

# Разработка широкополосного радиопоглощающего материала на основе карбида кремния и нитрида алюминия

Юрий Непочатов (nuk3d@mail.ru), Антон Бандин (Новосибирск),  
Инна Манина (Санкт-Петербург)

В статье рассмотрена конструкция радиопоглощающего элемента в виде слоистой структуры, состоящей из керамических пластин на основе карбида кремния и нитрида алюминия, требуемая для достижения оптимального значения коэффициента радиопоглощения в широком диапазоне частот. В процессе работы исследованы 3 вида слоистых конструкций различной структуры из радиопоглощающих керамических пластин на основе карбида кремния и нитрида алюминия и определены коэффициенты отражения данных слоистых структур в зависимости от количества и расположения слоёв.

## ВВЕДЕНИЕ

Многослойные и композитные среды в зависимости от составляющих их материалов и внешних условий могут как отражать и пропускать электромагнитное излучение (ЭМИ), так и поглощать его. Способность таких сред к отражению и поглощению электромагнитных волн (ЭМВ) может быть использована для создания экранирующих и поглощающих материалов, в частности радиопоглощающих материалов (РПМ). Способность к поглощению или пропусканию электромагнитной энергии, в свою очередь, может быть использована для нагрева сред, поглощающих ЭМИ и находящихся за другими слоями, пропускающими ЭМИ. В процессе поглощения среда может нагреваться в результате преобразования электромагнитной энергии в тепловую. РПМ предназначены для уменьшения электромагнитного поля внутри экранируемых объектов до заданного значения, а также для уменьшения интенсивности отражённого СВЧ-сигнала. Характеристики некоторых промышленных поглотителей приведены в [1–5]. Для более эффективного поглощения СВЧ-излучения предпочтительно использовать материалы с высокими значениями мнимых частей диэлектрической и магнитной проницаемостей. Основные свойства таких материалов приведены в [6–11]. При создании слабоотражающих поглотителей могут также потребоваться материалы с малыми значениями диэлектрической и магнитной проницаемостей для согласования импеданса свободного про-

странства и внешнего слоя поглотителя [12]. Материалы с такими свойствами могут быть достаточно легко получены на основе пористых композитов, в которых поглотитель насыщен необходимым количеством микропор [6]. Создание современных РПМ с заданными характеристиками, в частности с малым коэффициентом отражения, возможно только при использовании композитных материалов [5, 13–17].

Все известные РПМ можно классифицировать по различным признакам: используемым материалам, принципу действия, типу конструкции, ширине диапазона рабочих частот электромагнитного излучения. Наибольшее внимание в настоящее время уделяется созданию широкополосных поглотителей. Как правило, к широкополосным относятся поглотители, для которых ширина рабочего диапазона  $\Delta\lambda = \lambda_{\text{макс}} - \lambda_{\text{мин}}$  составляет величину порядка  $\lambda_0 = (\lambda_{\text{макс}} + \lambda_{\text{мин}})/2$ . Методам расчёта широкополосных поглотителей и их разработкам посвящено большое количество работ [18–22]. Предлагаемые решения для коэффициента отражения связывают длину волны, толщину поглотителя и эффективные комплексные диэлектрическую и магнитную проницаемости. Для расширения рабочего диапазона РПМ применяются многослойные, сотовые и ячеистые структуры. В качестве искусственных наполнителей часто используются проводники различной формы [13, 23]. Исследования особенностей прохождения электромагнитных волн через многослойные и композитные структуры,

состоящие из полупроводников, ферромагнетиков и диэлектриков, являются актуальными не только с точки зрения теоретической физики, но и в связи с их применением в микроэлектронике, акустооптике, оптической голографии, рентгеновской дифрактометрии и других областях науки. Существует большое количество современных искусственных материалов, имеющих слоистую или композитную периодическую структуру, изучение свойств и характеристик которых может открыть путь к их практическому использованию в новых приложениях.

## Постановка задачи

Широкополосные РПМ можно создавать на основе многослойных покрытий из различных материалов. По принципу действия они, как правило, подразделяются на несколько групп:

- интерференционные – использующие интерференцию падающей и отражённой волн;
- рассеивающие, в которых отражённая волна рассеивается во всех направлениях;
- поглощающие, в которых энергия падающих волн превращается в тепловую за счёт диэлектрических и магнитных потерь материала;
- комбинированные, сочетающие различные принципы действия в одном поглотителе.

При создании подобных РПМ учитываются два основных условия: согласование с внешним пространством, т.е. пренебрежимо малое отражение от внешней поверхности, и полное поглощение энергии волны, прошедшей внутрь покрытия. Наиболее широкополосными являются поглотители с комбинированным принципом действия. Широкий диапазон рабочих частот имеют поглотители из композитов с электропроводящими волокнами. На основе композитных электропроводящих волокон в смеси с ферритами разработаны однослойные радиопоглощающие покрытия [24–26]. Многослойные поглотители с исполь-

зованием ферритов или ферромагнитных материалов имеют очень широкую полосу поглощения при достаточно малом коэффициенте отражения. Например, трёхслойный поглотитель [27] обеспечивает  $K < -10$  дБ в диапазоне частот 5...40 ГГц при толщине 2 мм. Данный материал выполнен на основе волокон, наполненных карбонильным железом. Его широкополосность обеспечивается плавным изменением комплексных диэлектрической и магнитной проницаемостей по толщине поглотителя. Если увеличивать число слоёв при соответствующем расширении диапазона, то по своим свойствам многослойные поглотители будут близки к поглотителям градиентного типа, в которых используется постепенное изменение от высокого сопротивления и низкой проводимости свободного пространства на внешней поверхности поглотителя к более низкому сопротивлению и более высокой проводимости на его задней стороне. Данные поглотители могут обладать более широкой полосой при малой величине коэффициента отражения, однако они являются самыми сложными в изготовлении. К числу таких материалов относятся керамические поглотители СВЧ-энергии на основе нитрида алюминия и карбида кремния [28]. Целью данной работы является получение минимального коэффициента отражения в требуемом широком частотном диапазоне при определённых ограничениях на параметры используемых материалов, а также создание экспериментального образца широкополосного радиопоглощающего материала на основе нитрида алюминия и карбида кремния.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАДИОПОГЛОЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МАТЕРИАЛА**

Радиопоглощающие свойства образцов оценивались по измерениям коэффициентов поглощения и отражения согласно методике, описанной в ГОСТ Р 50011-92. Коэффициент отражения ЭМВ показывает долю энергии, переизлучённой в направлении источника колебаний. В идеальном случае электромагнитное поле поглощается материалом полностью (см. рис. 1а)

Величина ослабления электромагнитной энергии представляет собой соотношение уровней падающей электромагнитной энергии и энергии в пространстве за образцом (см. рис. 1б).

Показатели отражения электромагнитных волн от границы раздела двух сред и поглощения энергии ЭМВ в объёме материала характеризуют эффективность экранирования ЭМИ.

Исследование экранирующих свойств композиционных материалов осуществлялось в диапазоне 5...20 ГГц с использованием панорамного измерителя коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) и ослабления, а также волноводного измерительного тракта. КСВН связан с коэффициентом отражения  $K_{отр}$  следующим соотношением:

$$КСВН = \frac{1 + K_{отр}}{1 - K_{отр}}$$

Далее описана процедура измерения коэффициента отражения образцов выбранной конструкции панели в диапазоне частот 8...18 ГГц. Изготовленная из исследуемого радиопоглощающего материала квадратная пластина размером 200×200 мм устанавливалась перпендикулярно оси облучающей её рупорной антенны Пб-12, которая одновременно является и приёмной антенной для отражённой от пластины волны. Расстояние от пластины до антенны плавно изменялось в диапазоне 0,5...0,6 м при помощи специального механического устройства. Излучаемая антенной волна многократно отражается от пластины к антенне и обратно, формируя суммарную энергию волны, принимаемую антенной. Амплитуда СВЧ-сигнала, принятого антенной, составляет:

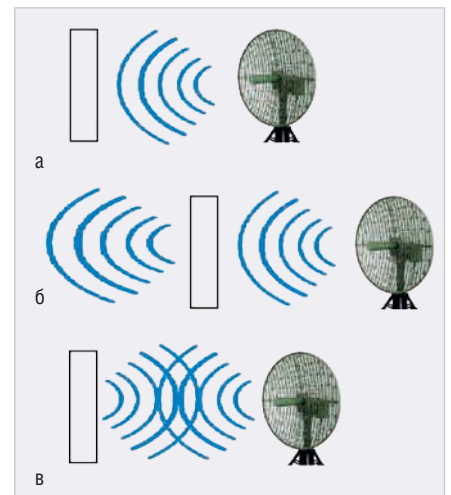
$$A = \frac{U \times (1 - \rho^2) \times \alpha \times k}{1 - \alpha \times k \times \rho \times \beta \times e^{-j(\varphi - \Delta\varphi - \Delta\lambda)}}$$

где  $U$  – амплитуда излучаемого антенной сигнала;  $\rho$  – коэффициент отражения волны от антенны (по мощности);  $\alpha$  – доля мощности излучаемой антенной волны, попадающей на пластину;  $k$  – искомый коэффициент отражения пластины (по амплитуде);  $\beta$  – доля мощности отражённой от пластины волны, падающая на антенну;  $\Delta\varphi$  – приращение фазы при отражении волны от антенны;  $\varphi = 2\pi \times \frac{2l}{\lambda}$ , где  $l$  – расстояние от излучателя антенны до пластины,  $\lambda$  – длина волны.

Из приведённого выражения следует, что при плавном изменении расстояния от антенны до пластины на  $\lambda/2$  амплитуда принятого сигнала изменяется от

$$A = \frac{U \times (1 - \rho^2) \times \alpha \times k}{1 + \alpha \times \beta \times \rho \times k}$$

до



**Рис. 1. Схемы поглощения электромагнитных волн материалом:** а) полное поглощение; б) неполное поглощение; в) частичное поглощение

$$A = \frac{U \times (1 - \beta^2) \times \alpha \times k}{1 - \alpha \times \beta \times \rho \times k}$$

Измеряемые величины  $V_{min}$  и  $V_{max}$  пропорциональны  $A_{min}$  и  $A_{max}$  соответственно, выражаются соотношениями:

$$V_{max} = M \times \frac{U \times (1 - \beta^2) \times \alpha \times k}{1 - \alpha \times \beta \times \rho \times k}$$

и

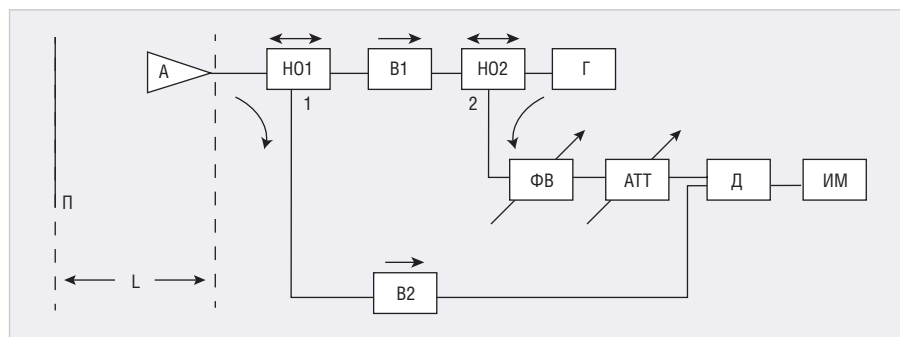
$$V_{min} = M \times \frac{U \times (1 - \beta^2) \times \alpha \times k}{1 - \alpha \times \beta \times \rho \times k}$$

Затем пластина, изготовленная из радиопоглощающего материала, заменялась на пластину с такими же размерами, но сделанную из материала с известным коэффициентом отражения  $k_0$ . Обычно это металлическая пластина, коэффициент отражения которой принимается равным 1. Описанным выше способом для этой пластины можно получить соотношения для  $V_{0,min}$  и  $V_{0,max}$  (заменяв  $k$  на  $k_0$ ). Уравнения для  $V_{min}$ ,  $V_{max}$ ,  $V_{0,min}$  и  $V_{0,max}$  можно решить относительно  $k$  и получить:

$$k = k_0 \times \frac{V_{max} \times \left(1 + \frac{V_{max}}{V_{min}}\right)}{V_{max} \times \left(1 + \frac{V_{0,max}}{V_{0,min}}\right)}$$

По этой формуле производится расчёт коэффициента отражения  $k$ .

Схема устройства измерения величин  $V_{min}$ ,  $V_{max}$ ,  $V_{0,min}$  и  $V_{0,max}$  представлена на рисунке 2. Для разделения излучаемого и принимаемого антенной сигналов используются направленные ответвители и вентили. Через выход 1 направленного ответвителя НО1 принимаемый антенной сигнал поступает на измеритель мощности ИМ. В качестве величины  $V$ , пропорциональной амплитуде принимаемого сигнала,

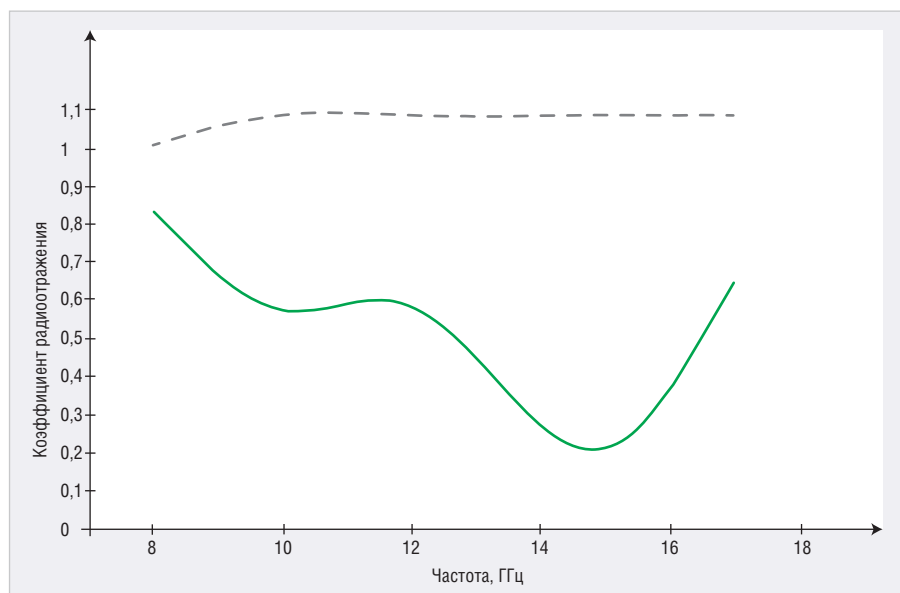


**Примечание:** П – отражающая пластина-образец с РПМ; А – рупорная антенна; НО1, НО2 – ответвители; В1, В2 – вентиля; ФВ – перестраиваемый фазовращатель; АТТ – перестраиваемый аттенуатор; Д – делитель; Г – генератор; ИМ – измеритель мощности

**Рис. 2. Схема измерительной установки**

**Таблица 1. Электромагнитные свойства используемых материалов**

Физические свойства	SiC	AlN	(MnO, ZnO)Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Боросиликатное стекло (SiO <sub>2</sub> -B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
Теплопроводность (Вт/мК) при +25°С	150	160...240	2,8...5,7	–
Диэлектрическая постоянная при +25°С на частоте 1 МГц	40...42	8,8...10,5	8...10	4...10
Тангенс угла диэлектрических потерь на частоте 1 МГц	0,05	0,0005	0,0010	0,0005...0,001
Коэффициент температурного линейного расширения ( $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ) в диапазоне температур +25...+400°С (для кремния – $3,5...4,0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )	3,7	4,3...4,6	5...10	4
Магнитная проницаемость	0,999985	1	70...6000	1



**Рис. 3. Результаты измерений коэффициента радиоотражения электромагнитной энергии на сверхвысоких частотах для панелей из карбида кремния (сплошная линия) и нитрида алюминия (пунктирная линия)**

принимается величина, равная квадратному корню из измеренного значения мощности.

Для исключения влияния на результаты измерения излучаемого сигнала, который вместе с принимаемым сигналом может проходить на выход 1 направленного ответвителя

НО1, в устройстве имеется компенсационный канал, включающий в себя выход 2 направленного ответвителя НО2, перестраиваемый аттенуатор АТТ и перестраиваемый фазовращатель ФВ. На делителе Д сигналы измерительного и компенсационного каналов суммируются, после чего сигнал поступает на

измеритель мощности ИМ. Компенсация проникающего через измерительный канал сигнала осуществляется при изъятости отражающей пластины путём установки такого затухания и поворота фазы сигнала в компенсационном канале, при котором измеритель ИМ показывает ноль мощности. Результаты измерения коэффициентов отражения стандартных материалов (флана и оргстекла) согласуются с известными опубликованными данными на частоте 1 МГц.

Электромагнитные свойства используемых материалов представлены в таблице 1. В диапазоне сверхвысоких частот они изучены довольно слабо. Показатели радиопоглощения и радиоотражения зависят от толщины слоя структуры материала и диэлектрических и магнитных характеристик. Чем «хуже» структура материала, тем лучше поглощение электромагнитных свойств.

Для расчёта зависимости коэффициента отражения от толщины материала, диэлектрической и магнитной постоянных и тангенса диэлектрических потерь была разработана программа, позволяющая производить моделирование многослойного радиопоглощающего материала, с помощью которой была проведена предварительная оценка поглощающих свойств разрабатываемых конструкций слоистых поглотителей.

С целью экспериментальной проверки расчётных конструкций многослойных поглотителей были изготовлены образцы панелей размером 200×200 мм на металлической подложке с различными компонентными составляющими, которые имели разные толщины, для того чтобы измерить радиоотражающую способность исследуемых материалов. Сначала измерялся коэффициент радиоотражения керамических панелей из 16 плиток карбида кремния, наклеенных на металлическую пластину (размер одной керамической плитки составлял 50×50×9 мм), а затем из 4 плиток нитрида алюминия, наклеенных на металлическую пластину (размер одной плитки – 110×110×0,63 мм). Керамические плитки приклеивались к металлической пластине с помощью двухстороннего скотча.

Измерения проводились на частотах 8, 10, 12, 15 и 17 ГГц. Результаты измерений коэффициента радиоотражения электромагнитной энергии представлены на рисунке 3. Из графика

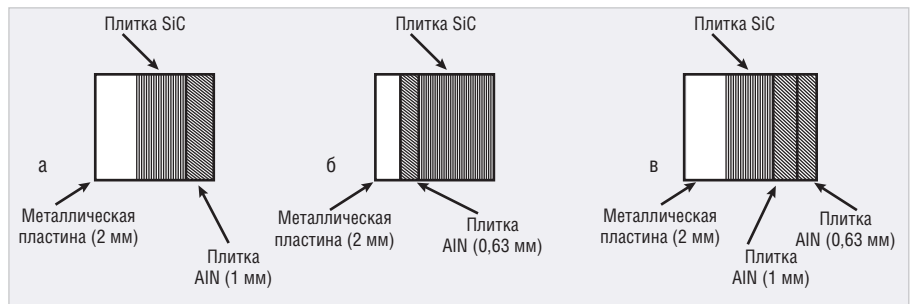
ков видно, что нитрид алюминия во всём диапазоне сверхвысоких частот от 8 до 17 ГГц обладает высоким коэффициентом радиоотражения, т.е. отражает практически все электромагнитные волны. Карбид кремния отражает электромагнитные волны лишь частично.

После сравнений экспериментальных значений с теоретическими стало ясно, что электромагнитные свойства в диапазоне частот 8...17 ГГц отличны от данных, полученных на частоте 1 МГц. Экспериментальным путём было определено, что значение диэлектрической постоянной для карбида кремния в районе сверхвысоких частот составляет около 12.

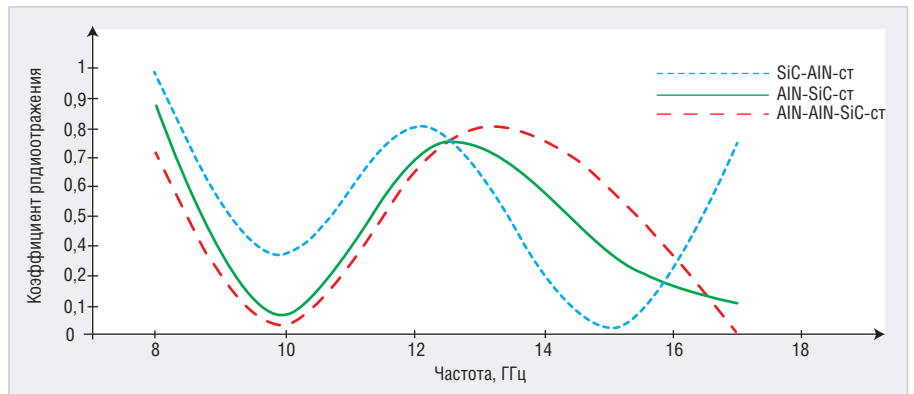
Затем были изготовлены многослойные панели, состоящие из двух или трёх слоёв разных толщин. Схемы панелей представлены на рисунке 4. В скобках указана толщина пластин. Результаты измерений коэффициента радиоотражения электромагнитной энергии для многослойных панелей из различных сочетаний материалов представлены на рисунке 5. Как видно из графика, для данных материалов на частотах 8...11 и 13...17 ГГц коэффициент радиоотражения очень мал и составляет 5–10%, а на частоте 11...13 ГГц наблюдается значительное отражение, составляющее 60–70%.

Таким же образом были проведены измерения для панелей, состоящих из последовательных слоёв карбида кремния и нитрида алюминия. Схемы панелей представлены на рисунке 6. Результаты измерений коэффициента радиоотражения электромагнитной энергии на сверхвысоких частотах для данных панелей приведены на рисунке 7. Как видно из графика, на частотах 8...11 и 13...15 ГГц коэффициент радиоотражения составляет 0–10% (менее –20 дБ), т.е. материал на этих частотах отражает 5–10% электромагнитных волн, а на частотах 11...13 и 15...18 ГГц измеренный коэффициент составляет –2 дБ и отражает до 70% электромагнитных волн.

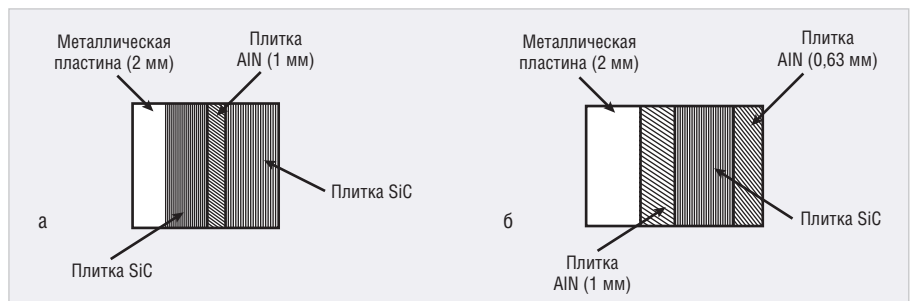
Для перекрытия «провала» на частотах 11...13 ГГц в исследованные многослойные поглотители был введён дополнительный слой, состоящий из органического компонента (эпоксидной смолы) и марганец-цинкового феррита. Важным преимуществом дополнительного слоя является его «широкополосность» и эффективность поглощения излучения в широком диапазоне частот. Марганец-цинковые



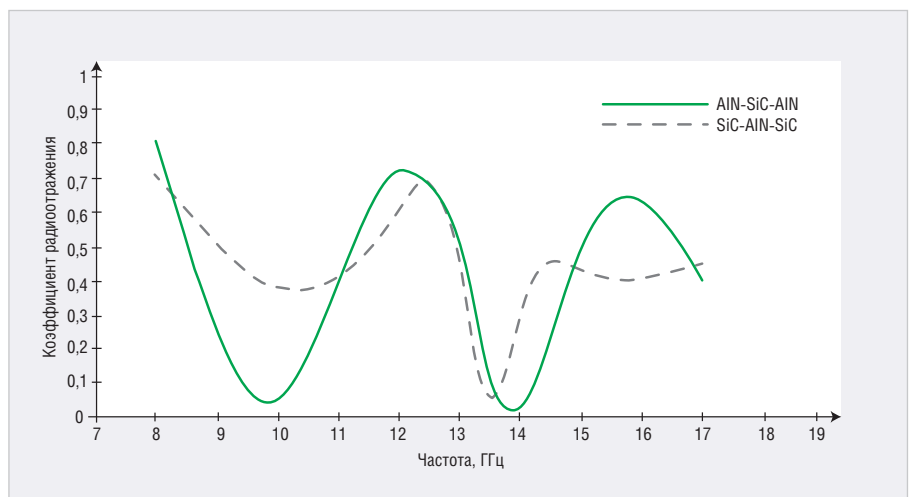
**Рис. 4.** Схема пластины размерами 200×200 мм, состоящей из различных последовательностей слоёв: а) слоя карбида кремния и слоя нитрида алюминия; б) слоя нитрида алюминия и слоя карбида кремния; в) слоя карбида кремния и двух слоёв нитрида алюминия



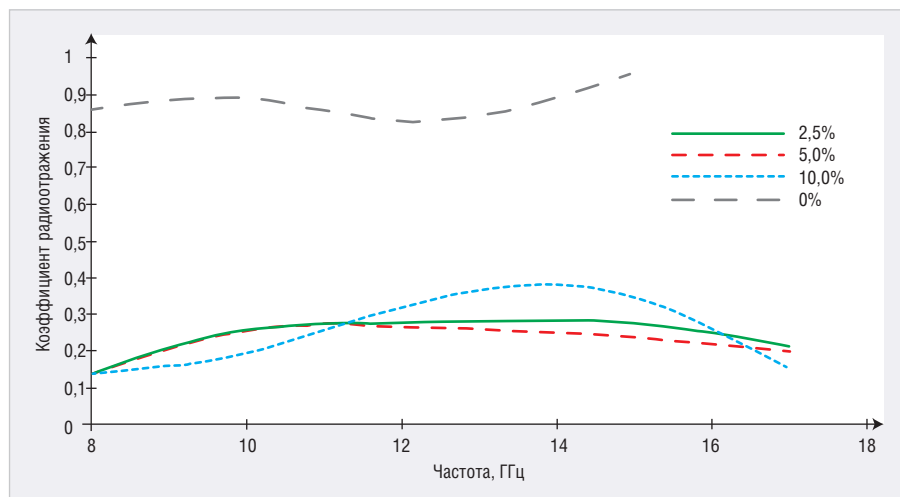
**Рис. 5.** Результаты измерений коэффициента радиоотражения электромагнитной энергии на сверхвысоких частотах для панелей из различных сочетаний слоёв карбида кремния и нитрида алюминия



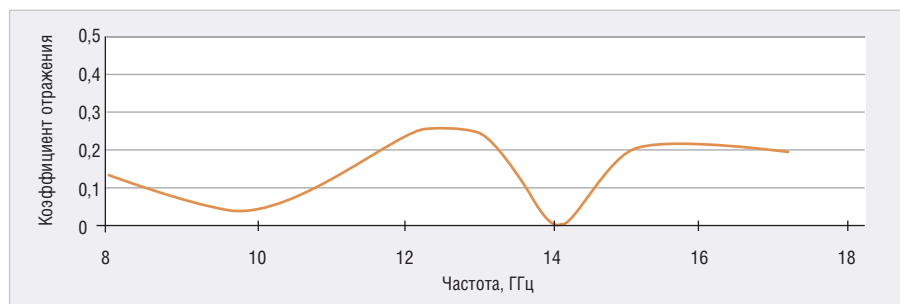
**Рис. 6.** Схема панелей размерами 200×200 мм, состоящих из: а) двух слоёв карбида кремния с нитридом алюминия; б) двух слоёв нитрида алюминия и одного слоя карбида кремния



**Рис. 7.** Результаты измерений коэффициента радиоотражения электромагнитной энергии на сверхвысоких частотах для панелей, состоящих из слоёв карбида кремния и нитрида алюминия



**Рис. 8.** Результаты измерений коэффициента радиоотражения электромагнитной энергии на сверхвысоких частотах для панелей, состоящих из эпоксидной смолы и из эпоксидной смолы с добавлением марганец-цинкового феррита в объеме 2,5; 5,0 и 10%



**Рис. 10.** Коэффициент отражения для панели, состоящей из последовательных слоев AIN, SiC, AIN и эпоксидной смолы с добавлением марганец-цинкового феррита

ферриты характеризуются повышенными значениями магнитной проницаемости, малыми магнитными потерями, повышенными значениями удельного сопротивления и малыми вихревыми токами.

Был изготовлен марганец-цинковый феррит состава: MnO – 20%, ZnO – 7,6%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 72,4%. Для определения оптимального количества феррита в смолу вводили его добавки в объеме 2,5; 5,0 и 10%. Результаты измерения коэффициента радиоотражения панелей, состоящих из эпоксидной смолы и эпоксидной смолы с марганец-цинковым ферритом, представлены на рисунке 8.

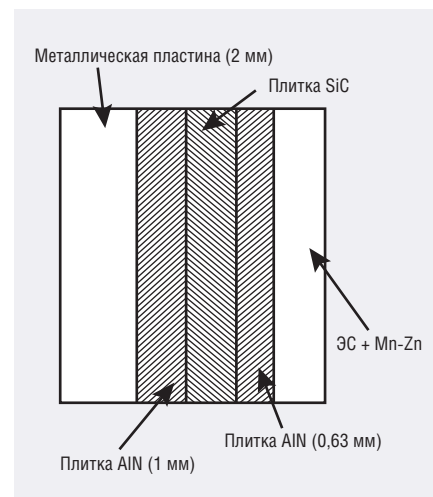
Таким образом, можно сделать вывод, что в диапазоне частот 8...18 ГГц радиопоглощающая плитка с минимальным коэффициентом отражения должна представлять собой слоистую структуру (см. рис. 9), состоящую из слоев керамических материалов на основе SiC, AIN и слоя с добавкой марганец-цинкового феррита объемом 2,5–5%. Расчетное значение коэффициента отражения такой плитки будет составлять 0–20% (см. рис. 10).

### ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОБРАЗЦА РАДИОПОГЛОЩАЮЩЕГО КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ SiC И AIN В SPS-УСТАНОВКАХ

Получение изделий на основе карбида кремния и нитрида алюминия возможно в установках плазменно-искрового синтеза SPS. Авторами были проведены эксперименты по предварительному спеканию SiC и AIN в вакууме, в результате выполнения которых был изготовлен образец из шихты состава SiC – 50–90%, AIN – 50–10%. Физические свойства образца, полученного в SPS-установке, представлены в таблице 2.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения данной работы созданы радиопоглощающие элементы из материалов на основе карбида кремния и нитрида алюминия, обеспечивающие ослабление энергии ЭМВ от 5 до 20 дБ на частотах от 8 до 17 ГГц. Разработанный материал представляет собой слоистый поглотитель, состоящий из последовательных слоев карбида кремния и нитрида алюминия в



**Рис. 9.** Конструкция радиопоглощающей плитки с минимальным коэффициентом поглощения

**Таблица 2.** Показатели материалов SiC и SiC-AIN (в соотношении компонентов 90/10%), полученные в SPS-установке

Показатель	SiC	SiC-AIN
Кажущаяся плотность, г/см <sup>3</sup>	3,14	2,92
Водопоглощение, %	0,0287	0,0638
Пористость, %	0,0089	0,1859
Скорость звука, м/с	12541	11325
Модуль упругости, ГПа	429	326

сочетании с марганец-цинковым ферритом. Исследованы радиопоглощающие свойства слоистых элементов с различным сочетанием слоев. Для получения материала, обладающего радиопоглощающими свойствами в широкой полосе частот, разработан состав и изготовлен в SPS-установке при +2000°C образец радиопоглощающего композитного материала на основе карбида кремния и нитрида алюминия.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Адамовский А.А., Ажажа В.М., Баглюк Г.А. Неорганическое материаловедение. Т.2. – Киев: Наукова думка, 2008. – 171 с.
2. Ковнеристый Ю.К., Лазарева И.Ю., Раванев А.А. Материалы, поглощающие СВЧ-излучение. – М.: Наука, 1982. – 163 с.
3. Миrowsанов О.С., Собенин Н.П. Техника сверхвысоких частот. – М.: Атомиздат, 1980. – 464 с.
4. Побочные колебания в электронных приборах СВЧ / под ред. М.Б. Цейтлина. – М.: Радио и связь, 1984. – 152 с.
5. Шнейдерман А.Я. Радиопоглощающие материалы: обзор. Зарубежная радиоэлектроника. 1965. № 4. С. 115–135.

6. Шнейдерман А.Я. Радиопоглощающие материалы: обзор. Зарубежная радиоэлектроника. 1975. № 2. С. 93–114.
7. Шнейдерман А.Я. Радиопоглощающие материалы: обзор. Зарубежная радиоэлектроника. 1975. № 3. С. 71–93.
8. Фоксвелд, Джаксенд. Подход к обеспечению скрытности: создание малозаметных кораблей. Jane's IDR (International Defense Review). September 1998. Vol. 31. P. 43–45, 47–48.
9. Truker S. Revolution on the surface of sea Jane's NAVY International. July/August 1998. Vol. 103. № 6.
10. Маркин А.В. Безопасность излучений от средств электронно-вычислительной техники: домыслы и реальность. Зарубежная радиоэлектроника. 1989. № 12. С. 102–124.
11. Герасимов В., Владиславский В. Комплексная автоматизация и защита информации. Зарубежная радиоэлектроника. 1975. № 2. С. 49–63.
12. Минин Б.А. СВЧ и безопасность человека. – М.: Советское радио, 1974. – 351 с.
13. Шнейдерман Я.А. Новые радиопоглощающие материалы. Зарубежная радиоэлектроника. 1969. № 6. С. 101–124.
14. Торгованов В.А. Безэховые камеры. Зарубежная радиоэлектроника. 1974. № 12. С. 20–46.
15. Алимин Б.Ф. Современные разработки поглотителей электромагнитных волн и радиопоглощающих материалов. Зарубежная радиоэлектроника. 1989. № 2. С. 75–82.
16. Anechoic R.F. Chamber Test Facilities. – KEENE Corp, 1982. – 154 p.
17. Ковнеристый Ю.К., Лазарева И.Ю., Раваев А.А. Материалы, поглощающие СВЧ-излучения. – М.: Наука, 1982. – 164 с.
18. Келдыш Л.В., Конаев Ю.В. Возможная неустойчивость полуметаллического состояния относительно кулоновского взаимодействия. ФТТ. 1964. Т.6. № 9. С. 2791–2798.
19. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тарев Б.М. Электротехнические материалы. – Л.: Энергия, 1977. – 352 с.
20. Тарев Б.М., Короткова Н.В., Петров В.М. и др. Электрорадиоматериалы – М.: Высшая школа, 1976. – 336 с.
21. Рез И.С., Поплавко Ю.М. Диэлектрики. Основные свойства и применение в электронике. – М.: Радио и связь, 1989. – 287 с.
22. Хиттель А.Р. Диэлектрики и их применение. – М., Л.: Энергониздат, 1959. – 336 с.
23. Алимин Б.Ф., Торгованов В.А. Методы расчёта поглотителей электромагнитных волн. Зарубежная радиоэлектроника. 1976. № 3. С. 29
24. Киренский Л.В., Чистяков Н.С. О некоторых возможностях практического использования ферромагнитных плёнок на сверхвысоких частотах. ДАН СССР. 1965. Т. 165. № 1. С. 81–84.
25. Патент DE 1294511, 08.05.69.
26. Патент RU 2122264 С1.
27. Патент USA 4688040.
28. Часнык В.И., Фесенко И.П. Объёмный поглотитель СВЧ-энергии на нитрида алюминия и карбида кремния. Техника и приборы СВЧ. 2008. № 2. С. 45–47. ©

## НОВОСТИ МИРА

### Три дня совместной работы: ExpoElectronica и ElectronTechExpo

С 15 по 17 апреля 2019 года в МВЦ «Крокус Экспо» (Москва) пройдёт 22-я Международная выставка электронных компонентов, модулей и комплектующих ExpoElectronica. Одновременно состоится единственная в стране выставка технологий, оборудования и материалов для производства изделий электронной и электротехнической промышленности ElectronTechExpo.

Многолетнее совместное проведение выставок создаёт уникальную базу для взаимодействия профессионалов. Именно здесь ведущие производители и дистрибьюторы представляют разработки и услуги профильным специалистам из большинства регионов России и стран ближнего зарубежья.

Посещение выставки позволяет быстро и эффективно решить максимум профессиональных задач: познакомиться с новинками электроники, сравнить предложения компаний, найти партнёров для бизнеса и заключить контракты, узнать о последних достижениях отрасли на мероприятиях деловой программы.

Выставки посещают руководители и специалисты производственных предприятий в области электронной аппаратуры, электротехнической продукции, приборов и устройств, а также компании-поставщики электронных компонентов, электронного оборудования и материалов.



ExpoElectronica – крупнейшая по количеству и самая представительная по составу участников международная выставка данной тематики в России. В 2019 году экспозиция развернётся в двух выставочных залах и займёт 16 490 м<sup>2</sup>. Масштаб события отмечают как посетители, так и участники.

Выставки постоянно развиваются, наращивая заинтересованную аудиторию. В 2018 году участие в них приняла 431 компания из 14 стран мира, из них 122 представили продукцию впервые. В 2019 году к ExpoElectronica и ElectronTechExpo присоединились 96 новых компаний. Отмечается, что в последние годы существенно увеличилось количество российских производителей.

Три дня выставку сопровождает насыщенная деловая программа, которая пройдёт на 7 современных площадках и будет включать демонстрацию новинок продукции с участием непосредственных разработчиков. Составятся

дискуссии по вопросам диверсификации производства и перехода на производство гражданской продукции, семинары по сертификации систем менеджмента качества, сертификации ЭК и электронной продукции, презентации и технические семинары участников выставки.

Каждый год выставки ExpoElectronica и ElectronTechExpo становятся важнейшей бизнес-площадкой, где представители отрасли подводят итоги работы, обсуждают перспективы и планы на будущее. Способствуя выполнению стратегической задачи по развитию отечественной гражданской электронной промышленности на период 2013–2025 годов, поставленной на высшем уровне, такие деловые события становятся центром притяжения всего передового в отрасли.

Выставки организует группа компаний ITE, один из лидеров на российском рынке выставочных услуг.

[www.expoelectronica.ru](http://www.expoelectronica.ru)