

УДК 535.421

СПЕКТРАЛЬНО-СЕЛЕКТИВНОЕ УСИЛЕНИЕ БЛИЖНЕГО ПОЛЯ В ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ БЛОХОВСКИХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН

Кадомина Е. А., Безус Е. А., Досколович Л. Л.

Институт систем обработки изображений Российской академии наук, г. Самара,
Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика
С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

Блоховские поверхностные волны (БПВ), поверхностные электромагнитные волны, распространяющиеся на границах раздела фотонных кристаллов (ФК), являются в настоящий момент предметом интенсивных исследований из-за их потенциальных приложений в химических и биологических датчиках и системах передачи и обработки информации «на чипе» [1, 2]. Также перспективно использование поверхностных волн в устройствах спектральной фильтрации, поскольку при этом возможна интеграция фильтра с приёмником излучения, приводящая к уменьшению размера устройств. Ранее в этом контексте была рассмотрена возможность использования поверхностных плазмон-поляритонов [3], однако из-за потерь на поглощение в металле эффективность плазмонного фильтра мала. В настоящей работе исследовано спектрально-селективное усиление ближнего поля при возбуждении БПВ для задач оптической фильтрации.

На рис. 1 представлена схема рассматриваемой структуры. На ФК, содержащий N периодов (пар чередующихся плоскопараллельных слоёв с высотами h_1 и h_2 и показателями преломления n_1 и n_2), помещена дифракционная решётка с периодом d_{gr} , высотой h_{gr} , шириной ступеньки w_{gr} и показателем преломления n_1 . В резонансных условиях решётка возбуждает на нижней границе ФК пару БПВ, распространяющихся в противоположных направлениях и формирующих в ближнем поле интерференционную картину с высокой интенсивностью электрического поля в максимумах. Длина волны, на которой происходит возбуждение БПВ и усиление интенсивности в ближнем поле, быстро изменяется при изменении толщины нижнего слоя ФК h' . Предполагается, что под кристалл помещён приёмник излучения с показателем преломления n_r , регистрирующий формируемую интерференционную картину. Задачу нахождения параметров структуры можно разделить на две подзадачи: определение толщин слоев ФК и определение параметров дифракционной решётки.

Одним из условий существования БПВ является неравенство $n_{eff} > n_r$, где n_{eff} – эффективный показатель преломления БПВ (нормированная константа распространения). Период дифракционной решётки для возбуждения БПВ при нормальном падении порядками дифракции с номерами $\pm m$ равен $d_{gr} = m\lambda / n_{eff}$ (λ – длина волны). При фиксированном периоде решётки для различных длин волн $\lambda \in [\lambda_{min}, \lambda_{max}]$ эффективный показатель преломления будет изменяться на некотором интервале, который для существования БПВ должен находиться в запрещённой зоне ФК. В качестве примера выберем $\lambda \in [500, 600]$ нм, $m_{ord} = 1$, $n_r = 1,5$, $n_1 = 2,78$, $n_2 = 1,4$. Исходя из вышеперечисленных условий и дисперсионного соотношения БПВ [4] можно получить параметры ФК: $h_1 = 90$ нм и $h_2 = 67$ нм. Зависимость толщины h' от длины волны можно также получить из дисперсионного соотношения.

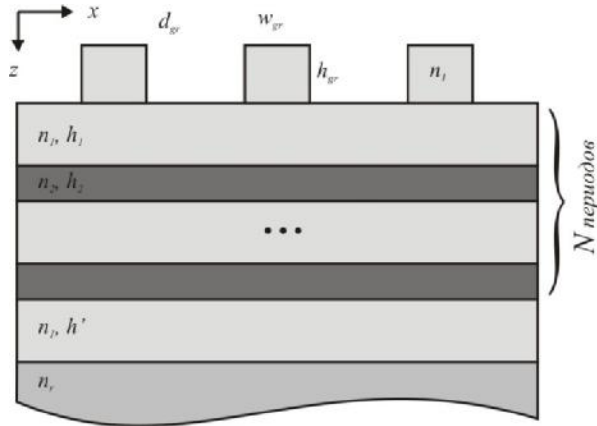


Рис. 1. Схема ближнепольного оптического фильтра

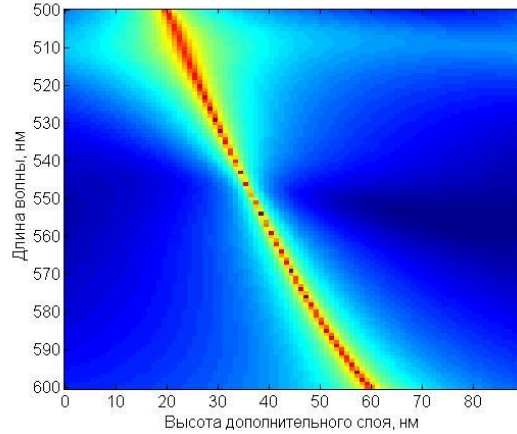


Рис. 2. Зависимость величины $\ln|T_m|$ от толщины дополнительного слоя h' и длины волны λ

Параметры решётки d_{gr} , w_{gr} и h_{gr} определялись с помощью оптимизационной процедуры согласно критерию

$$\bar{T} = \frac{1}{\lambda_{\max} - \lambda_{\min}} \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} |T_m| d\lambda, \quad F(h_{gr}, w_{gr}, d_{gr}) = 1 + \frac{1}{\bar{T}} \cdot \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} |T_m - \bar{T}|^2 d\lambda \rightarrow \min_{h_{gr}, w_{gr}, d_{gr}},$$

где T_m – комплексный коэффициент пропускания, соответствующий порядку m , вычисляемый с помощью собственного программного обеспечения, реализующего метод фурье-мод решения уравнений Максвелла [5]. В результате оптимизации структуры при $N = 3$ были найдены следующие значения параметров: $d_{gr} = 325 \text{ нм}$, $w_{gr} = 0,704d_{gr}$ и $h_{gr} = 102 \text{ нм}$. Из рис. 2 следует, что для каждой длины волны существует единственное значение толщины h' , при котором достигается максимум $|T_m|$ и, следовательно, максимум интенсивности ближнего поля. Такое свойство делает исследуемую структуру перспективной для применения в задачах спектральной фильтрации.

Библиографический список

1. M. Liscidini, J.E. Sipe, “Analysis of Bloch-surface-wave assisted diffraction-based biosensors”, J. Opt. Soc. Am. B 26, 279-289 (2009).
2. T. Sfez, E. Descrovi, L. Yu, M. Quaglio, L. Dominici, W. Nakagawa, F. Michelotti, F. Giorgis, H.P. Herzig, “Two-dimensional optics on silicon nitride multilayer: Refraction of Bloch surface waves”, Appl. Phys. Lett. 96, 151101 (3pp) (2010).
3. E. Laux, C. Genet, T. Skauli, T.W. Ebbesen, “Plasmonic photon sorters for spectral and polarimetric imaging”, Nat. Photon. 2, 161-164 (2008).
4. Е.А. Безус, Л.Л. Досколович, Д.А. Быков, В.А. Сойфер. Фазовая модуляция поверхностных электромагнитных волн с помощью дифракционного микрорельефа на границе одномерного фотонного кристалла//Письма в ЖЭТФ. – № 99. – 2014. – С. 67-71.
5. M.G. Moharam, T.K. Gaylord, E.B. Grann, D.A. Pommet, “Formulation for stable and efficient implementation of the rigorous coupled-wave analysis of binary gratings”, J. Opt. Soc. Am. A 12, 1068-1076 (1995).