

РАЗРАБОТКА ТЕРАГЕРЦОВОЙ НАНОАНТЕННЫ С ДИАГРАМООБРАЗУЮЩИМИ СВОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛОВ ГРУППЫ СИЛЛЕНИТОВ

Лудников Г.А. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – д.ф.-м.н. (радиофизика), д.ф.-м.н. (оптика), ведущий научный
сотрудник Петров В.М. (Университет ИТМО)

Введение. Научной проблемой, на решение которой направлена данная работа, является разработка и создание нового типа высокоэффективного приёмника электромагнитного излучения в диапазоне 3–10 ТГц с диаграмообразующими свойствами на основе кристаллов группы силленитов. Данная наноантенна способна принимать излучение в ТГц-диапазоне и передавать на расстояние полученный электрический сигнал без использования гальванической связи. Выполненный ранее комплексный анализ литературы показывает, что с большой долей вероятности на сегодня нет предложений по использованию кристаллов из группы силленитов ($\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$, $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$, $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$) в качестве подложки для терагерцовой наноантенны. В этом плане постановка работы может рассматриваться как новая и оригинальная. На данный момент в Российской Федерации наибольшее применение нашли наноантенны на основе кремния (Si) и арсенида галлия (GaAs). Различные конфигурации первых уже достигли максимума эффективности в электромагнитных преобразованиях, а также обладают значительными потерями. Разработка нового типа наноантенны на основе арсенида галлия в текущей ситуации не представляется возможным в связи с тяжелой логистической ситуацией в мире. Наноантенна на основе кристаллов группы силленитов может стать высокоэффективной альтернативой существующим приёмникам электромагнитного излучения [1].

Основная часть. Кристаллы силленитов принадлежат к точечной группе 23, с объёмно-центрированной ячейкой без центра инверсии, что допускает наличие оптической активности, электро-оптического, пьезо-электрического, и обратного флексо-электрического эффектов [2]. Наличие мелких ловушечных уровней обеспечивает фоточувствительность кристаллов группы силленитов в красной и инфракрасной области спектра, что позволяет использовать их в качестве фотоприёмников диапазона от единиц ТГц до 100 ТГц (0.4 эВ).

Исходно оптическая индикатриса таких кристаллов представляет сферу. Однако, при приложении внешнего электрического поля, происходит деформация сферы. Задачами настоящей работы были определение наиболее подходящих срезов кристалла силиката висмута $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ и выбор соответствующей геометрии электродов, позволяющих регистрировать электрический сигнал, возникающий в результате взаимодействия терагерцового излучения и фотодетектора.

Освещение поверхности кристалла излучением приводит к фотогенерации электронов с мелких ловушечных уровней в зону проводимости, что приводит к перераспределению объёмного заряда внутри кристалла [3]. Возникновение объёмного заряда внутри кристалла приводит к его локальным механическим деформациям, что создаёт электрическое напряжение на электродах, нанесённых на поверхность. Для реализации практической части работы предлагается использовать два типа электродов: в виде встречно-штыревых преобразователей и в виде спирали (метод закрученного диполя). Абсолютное значение напряжения, которое можно снять с электродов, в значительной мере зависит от конструкции электродов и площади кристалла, на которую они нанесены. Наши оценки показывают, что для площади поверхности кристалла, на которую нанесены, например, электроды в виде встречно-штыревых преобразователей величина напряжения может составлять микровольты, что достаточно для дальнейшего усиления и обработки выходного сигнала. Интересной особенностью обладают электроды, выполненные в форме спирали. Такие электроды могут быть успешно применены для регистрации излучения в виде оптических вихрей, имеющих

осевую симметрию

Такой тип фотоприёмников обладает ярко выраженными диаграммо-образующими свойствами по отношению чувствительности к падающему излучению. Очевидно, что только излучение, падающее на пластину вдоль оси [001] или [111] будет обеспечивать нужное взаимодействие с тензором электро-оптических и пьезо-электрических коэффициентов. Излучение, направленное под углом к этим осям, не будет давать вклад в регистрируемый электрический сигнал.

Выводы. Нами предложено использовать мелкие ловушечные уровни в запрещённой зоне кристаллов группы силленитов для регистрации терагерцового излучения, вплоть до 100 ТГц. Выявлено два среза кристалла, в которых можно использовать цепочку электро-оптический эффект – пьезоэлектрический эффект для преобразования терагерцового излучения в напряжение, снимаемое с электродов. Это позволит создавать эффективные фотоприёмники на основе кристаллов группы силленитов.

Список использованных источников:

1. Денисенко С.А., Камус С.Ф., Пименов Ю.Д., Тергоев В.И., Папушев П.Г. Светосильный широкоугольный телескоп АЗТ-33ВМ // Оптический журнал. – 2009. – № 76(10). – С. 48–51.
2. Abrahams S. C., Bernstein J. L., Svensson C., Crystal structure and absolute piezoelectric d_{14} coefficients in laevorotatory $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$, Journal of Chem. Phys. 1979 Vol. 71, N2 p. 788-792
3. Lauer R. B. Electron effective mass and conduction-band effective density and atates in $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$, J. Appl. Phys. Vol. 45, N 4, (1974) p. 1794-1797