

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОТОННОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$ В ТГц-ДИАПАЗОНЕ

Д.В. Ушаков, И.С. Манак, В.С. Белявский

Белорусский государственный университет, Минск

Исследуются свойства фотонно-кристаллических структур на основе $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$ в терагерцовой области спектра. Для кодирования различных типов слоистых периодических структур используется система обозначений [1–3]. Латинским символом обозначается определенный слой, характеризующийся некоторым типом материала и толщиной. Например, запись "(AB)₂₀" соответствует двухкомпонентному базовому брэгговскому стеку, состоящему из двадцати пар слоев.

Выберем в качестве А-слоев слои $\text{Ga}_{0.6}\text{In}_{0.40}\text{As}_{0.36}\text{Sb}_{0.64}$ толщиной 2166 нм ($n=3.46$), удовлетворяющими уравнению $n_A d_A = n_B d_B = \frac{\lambda_0}{4}$ для частоты 10 ТГц (~30 мкм). В качестве В-слоев возьмем структуру $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}_{0.08}\text{Sb}_{0.92}$ толщиной 2393 нм ($n=3.13$), обеспечивающую контраст показателя преломления и сопряженную с решеткой GaSb.

На рисунке 1 рассчитаны распределения интенсивности излучения и показателя преломления, а также спектры пропускания T и отражения R фотонных гетероструктур для микрорезонаторов различных типов, включая $\{\text{AB}\}_N$, гетероструктуры с дефектными слоями $\{\text{AB}\}_N \text{D} \{\text{AB}\}_N$, а также связанные микрорезонаторы. Как видно из рисунка 1 *а, б* в микрорезонаторе на основе фотонных гетероструктур $\{\text{AB}\}_N$ можно возбудить несколько мод, частоты которых совпадают с частотами резонансов пропускания, т. е. набор возможных мод подобного фотонной структуры дискретен и зависит от числа периодов N .

Фотонная гетероструктура с дефектными слоями представляет собой микрорезонатор Фабри-Перо, образованный двумя брэгговскими отражателями и полуволновым элементом между ними, $\{\text{AB}\}_N \text{D} \{\text{AB}\}_N$ (толщина элемента $A + B \approx \lambda/2$). Как показано на рисунке 1 *в, г* в такой структуре наблюдается сильно локализованное состояние в окрестности слоя D, соответствующее единственной "дефектной" моде [1–3]. Также, спектральные ширины дефектной моды и резонансов пропускания фотонного кристалла различаются на

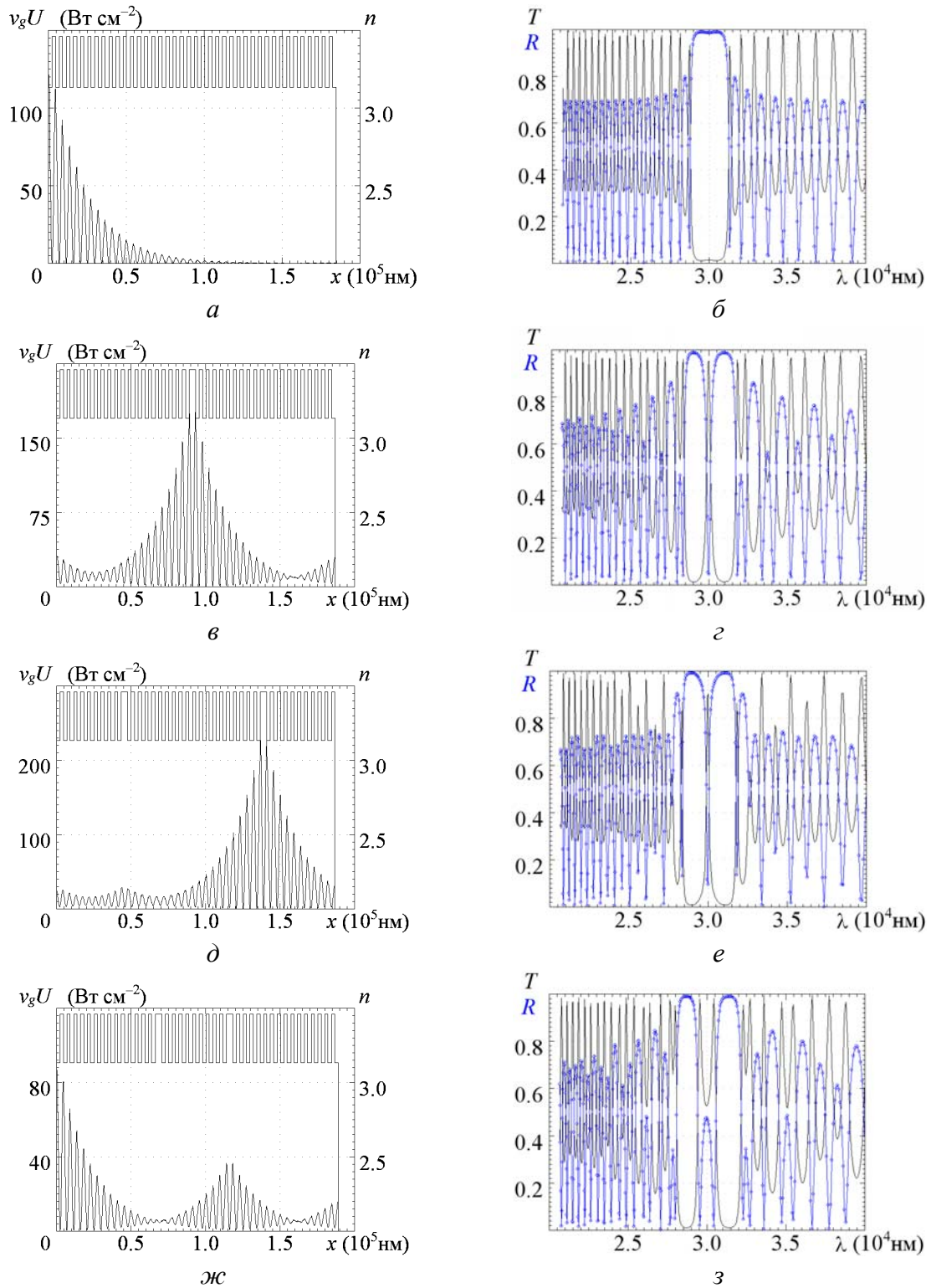


Рис. 1. Распределение интенсивности излучения и показателя преломления (*a*, *в*, *д*, *ж*) , а также спектры пропускания T и отражения R (*б*, *г*, *е*, *з*) фотонных структур с различными типами микрорезонаторов: $(AB)_{40}$ (*a*, *б*), $(AB)_{20}D(AB)_{20}$ (*в*, *г*), $\{(AB)_{10}D(AB)_{10}\}_2$ (*д*, *е*), $(AB)_{15}D(AB)_{10}D(AB)_{15}$ (*ж*, *з*)

несколько порядков, причем с ростом числа периодов структуры сужение линии для резонатора $\{AB\}_N D \{AB\}_N$ происходит намного быстрее по сравнению с резонатором типа $\{AB\}_N$. В качестве D-слоя можно использовать полупроводниковые структуры с усилением и толщиной порядка $\lambda/2$.

На рисунке 1 д-з представлены схемы одномерных фотонных гетероструктур на основе систем связанных микрорезонаторов, и показано, что подобные структуры перспективны для реализации одновременной генерации на нескольких длинах волн. Оптическим аналогом системы слабосвязанных атомов служит структура типа $\{(AB)_J D (AB)_J\}_N$ (система слабо связанных N микрорезонаторов как показано на рисунке 1 д,е). В спектре пропускания такой фотонной гетероструктуры на месте дефектной моды ω_0 отдельного микрорезонатора формируется уширенная полоса пропускания с N слабо выраженными подуровнями. На рисунке 1 ж,з предлагается структура с "перекрывающимися" микрорезонаторами $(AB)_J \{D (AB)_J D\} (AB)_J$, где индекс J' может варьироваться в пределах $[1, 2J - 1]$ (в случае $J' = 2J$ структура вырождается в структуру $\{(AB)_J D (AB)_J\}_2$) [3].

Таким образом, проведено численное моделирование спектров пропускания и отражения, а также мощностных характеристик фотонных гетероструктур на основе соединений $Ga_x In_{1-x} As_y Sb_{1-y} / Al_x Ga_{1-x} As_y Sb_{1-y}$ с фотонной запрещенной зоной в терагерцовой области спектра. Подобные микрорезонаторы перспективны для создания низкопороговых лазеров, работающих на нескольких длинах волн. На основе подобных структур возможна также реализация терагерцовой генерации с одновременным преобразованием частоты в результате параметрических нелинейных процессов.

1. Smirnov A.G., Ushakov D.V., Kononenko V.K. // J. Opt. Soc. Am. B. 2002. V. 19, № 9. P. 2208–2214.
2. Кононенко В.К., Смирнов А.Г., Ушаков Д.В., Нефедов И.С., Гусятников В.Н. // Вестн. ФФИ. 2005. № 4. С. 54–75.
3. Yariv A., Xu Y., Lee R., Scherer A. // Opt. Lett. 1999. V. 24, № 11. P. 711–713.