

2. Дианов, Е. М. Волоконная оптика: сорок лет спустя / Е. М. Дианов // Квантовая электроника. – 2010. – Т. 40, № 1. – С. 1–6.

3. Goncharenko, I. A. Optical broadband analog-digital conversion on the base of microring resonator / I. A. Goncharenko, A. K. Esman, V. K. Kuleshov, V. A. Pilipovich // Optics Communications. – 2006. – Vol. 257, No. 1. – P. 54–61.

4. Goncharenko, I. Spectral division of the optical fiber passband using narrowband controllable filter on the base of semiconductor waveguide microresonator / I. Goncharenko, A. Esman, G. Zykov [et al.] // J. of Telecommunications and Information's Technologies. – 2008. – № 4. – P. 67–72.

УДК 530.145(075.8)

### **Антенна терагерцового диапазона**

Есман А. К., Зыков Г. Л., Потачиц В. А.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Работа посвящена увеличению эффективности преобразования энергии терагерцового электромагнитного излучения в энергию электрического сигнала за счет оптимального согласования детектирующей антенны с выпрямительным элементом и волновым сопротивлением открытого пространства.*

Терагерцовый диапазон спектра заключенный между оптическим и радиочастотным являясь областью сближения электроники и фотоники, существенно отличается как теоретической базой, так и техническими средствами, осуществления приема и обработки электромагнитных волн. Волны в терагерцовом спектре обладают специфическими свойствами: они проходят сквозь одежду, дерево, пластик, керамику, но отражаются от металлов и воды. Терагерцовые технологии распространяются на удивительно широкий спектр применения это и контроль пищевых продуктов (определение содержания воды), и медицинская диагностика, контроль фармацевтической продукции, зондирование атмосферы ну и конечно безопасность и оборона, например, обнаружение оружия и взрывчатых веществ при досмотре пассажиров воздушного транспорта. Важно отметить, что терагерцовое излучение в отличие от рентгеновского не опасно для человека. В настоящее время остро стоит задача создания эффективных аппаратных средств, работающих на частотах данного диапазона. Одним из составляющих компонентов в такого рода приборах является детекторный

диод, входящий в состав многоканальных высокоэффективных датчиков электромагнитного излучения с длиной волны 0,1–0,35 мм. [1–3].

Основным недостатком существующих приемников терагерцового излучения является невысокая эффективность преобразования энергии электр-омагнитного излучения в энергию электрического сигнала, вызванную отсутствием оптимального согласования волнового сопротивления антенны с открытым пространством, а именно на границе раздела двух сред (материал антенны и воздух) резко изменяется эффективная диэлектрическая проницаемость, что вызывает отражение электромагнитного излучения от антенны [4]. Нами предлагается конструкция антенны, позволяющая повысить эффективность детектирования за счет уменьшения потерь на отражение. Антенна терагерцового диапазона, содержит на лицевой стороне прозрачной диэлектрической подложки двух плечевую металлическую антенну, концы внутренних частей плеч которой электрически соединены с выпрямительным элементом. Внутренние части обоих плеч выполнены в виде равнобедренных треугольных неоднородных волноводных линий, с углом при вершине в  $45^\circ$ , а их основания связаны соответственно с внутренними концами оставшихся частей антенны, каждая из которых выполнена в виде, как минимум, одной аподизированной металлической дифракционной решетки.

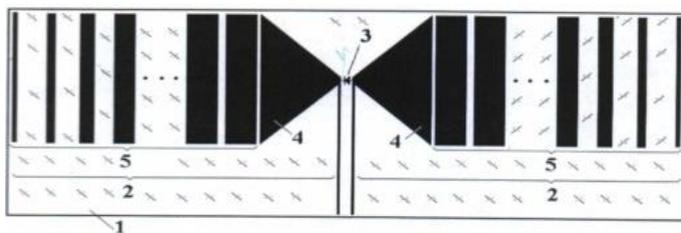


Рис. Структурная схема антенны:

- 1 – прозрачная диэлектрическая подложка; 2 – плечи металлической антенны;
- 3 – выпрямляющий элемент; 4 – равнобедренные неоднородные волноводные линии; 5 – аподизированная металлическая дифракционная решетка

Для эффективного решения поставленной технической задачи аподизированные металлические дифракционные решетки имеют средний период в 5,5 раза меньший, чем длина волны детектируемого электромагнитного излучения, что значительно снижает потери на отражение. Количество периодов в каждой из аподизированных металлических дифракционных решеток выбрано равное простому числу, а коэффициент заполнения штрихов аподизированных металлических дифракционных решеток изме- 380

няется по линейному закону, уменьшая тем самым перепад эффективной диэлектрической проницаемости (показателя преломления) на границах их раздела с окружающим пространством.

Совокупность указанных признаков позволяет решить техническую задачу за счет оптимального согласования детектирующей антенны как с выпрямительным элементом, так, и с волновым сопротивлением открытого пространства.

Антенна выполнена на прозрачной диэлектрической подложке методом фотолитографии. Выпрямительный элемент – это диод Шоттки, выполненный по интегральной технологии на основе кристалла арсенида галлия, в котором один электрод образует барьер Шоттки с базовым слоем кристалла, а второй электрод имеет с ним омический контакт.

Электромагнитное излучение терагерцового диапазона (1–2,5 ТГц) поступает из окружающего пространства на оба плеча 2 детектирующей антенны. В связи с тем, что внешние части плеч 2 антенны выполнены в виде аподизированных металлических дифракционных решеток 5, то на границе раздела их с окружающей средой перепад эффективной диэлектрической проницаемости уменьшается. Поэтому от поверхности антенны отражается лишь незначительная часть (доли процентов) поступающей энергии, а подавляющая часть электромагнитного излучения преобразуется в переменные токи принимаемых частот излучения. Так как период аподизированных металлических дифракционных решеток 5 значительно меньше длины волны детектирующего электромагнитного излучения, то входное излучение без потерь распространяется по решеткам 5 к равнобедренным треугольным неоднородным волноводным линиям 4. Распространяющееся электромагнитное излучение во всех металлических частях антенны вызывает переменные токи частот принимаемого излучения, которые поступают через волноводные линии 4 и детектируются выпрямительным элементом 3. Полученное электрическое напряжение на выходе элемента 3 пропорционально энергии преобразуемого электромагнитного излучения терагерцового диапазона.

Оптимальное согласование приемной антенны с окружающим пространством и выпрямительным элементом 3 в предлагаемом устройстве позволяет существенно повысить эффективность детектирования электромагнитного излучения.

### Литература

1. Братман, В. Л. Освоение терагерцового диапазона: источники и применения / В. Л. Братман, А. Г. Литвак, Е. В. Суворов // Успехи физических наук. – 2011. – Т. 181, № 8. – С. 867–874.

2. Esman, A. K. A terahertz receiver based on electromagnetic materials / A. K. Esman, V. K. Kuleshov, G. L. Zykov // Measurement Techniques. – 2013. – Vol. 56, № 7. – P. 813–816.

3. Esman, A. K. Terahertz radiation sensor of the antenna type / A. K. Esman, V. K. Kuleshov, G. L. Zykov, V. B. Zalesski, V. M. Kravchenko // Proceedings 3d International Workshop on THz Radiation: Basic Research & Applications, September 4–5, 2011, Kharkov, Ukraine. – Kharkov, 2011. – Paper tera-001. – P. 1–3.

4. Angelust, A. A. Characteristic responses of biological and nanoscale systems in the terahertz frequency range / A. A. Angelust // Quantum Electronics, 2014. – V. 44, № 7. – P. 614–632.

УДК 37.01:378.4 (476)

**Научные методы исследования в лабораторном физическом  
практикуме студентов технических специальностей**

Юркевич Н. П., Савчук Г. К.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В работе рассмотрены научные методы исследования твердых тел, используемые при обучении студентов технических специальностей курсу общей физики. Показана важность внедрения новейших методов при проведении лабораторного физического практикума. Разработаны новые лабораторные задания для эффективного изучения кристаллического строения твердых тел, определения химического состава веществ в процессе обучения студентов технического вуза.*

Современные физические методы исследования кристаллического строения твердых тел, наличия в твердых телах дефектности, взаимосвязи физических свойств со свойствами микро- и макроструктуры основаны на изучении характера взаимодействия излучения или потока частиц с твердым телом. В методах используются потоки электронов, фотонов (например, рентгеновские), нейтральных частиц (например, нейтронов) и т. д.

Для определения и анализа особенностей кристаллической структуры [1], химического состава [2–5] твердых тел используются методы рентгеноструктурного и рентгенофазового анализов. Качественный и количественный анализ химического состава твердых тел как простых, так и сложных соединений может быть проведен также с помощью методов спектрального анализа [6]. Спектральный анализ основан на изучении