5 мкм, при этом дальнейшее увеличение размеров не приводит к значительным изменениям в спектрах поглощения. Показано, что изменение размеров решеток практически не влияет на интенсивность пика поглощения.

Введение

Неохлаждаемые фотодетекторы в инфракрасном диапазоне получают всё более широкое распространение благодаря компактности и невысокой цене по сравнению с охлаждаемыми аналогами. Ключевым недостатком таких фотодетекторов является меньшая чувствительность и большая подверженность шумам. Для устранения этих недостатков был разработан ряд методов увеличения поглощательной способности инфракрасных фотодетекторов; в некоторых из них используется идея плазмонной сенсбилизации [1-5]. Плазмоны представляют собой колебания электронов проводимости на границе раздела проводник/диэлектрик. Для возникновения и поддержания плазмонных колебаний в поглощающих структурах можно использовать профилированные границы раздела металлических и диэлектрических слоёв, например, в виде структур с островками или окошками микронных размеров. В таких структурах геометрия границ раздела может быть весьма значимой для максимизации поглощательной способности структур [6].

В настоящей работе проведено исследование спектров поглощения структур $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Ti}/\text{Au}/\text{Si}_3\text{N}_4$ в зависимости от геометрических размеров структур с окошками.

Материалы и методы

На рисунке 1 приведена схема исследуемой структуры $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Ti}/\text{Au}/\text{Si}_3\text{N}_4$. Между слоями Si_3N_4 толщиной 200 нм расположены слои Ti (20 нм) и Au (70 нм), выполненные в виде структуры с квадратными решетками: каждая размером L и с расстоянием между ними $e = 2$ мкм (рис. 1а). Внутри решетки располагаются четыре окна размером h , заполненные нитридом кремния толщиной 90 нм (рис. 1б). Решетка и окна ограничены металлической полоской с шириной d .

В настоящей работе исследованы структуры со следующими параметрами $d = 0.7$ мкм, $L = 5.7$ мкм, $h = 1.7$ мкм; $d = 0.8$ мкм, $L = 5.9$ мкм, $h = 1.75$ мкм; $d = 0.9$ мкм, $L = 6.1$ мкм $h = 1.8$ мкм.

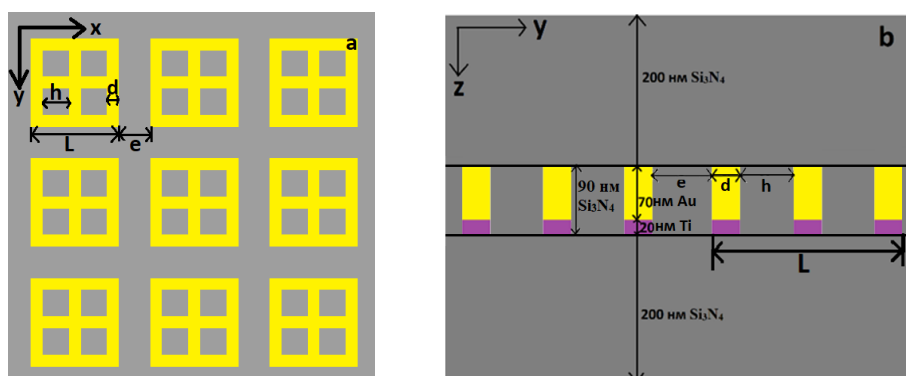


Рисунок 1 – Схема исследуемой структуры.

Моделирование проводилось методом конечных разностей во временной области в программе FDTD Solutions [7]. При моделировании над и под структурой использовались граничные условия идеально согласованных слоёв, в остальных случаях – периодические граничные условия. Под структурой $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Ti}/\text{Au}/\text{Si}_3\text{N}_4$ на расстоянии 2.5 мкм располагалось зеркало, представляющее собой подложку Si толщиной 1 мкм со слоем Au толщиной 100 нм. Уровень поглощения был рассчитан как $A(\lambda) = 1 - R(\lambda) - T(\lambda)$, где $R(\lambda)$ - отраженное и $T(\lambda)$ - прошедшее излучение. Оптические характеристики кремния, нитрида кремния, золота и титана взяты из базы данных программы. Было проведено моделирование отдельных пикселей с одной, четырьмя и девятью решётками.

Результаты и обсуждение

На рисунке 2 приведены спектры поглощения структур $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Ti}/\text{Au}/\text{Si}_3\text{N}_4$ с разной горизонтальной геометрией металлических слоев, а также разным количеством решёток в одном пикселе.

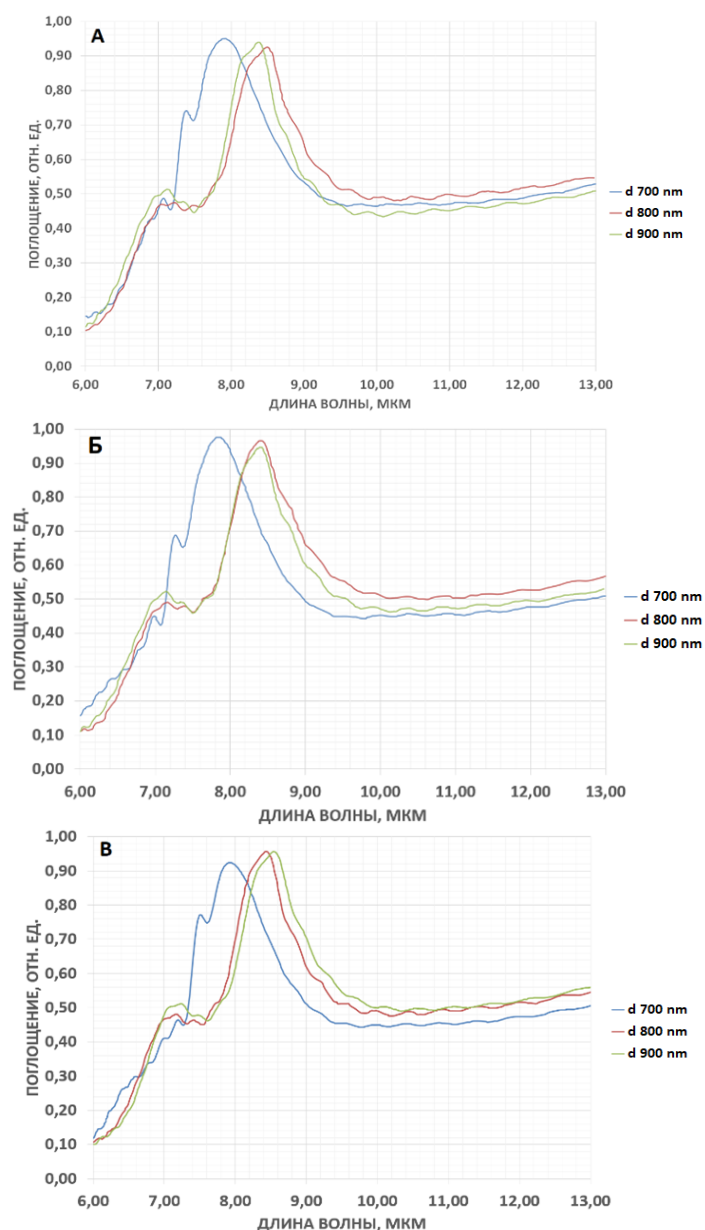


Рисунок 2 – Спектры поглощения структур $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Ti}/\text{Au}/\text{Si}_3\text{N}_4$ а) для 9 окон, б) для 4 окно, в) для 1 окна. Трём вариантам геометрии соответствуют d 700 nm, 800 nm, 900 nm.

В спектрах поглощения всех структур присутствует пик с интенсивностью 90-95% на длине волны около 8 мкм. При этом с увеличением размеров структуры этот пик сдвигается в более длинноволновую область. Интенсивность этого пика поглощения зависит от количества решеток в пикселе. Так для пикселя с 9 и 4 решётками поглощение было выше на 3% для размера $d = 700$ нм, однако в случае с одной решёткой поглощение возросло на 5% в структурах с $d = 800$ нм и $d = 900$ нм.

Мы предполагаем, что в этом диапазоне длин волн может возникать эффект плазмонного резонанса. Несмотря на то, что для золота не характерно проявление плазмонных эффектов в ИК-диапазоне, в работе [8] показано, что при определенной конфигурации золотого слоя могут возникать поверхностные или локализованные плазмоны

Заключение

В ходе выполнения работы методами численного моделирования были получены спектры поглощения структур $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Ti}/\text{Au}/\text{Si}_3\text{N}_4$ с различной горизонтальной геометрией металлических слоев. Показано, что в таких структурах возможно наличие плазмонного резонанса, из-за чего увеличивается интенсивность поглощения. Установлено, что увеличение размера решётки от $d=700$ до $d=800$ нм приводит к смещению пика поглощения с 7.8 мкм на 8.5 мкм, при этом дальнейшее увеличение d не приводит к значительным изменениям в спектрах поглощения. Показано, что изменение размеров решеток практически не влияет на интенсивность пика поглощения, которая для всех структур составила около 90–95%.

Благодарности

Исследования проводились при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в рамках гранта Т-22-030.

Список литературы

1. Beeman, J. W., Nyaiesh A. R., Haller, E. E., Hansen, W. L. and Garwin, E. L., "Diamond-like antireflective coatings for far infrared photoconductors," European Materials Research Society, Strasbourg, France, (1987).
2. Jayasinghe, J. A. R. C., "Multiband detectors and application of nanostructured anti-reflection coatings for improved efficiency," Ph.D. Dissertation, Georgia State University, Department of Physics and Astronomy, (2012).
3. Krenz, P. M., Tiwari, B., Szakmany, G. P., Orlov, A. O., Gonzalez, F. J., Boreman, G. D. and Porod, W., "Response increase of IR antenna-coupled thermocouple using impedance matching," IEEE Journal of Quantum Electronics 48(5), 659-664 (2012).
4. Sheng, X., Johnson, S. G., Michel, J. and Kimerling, L. C., "Optimization-based design of surface textures for thin-film Si solar cells," Optics Express 19(S4), A841-A850 (2011).
5. Unlu, M. S., Strite, S., "Resonant cavity enhanced photonic devices," Journal of Applied Physics 78(2), 607-639 (1995).
6. Mukhammad, A.I. Plasmonic-Enhanced Light Absorption in Periodic Silicon Structures: The Effect of Inter-Island Distance / A.I. Mukhammad, K.V. Chizh, V.G. Plotnichenko [et al.] // Semiconductors - 2020.-Vol. 54. - pp. 1889–1892.
7. Lumerical FDTD Solutions [Electronic resource]. / Lumerical Solutions, Inc. - 2003-2023. - Mode of access: <http://www.lumerical.com/> - Date of access :01.02.2023.
8. Erturk, O., Battal, E., Kucuk, S. E., Okyay, A. K. and Akin, T., "A plasmonically enhanced pixel structure for uncooled microbolometer detectors," Proc. of SPIE 8704, 87041E (2013).