

УДК 621.372.8:535
ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ТЕРАГЕРЦОВОГО РЕШЕТОЧНОГО
СЕНСОРА ВОДНОГО РАСТВОРА

С. С. МИХЕЕВ, А. Б. СОТСКИЙ,
Могилевский государственный университет им. А. А. Кулешова
Могилев, Беларусь

М. М. НАЗАРОВ
Национальный исследовательский центр «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»
Москва, Россия

Терагерцовые (ТГц) сенсоры состава водных растворов востребованы в микробиологии и медицине (например, для неинвазивной диагностики онкологии). Однако их создание сталкивается с высоким поглощением ТГц-излучения водой. Для обеспечения приемлемой чувствительности сенсора к интересующей примеси в растворе целесообразно использовать эффекты резонансного взаимодействия ТГц-излучения с волноводными структурами. В докладе исследуется сенсор с чувствительным элементом в виде кремниевого планарного волновода с поверхностной дифракционной решеткой, контактирующего с водным раствором протеина БСА. Расчет выполнен методом локальных мод периода решетки. Алгебраизация задачи осуществлена методом Галеркина в формулировке, позволяющей рассчитать дифракционное поле в слоистой среде с произвольным поглощением.

Рассмотрен волновод в виде пластины высокоомного кремния с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_s = (3,4 - i0,005)^2$ толщиной w , на поверхности которого алмазной пилой нарезана дифракционная решетка прямоугольного профиля с периодом d , высотой рельефа δ и воздушными каналами шириной σ . Используются значения $w = 210$ мкм, $d = 322$ мкм, $\sigma = 142$ мкм. Параметр δ рассматривался как оптимизационный. Для диэлектрической проницаемости водного раствора использована модель [1].

В качестве оптимизационных критериев рассмотрены величины

$$|\partial R / \partial C|, \quad |\partial F / \partial C|, \quad (1)$$

где $R = |r / r_0|$; $F = \arg(r / r_0)$; r и r_0 – амплитудные коэффициенты отражения от структуры нулевого дифракционного порядка при наличии и отсутствии в воде примесного компонента; C – концентрация БСА. Расчет в диапазоне $0,1 \text{ THz} \leq f \leq 1 \text{ THz}$ показал, что критерии (1) достигают максимумов в случае нормального падения излучения на структуру при ее освещении со стороны дифракционной решетки. Волнам ТЕ и ТМ поляризации соответствуют оптимальные $\delta = 92$ мкм и $\delta = 105$ мкм. Решение оптимизационной задачи представлено в табл. 1. В первой колонке приведен номер структуры: 1 – свободная поверхность раствора ($w = 0$, $\delta = 0$);



2 – $\delta = 0$ (эталон Фабри–Перо); 3 и 4 – оптимальные структуры с вышеуказанными δ ; f_R и f_F – частоты, на которых достигаются максимумы модулей (1).

Табл. 1. Максимумы чувствительности сенсоров

Номер структуры	$ \partial R / \partial C _{\max}, l/g$	f_R, THz	$ \partial F / \partial C _{\max}, l/g$	f_F, THz
1	$1,4 \cdot 10^{-4}$	0,66	$3,4 \cdot 10^{-4}$	0,19
2	$4,1 \cdot 10^{-4}$	0,26	$5,5 \cdot 10^{-4}$	0,24
3	$5,6 \cdot 10^{-3}$	0,904	$8,0 \cdot 10^{-3}$	0,904
4	0,066	0,31	0,12	0,31

Из табл. 1 можно заключить, что решеточный сенсор имеет существенно более высокую чувствительность к БСА по сравнению со структурами без поверхностного рельефа. При этом предпочтительно использование волн ТМ поляризации. Однако данный эффект определяется резонансным возбуждением эванесцентных волн решетки, поэтому он наблюдается в сравнительно узком спектральном диапазоне (рис. 1).

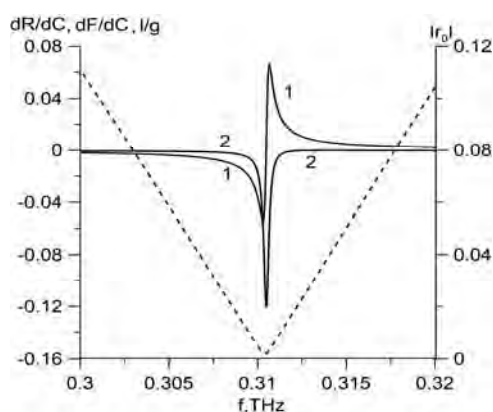


Рис. 1. Спектральная чувствительность решеточного сенсора при использовании волн ТМ поляризации: 1 – $\partial R / \partial C$; 2 – $\partial F / \partial C$; ----- – спектр $|r_0|$

При различии C 20 г/л в плазме крови здоровых и онкологических пациентов оптимизированное изменение φ составит 2,4 радиана, что обнаружимо методом ТГц-спектроскопии во временной области [1].

Работа выполнена при поддержке БРФФИ (грант Ф18Р-143/1) и РФФИ (грант 18-52-00040).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Nazarov, M. M.** Study of the dielectric function of aqueous solutions of glucose and albumin by THz time-domain spectroscopy / M. M. Nazarov, O. P. Cherkasova, A. P. Shkurinov // Quant. Electron. – 2016. – Vol. 46, № 6. – P. 488–495.