

Пористые композиционные материалы и повышение защищенности систем обработки информации

Ceramic-Matrix Composite Materials and Improving the Security of Information Processing System

УДК 004.056.5

Получено: 16.08.2021

Одобрено: 06.09.2021

Опубликовано: 25.09.2021

Гаршин А.П.

Д-р техн. наук, профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург
e-mail: apgarshin@gmail.com.

Garshin A.P.

Doctor of Technical Sciences, Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg
e-mail: apgarshin@gmail.com.

Супрун А.Ф.

Канд. техн. наук, доцент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург
e-mail: afs54@inbox.ru.

Suprun A.F.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg
e-mail: afs54@inbox.ru.

Сысуюев С.Ю.

Канд. военных наук, доцент, Михайловская Военная артиллерийская академия, г. Санкт-Петербург
e-mail: sysuev1971@mail.ru.

Sysuev S.Yu.

Candidate of Military Sciences, Associate Professor, Mikhailovskaya Military Artillery Academy, St. Petersburg
e-mail: sysuev1971@mail.ru.

Аннотация

Проведено обоснование эффективности применения керамоматричных композиционных материалов (КМК) для защиты структур обработки информации от несанкционированного съема по каналу побочного электромагнитного излучения. Рассмотрены основные электромагнитные свойства керамических композиционных материалов. Показано, что применение дисперсно-наполненных и пористых КМК для экранирования и поглощения электромагнитного излучения (ЭМИ) имеет большие перспективы.

Ключевые слова: керамические материалы, информация, экраны, поглощение.

Abstract

The substantiation of the effectiveness of the use of ceramic-matrix composite materials (CMC) to protect the structures of information processing from unauthorized removal through the channel of side electromagnetic radiation. The basic electromagnetic properties of ceramic composite materials are considered. It is shown that the use of dispersion-filled and porous CMCS for shielding and absorption of electromagnetic radiation (EMR) has great prospects.

Keywords: ceramic materials, information, screens, absorption.

Введение. Информация, обрабатываемая техническими средствами (ТС), продолжает представлять значительную ценность для структур, занимающихся несанкционированным съемом информации [1–7]. Как известно, при обработке информации в ТС возникает значительное побочное электромагнитное излучение и наводки (ПЭМИН).

Канал ПЭМИН является единственным способом для злоумышленника получить конфиденциальные данные, не проникая в помещение, или не контактируя с людьми и при этом быть незамеченным [8–11]. Такой канал может эксплуатироваться длительное время. Единственным недостатком такого способа является то, что злоумышленнику нужно ждать, когда пользователь обратится к нужной ему информации, и только тогда из полученных ПЭМИН можно выделить и расшифровать принятые сигналы. Часто бывает, что вся обрабатываемая информация представляет интерес [12–18]. Схема возможного расположения технических средств разведки и защитных зон представлена на рис. 1.

Ожидание момента работы ТС с нужными данными может продолжаться долго. Для сокращения этого времени создаются вредоносные программы, способные вмешиваться в работу процессорного блока и заставлять его обрабатывать необходимые данные без существенного изменения характеристик системного блока [19–23]. Более того, если вредоносная программа способна осуществлять нужную модуляцию последовательности сигналов обмена с монитором (другими периферийными устройствами), то можно увеличить дальность распространения ПЭМИН в разы из-за изменения спектра сигналов. Данная технология получила название Soft TEMPEST [24].

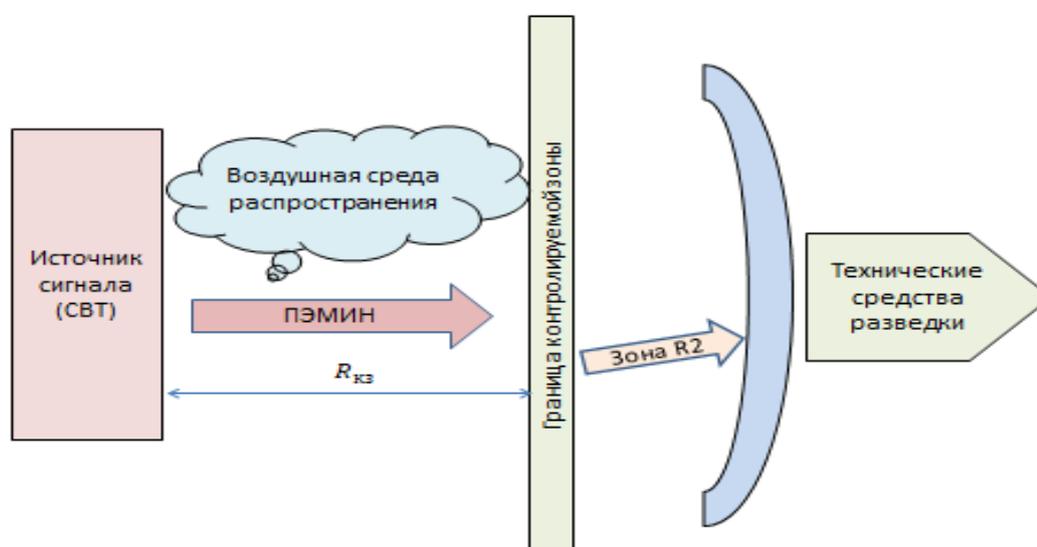


Рис. 1. Схема расположения ТСР для снятия ПЭМИН за пределами охраняемой зоны

Технология реализации метода состоит в том, что в «компьютер-жертву» любым из доступных методов злоумышленником интегрируется специальная программа. Задачей программы является поиск необходимой информации (необязательно на жестком диске) и в результате обращения к различным аппаратным средствам компьютера формируются побочные излучения,

которые будут промодулированы информативными битами. Перехватывая эти излучения и выделяя информативную составляющую, злоумышленник получает желаемый результат.

Особенностью технологии Soft Tempest является использование для передачи данных канала ПЭМИН, что значительно затрудняет обнаружение самого факта несанкционированной передачи по сравнению с традиционной компьютерной стеганографией. Действительно, если для предотвращения несанкционированной передачи данных по локальной сети или сети Интернет существуют аппаратные и программные средства (FireWall, Proxy server и т.п.), то для обнаружения средств скрытого съема данных по ПЭМИН таких средств нет.

Особенности применения методов закрытия каналов ПЭМИН

Для закрытия каналов ПЭМИН используют следующие методы: 1. Установка зашумляющих активных генераторов широкополосных помех. 2. Экранирование помещений (в том числе полная экранизация). 3. Устройство радиопоглощающих элементов на всех конструкциях помещения [25].

У первого способа есть несомненные преимущества, но есть и недостатки. Самый существенный недостаток – это то, что персонал подвергается дополнительному воздействию СВЧ за счет излучений устройств зашумления. Другой недостаток заключается в том, что наличие маскирующего излучения демаскирует сам процесс обработки конфиденциальных данных, вызывая повышенный интерес злоумышленников. При определенных условиях метод может давать сбои и не обеспечивать гарантированную защиту компьютерной информации.

Второй способ заключается в создании экранирующих устройств в помещениях. В этом случае, энергия СВЧ много раз переотражается от стен, потолка, пола и постепенно теряет мощность в результате наложения сигналов с разной фазой и амплитудой. Недостаток метода состоит в том, что персонал фактически работает внутри «микроволновой печи» и второй существенный недостаток – это сложность и дороговизна.

Устройство поглощающих покрытий на конструкциях помещения является сложным, очень дорогим и для многих помещений не подходит.

Наиболее перспективным и эффективным способом, обеспечивающим значительное снижение мощности ПЭМИН, является метод устройства поглощающих экранов. Использование поглощающих экранов дает возможность значительно снизить мощность ПЭМИН и защитить человека от вредного воздействия электромагнитного излучения (ЭМИ).

Использование КМК в качестве экранирующих конструкций.

Для построения экранирующих конструкций предлагается использовать материалы, сочетающие в себе разнообразные технические характеристики и способные эффективно выполнять в конструкциях сразу несколько полезных функций, в том числе и эстетических. Композиционные материалы (КМ) могут соответствовать заданным требованиям в процессе производства. КМ на основе керамических матриц (керамоматричные композиты – КМК), армированные различными типами дисперсных и волокнистых наполнителей. В качестве матриц для КМК используются керамические материалы на основе оксидов, карбидов, нитридов, боридов и других керамик. Эти композиты характеризуются уникальным комплексом физико-механических, электромагнитных, теплофизических, триботехнических свойств и способны функционировать в сложных условиях. Разработка КМК с регулируемыми электрофизическими свойствами, использующих токопроводящие и магнитные наполнители, значительно расширяет области применения керамических композитов и позволяет рассматривать их как перспективные материалы нового поколения для многофункциональных систем защиты от электромагнитного излучения (ЭМИ) и снижения мощности ПЭМИН. На основе КМК можно создавать радиоэкранирующие и радиопоглощающие покрытия и конструкции, обеспечивающие выполнение функций несущей конструкции, тепловой и эрозионной защиты.

Радиоэкранирующие и радиопоглощающие свойства КМК в определенном диапазоне частот определяются электрофизическими и магнитными свойствами их компонентов, типом и концентрацией диэлектрических и электропроводящих компонентов (матрица и наполнители),

микро- и макроструктурой композита, геометрическими параметрами покрытий и конструкций, однородностью распределения наполнителей в объеме матрицы, технологией изготовления КМК и др.

Современные КМК, создаваемые для защиты от ЭМИ, можно разделить на несколько групп.

1. Дисперсно-наполненные КМК с наполнителями на основе нано- и микроразмерных частиц.
2. КМК и керамические материалы с пористой структурой.
3. КМК, армированные волокнистыми наполнителями.
4. КМК с гибридным армированием на основе волокон и дисперсных функциональных наполнителей.
5. КМК слоистой и градиентной структуры.

Экранирующие дисперсно-наполненные композиционные материалы на основе керамических матриц.

Важнейшими характеристиками керамики, с точки зрения создания на их основе экранирующих и поглощающих ЭМИ материалов, являются показатели их диэлектрических и магнитных свойств (электропроводность, диэлектрическая и магнитная проницаемость и др.). Очень большое количество монокристаллических керамик на базе оксидов, нитридов, боридов, стеклокерамик, ситаллов являются радиопрозрачными материалами, имея очень малые диэлектрические потери, не отражают радиоволны. К ним, в первую очередь, относятся керамика SiO_2 , Si_3N_4 , MgO , системы AlN-BN , $\text{AlN-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, Si_3N_4 с различными оксидными спекающими добавками, ситаллы систем $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, $\text{Na}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ и др. [26]. Ряд керамик являются средами, абсорбирующими ЭМИ, среди которых выделяется SiC керамика, которая является диэлектрическим поглотителем излучения благодаря своей собственной электрической дипольной поляризации. При этом снижение мощности отраженного сигнала ЭМИ лежит в пределах $-(5...12)$ дБ для диапазона частот излучения 8–12,4 ГГц [27].

Для повышения характеристик экранирования и поглощения ЭМИ керамики модифицируют различными типами электропроводящих или магнитных наполнителей на основе нано- и микроразмерных частиц. К электропроводящим модификаторам относят технический углерод, графит, сажу, углеродные наноструктуры (однослойные и многослойные углеродные нанотрубки (ОУНТ и МУНТ), фуллерены, графены, углеродные нановолокна, луковичные структуры) и др., а к магнитным – добавки в виде частиц металлов и металлических сплавов (например, Fe, Co, Ni, сплавы систем Fe–Ni и др.) или их металлических оксидов и др.

Дисперсно-наполненные КМК с наполнителями на основе микроразмерных частиц.

В работе [28] керамические образцы на основе порошков каолина и Al_2O_3 с добавкой в них 40–70% по весу порошков графита (фракция < 63 мкм) были получены методом спекания при температуре 900°C . Проведенные исследования показали, что данные композиции могут быть использованы в качестве электромагнитных экранов. Эффективность экранирования для диапазона частот 1-10 МГц составила 60-70 дБ, для 20-300 МГц – 25-60 дБ, для 1-10 ГГц – 30-40 дБ.

С точки зрения практической возможности получения КМК, модифицированных различными дисперсными и волокнистыми наполнителями, особый интерес представляют методы, основанные на технологии PIP (Polymer Infiltration and Pyrolysis), когда керамическая матрица получается в результате высокотемпературного пиролиза органометаллических полимеров. Получение КМК на основе PIP процессов рассматривается как перспективный путь повышения эффективности электромагнитных экранов. К настоящему времени разработаны предкерамические полимеры, позволяющие получать различные виды кремнийсодержащей керамики [29, 30]: поликарбосилан (матрица SiC), полиметилвинилсилазан (SiCN), полисилоксан (SiOC), полиборосилозан (SiBCN) и др. При этом получаемая керамическая матрица может самостоятельно выступать в качестве абсорбирующего ЭМИ компонента. Кроме того, технология PIP предполагает получение конечного керамического материала в зависимости от количества циклов

«пропитка-отверждение-пиролиз» с пористостью от 10 до 40%, наличие которой также способствует внутреннему рассеиванию ЭМИ.

Керамика AlN-SiBCN, полученная спеканием порошка AlN, смешанного с размолотой керамикой SiBCN (продукт отвержения и пиролиза полиборосилозана – PIP процесс), существенно снижает мощность сигналов отражения и достигает показателя -38,88 дБ при частоте излучения 8,5 ГГц (массовая доля SiBCN 40% и толщина образца 2 мм) [31]. При этом следует отметить, что коэффициент отражения ЭМИ данной КМК имеет узкие пиковые интервалы эффективности (шириной не более 1 ГГц) и существенное различие показателя снижения отражающей способности в диапазоне от -5 до -38 дБ, который очень чувствителен как к исходным характеристикам AlN-SiBCN керамики (концентрации SiBCN, толщине экрана), так и частоте излучения.

Другими компонентами поглощающих ЭМИ керамических экранов могут выступать различного рода магнитные частицы (порошки) на базе металлов Fe, Ni, Co и их оксидов. Эти частицы могут вводиться в керамическую основу через смешивание, путем пропитки керамического каркаса суспензиями на их основе или нанесения магнитных материалов на поверхность керамических или модифицирующих частиц и др. В работе [27] на поверхность порошков SiC наносилось покрытие NiO и далее образцы прессовались. Снижение отражающей составляющей такой керамики достигало -40 дБ, причем для 85% диапазона частот 8-12,4 ГГц уровень снижения этой составляющей был менее -20 дБ.

В работе [32] УНТ (от 0 до 4,5 мас.%) диспергировались и вводились в кремний содержащий полимер полиметилвинилсилазан с последующим отверждением и пиролизом последнего с образованием пористой SiCN матрицы. Проведенные исследования показали, что с увеличением содержания УНТ в исследованном процентном диапазоне снижается отражательная составляющая экранирования ЭМИ в диапазоне частот 8-12,4 ГГц. При этом, максимальные показатели снижения составили -26,1 дБ при толщине образца 2 мм (4,5 мас.% УНТ). Однако наиболее широкий диапазон частот экранирования со снижением менее -10 дБ (8,7-12,4 ГГц) отмечался для образцов толщиной 2,2 мм (рис. 2).

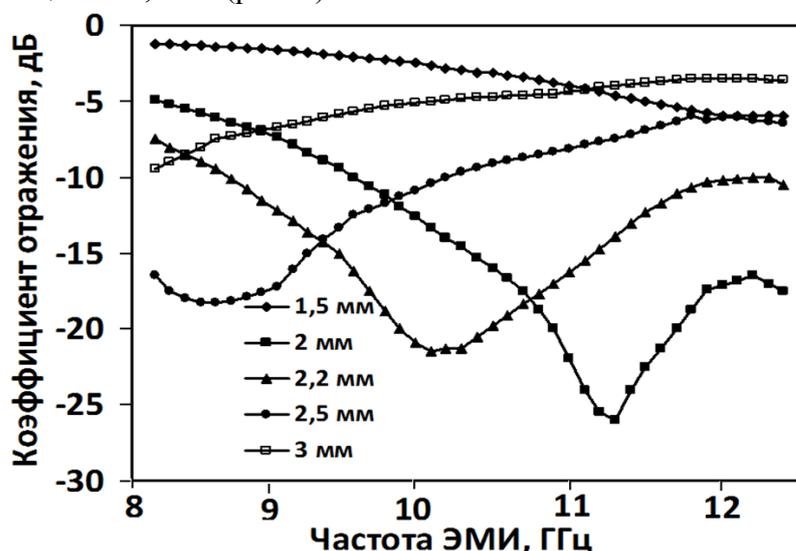


Рис. 2. Зависимости изменения показателя снижения отражательной составляющей эффективности экранирования ЭМИ для композита УНТ (4,5 мас.%) - SiCN от толщины образца

Пористые структуры на основе керамических материалов.

Перспективными керамическими структурами для экранирования ЭМИ являются пористые (ячеистые, вспененные) композиты, которые разрабатываются для создания легковесных материалов и конструкций, обладающих как свойствами поглощения электромагнитного излучения, так и приемлемыми механическими или химическими свойствами и способностью

функционировать при высоких температурах. Возможные механизмы потерь в таких пористых материалах – поглощение, рассеяние ЭМИ, а также образование вихревых токов. При этом следует отметить, что при использовании токонепроводящей керамики потерь за счет вихревых токов не существует.

В работе [33] пористая SiC керамика с изменяемыми толщинами образцов была получена путем силицирования парами кремния углеродного пористого каркаса. При этом для полученной керамики был достигнут показатель ослабления отраженной составляющей ЭМИ – 60 дБ. Этот высокий коэффициент отражения, по-видимому, объясняется комплексным воздействием как рассеивания ЭМИ в пористой структуре SiC и его электрической дипольной поляризацией, так и поглощением излучения остаточным углеродом, не прореагировавшим с парами кремния.

Образование поглощающих ЭМИ химических компонентов и соединений возможно на этапе проведения высокотемпературной операции пиролиза различных предкерамических полимеров. Так, например, пористая керамика SiCN, полученная через пиролиз полисилозана, состояла из четырех основных компонентов SiC, Si₃N₄, SiO₂ и свободного углерода, и имела очень высокие показатели по коэффициенту отражения – -53 дБ [34].

Пористая керамика, как правило, выступает в качестве материала покрытия. Поэтому в работе [35] исследовалась эффективность применения вспененной SiC-керамики различной пористости в качестве лицевого слоя на металлическом электромагнитном экране. Для повышения электропроводности SiC-керамика была допирована бором. Образцы изготавливались из серийной пористой керамики марки CERASIC-B (Toshiba Ceramics Co). На рис. 3 приведены различные варианты вспененной SiC структуры, отличающихся размером и плотностью поровых ячеек в керамике.

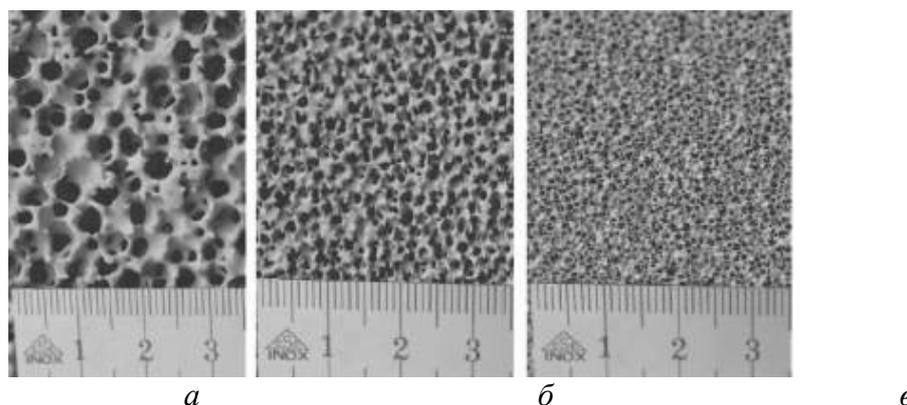


Рис. 3. Различные варианты вспененной SiC структуры для экранирования ЭМИ

Отмечается, что для всех исследованных пористых структур до частот излучения 40 ГГц доминирующим является только механизм поглощения. Однако при частотах 40-110 ГГц для крупноячеистой SiC образцов идет постепенное нарастание рассеивающего эффекта, который, тем не менее при частоте 110 ГГц не превышает величины 25% от поглощающей составляющей. С ростом частоты излучения общая эффективность экранирования такого рода электромагнитных экранов растет. При этом определено, что наиболее эффективными являются металлические экраны, покрытые крупноячеистой SiC керамикой (рис. 3, а), которые имеют общую эффективность экранирования в пределах 60-70 дБ при толщине керамического слоя 28 мм.

Эффект межфазной поляризации и переотражения волн способствует снижению отражающей и росту поглощающей составляющих ЭМИ. Для этого создают керамические системы с большим количеством межфазных границ. В работе [36] были получены электромагнитные экраны на основе пористых матов из оксида иттрия, связанных SiC матрицей, осажденной в поровом каркасе матов газофазным методом CVD. В результате при осаждении в пористый каркас 86,9% масс. SiC (пористость 84,8%) общая эффективность экранирования такого материала выросла с 0,069 до 16,2 дБ, а при 97,9% масс. SiC (пористость 32,3%) до 20,3 дБ в диапазоне от 8,2

ГГц до 12,4 ГГц. Повышение эффективности экранирования обуславливается наличием межфазных границ в пенокерамике и, как следствие, межфазной поляризацией и переотражением электромагнитных волн.

В работе [37] в качестве высокотемпературного электромагнитного экрана предложена композиция, состоящая из пористой спеченной Si_3N_4 -керамики, поровое пространство которой покрывают слоем SiC методом газофазного осаждения CVI. В результате образцы из такой керамики толщиной 2,5 мм и 3 об.% осажденного SiC имели снижение отражающей составляющей ЭМИ до -27,1 дБ при частоте излучения 9,8 ГГц и в широком интервале частот (2,2 ГГц) ослабление отражательной составляющей ЭМИ менее -10 дБ (рис. 4).

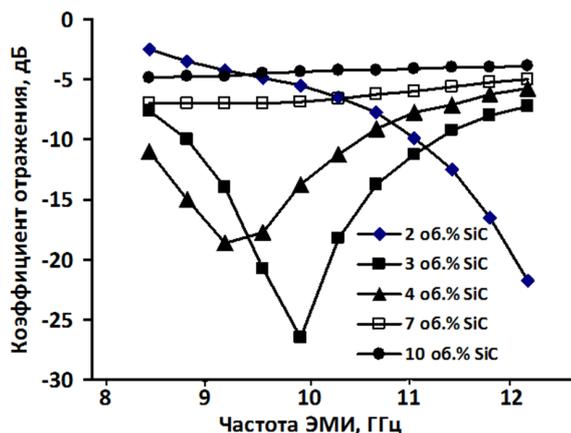


Рис. 4. Зависимости изменения отражающей составляющей ЭМИ Si_3N_4 -SiC керамики от объемной доли осажденного SiC

В другой работе [38] на керамике Si_3N_4 -SiC, полученной тем же способом, создавали защитную антиокислительную SiO_2 пленку на осажденной поверхности SiC слоя. В результате образцы из такой керамики толщиной 3,8 мм имели снижение отражающей составляющей ЭМИ менее -30 дБ за счет 99,9% поглощения электромагнитного излучения в диапазоне частот 8,3-12,4 ГГц. В таком материале часть энергии преобразовывается в ток утечки в полупроводниковых структурах SiC, часть ее ослабляется поляризационным поведением (рис. 5, а). Кроме того, за счет пористой структуры Si_3N_4 -SiC/ SiO_2 и большого количества межфазных контактов, остаточное ЭМИ может быть многократно переотражено и поглощено в межфазных зонах (рис. 5, б) [38]. В работе [39] показано, что с повышением температуры хорошие экранирующие свойства для данной керамики растут от -38,6 дБ при 25⁰С до -51,9 дБ при 500⁰С (при 600⁰С – -35,9 дБ), при этом возможно уменьшение толщины экрана. В работе это объясняется тем, что с увеличением температуры до 600⁰С повышается комплексная диэлектрическая проницаемость всего композита.

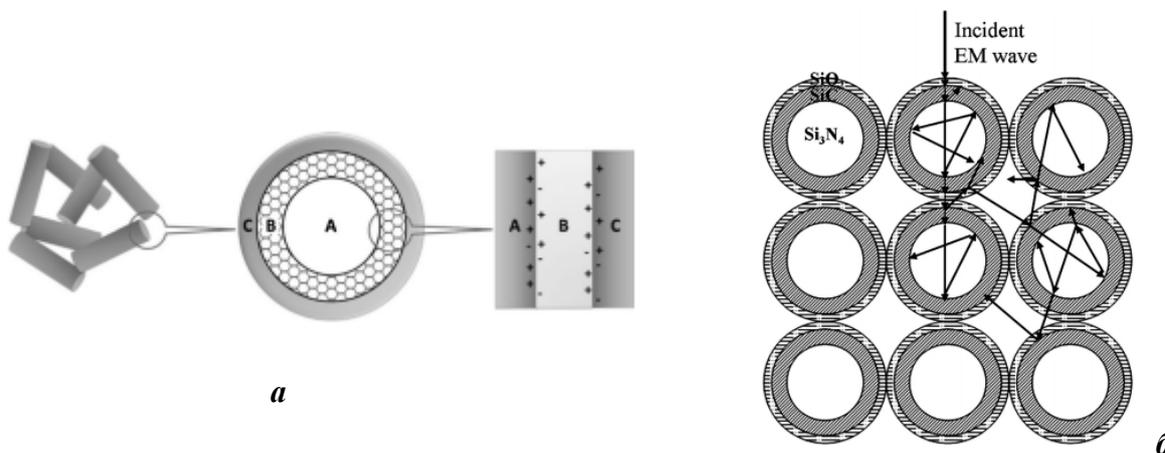


Рис. 5. Модель поведения Si_3N_4 -SiC/ SiO_2 -керамики: а – схема образования межфазной поляризации; б – схема переотражения ЭМИ

Введение в матричный керамический состав или осаждение на поверхности пор токопроводящих или магнитных добавок существенно усиливают эффективность экранирования ЭМИ. В работе [40] восстановленный оксид графена (ВОГ) диспергировался и вводился в кремнийсодержащий полимер полиметилвинилсилазан по технологии аналогичной работе [32] с образованием пористого ВОГ/SiCN-композита. Содержание ВОГ варьировалось от 0 до 12 мас.%. Отмечалось, что с увеличением содержания ВОГ в диапазоне частот 8-12,4 ГГц SE_T и SE_A растут, а SE_R практически не меняется, достигая значений 42,2 дБ, 35,2 дБ и 9 дБ соответственно.

В работе [41] слоистая композиция пироуглерод/Si₃N₄ последовательно осаждалась методом CVI на поверхности пор керамики Si₃N₄. Общая эффективность экранирования полученной керамики толщиной 2,8 мм с 11,7 об.% пироуглерода составила 43,3 дБ в диапазоне частот 8,2-12,4 ГГц. Эффект экранирования был обусловлен переотражением ЭМИ в порах полученной керамики, наличием в ее составе абсорбирующего излучения углерода и большого количества межфазных контактов.

Заключение.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что применение современных дисперсно-наполненных и пористых КМК для экранирования ПЭМИН имеет большие перспективы, особенно при использовании в структурах с большим количеством автоматизированных рабочих мест.

Эффективность экранирования зависит от типа керамической матрицы, формы самой конструкции, типа и вида дисперсных наполнителей, их размеров и концентрации, общей пористости и размера пор, микро- и макроструктуры композита, технологии изготовления КМК и др.

Варьирование данными параметрами дает возможность создавать КМК с заданными электромагнитными характеристиками и требуемыми показателями экранирования и поглощения ЭМИ. Именно это свойство определяет основное преимущество керамических дисперсно-наполненных и пористых композиционных материалов, используемых в целях снижения ПЭМИН.

Литература

1. *Анисимов Е.Г.* Межведомственное информационное взаимодействие в сфере обороны российской федерации. – Москва: Военная академия Генерального штаба Вооруженных Сил Российской Федерации, Военный институт (управления национальной обороной). – 2017. – 198 с.
2. *Ямпольский С.М.* Научно-методические основы информационно-аналитического обеспечения деятельности органов государственного и военного управления в ходе межведомственного информационного взаимодействия. – Москва: Военная академия Генерального штаба Вооруженных Сил Российской Федерации, Военный институт (управления национальной обороной). 2019. – 146 с.
3. *Анисимов Е.Г., Анисимов В.Г., Солохов И.В.* Проблемы научно-методического обеспечения межведомственного информационного взаимодействия // Военная мысль. – 2017. – № 12. – С. 45-51.
4. *Сауренко Т.Н.* Прогнозирование инцидентов информационной безопасности // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 2019. – № 3. – С. 24-28.
5. *Зегжда П.Д.* Подход к оцениванию эффективности защиты информации в управляющих системах // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 2020. – № 1 (41). – С. 9-16.
6. *Анисимов В.Г.* Моделирование возможных последствий внешних информационных воздействий на распределенную сеть связи // Телекоммуникации. – 2020. – № 12. – С. 32–38.
7. *Анисимов В.Г.* Проблема инновационного развития систем обеспечения информационной безопасности в сфере транспорта // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 2017. – № 4. – С. 27-32.

8. *Anisimov V.G., Anisimov E.G., Saurenko T.N., Zotova E.A.* Models of forecasting destructive influence risks for information processes in management systems // Информационно-управляющие системы. – 2019. – № 5 (102). – С. 18-23.
9. *Anisimov V.G., Zegzhda P.D., Anisimov E.G., Bazhin D.A.* A risk-oriented approach to the control arrangement of security protection subsystems of information systems // Automatic Control and Computer Sciences. – 2016. – Т. 50. – № 8. – С. 717-721.
10. *Зегжда П.Д.* Методический подход к построению моделей прогнозирования показателей свойств систем информационной безопасности // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 2019. – № 4. – С. 45-49.
11. *Anisimov V.G., Anisimov E.G., Saurenko T.N.* Efficiency of ensuring the survivability of logistics information and control systems // E3S Web of Conferences: Сер. "International Scientific and Practical Conference "Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering", ERSME 2020" 2020. С. 07025. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021707025>.
12. *Зегжда П.Д.* Модели и метод поддержки принятия решений по обеспечению информационной безопасности информационно-управляющих систем // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 2018. – № 1. – С. 43-47.
13. *Анисимов В.Г.* Показатели эффективности защиты информации в системе информационного взаимодействия при управлении сложными распределенными организационными объектами // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 2016. – № 4. – С. 140-145.
14. *Зегжда П.Д.* Модель формирования программы развития системы обеспечения информационной безопасности организации // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 2021. – № 2 (46). – С. 109-117.
15. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Бажин Д.А., Барабанов В.В., Филиппов А.А.* Модели организации и проведения испытаний элементов системы информационного обеспечения применения высокоточных средств // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. – 2015. – № 648. – С. 6-12.
16. *Анисимов Е.Г.* Показатели эффективности межведомственного информационного взаимодействия при управлении обороной государства // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2016. – № 7-8 (97-98). – С. 12-16.
17. *Анисимов В.Г.* Обобщенный показатель эффективности взаимодействия федеральных органов исполнительной власти при решении задач обеспечения национальной безопасности государства // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2017. – № 5-6 (107-108). – С. 101-106.
18. *Анисимов Е.Г., Селиванов А.А., Анисимов В.Г.* Расчет эффективности межведомственного информационного взаимодействия в области обороны государства // Система межведомственного информационного взаимодействия при решении задач в области обороны Российской Федерации: Сборник материалов II Межведомственной научно-практической конференции.- Национальный центр управления обороной Российской Федерации. – 2016. – С. 21-26.
19. *Зегжда П.Д.* Эффективность функционирования компьютерной сети в условиях вредоносных информационных воздействий // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 2021. – № 1 (45). – С. 96-101.
20. *Зегжда П.Д.* Модель оптимального комплексирования мероприятий обеспечения информационной безопасности // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 2020. – № 2. – С. 9-15.
21. *Анисимов В.Г., Селиванов А.А., Анисимов Е.Г.* Методика оценки эффективности защиты информации в системе межведомственного информационного взаимодействия при управлении обороной государства // Информация и космос. – 2016. – № 4. – С. 76-80.
22. *Анисимов А.В., Анисимов А.Е., Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Барабанов В.В.* Проблема сравнения и выбора варианта построения системы безопасности // Актуальные проблемы защиты и безопасности: Труды Четвертой Всероссийской научно-практической конференции. – 2001. – С. 348-351.

23. Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Белов А.С., Скубьев А.В. Эффективность обеспечения живучести подсистемы управления сложной организационно-технической системы // Телекоммуникации. – 2020. – № 11. – С. 41-47.
24. Киреева Н.В., Семенов А.В. Утечка информации по каналам ПЭМИ и способы их защиты // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 8-4. – С. 499-504. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=10110> (дата обращения: 10.06.2019)
25. Хорев А.А. Техническая защита информации, учебное пособие для студентов ВУЗов. – Москва: «НПЦ Аналитика», 2008.
26. Ивахненко Ю.А. Высокотемпературные радиопрозрачные керамические композиционные материалы для обтекателей антенн и других изделий авиационной техники (обзор) / Ю.А. Ивахненко, Н.М. Варрик, В.Г. Максимов // Электронный научный журнал «Труды ВИАМ». – 2016. – №5. – С. 36-43.
27. Yang H.J. NiO Hierarchical Nanorings on SiC: Enhancing Relaxation to Tune Microwave Absorption at Elevated Temperature / H.J. Yang, W.Q. Cao, D.Q. Zhang et al. // ACS Appl. Mater. Interfaces, 2015. – Vol.7. – P.7073–7077.
28. Bara A. Electromagnetic shielding properties of carbon based composites / A. Bara, A.M. Bondar, I. Iordache et al. // Revue Roumaine des Sciences Techniques - Serie Électrotechnique et Énergétique, 2008. – Vol.53. – P. 13-20.
29. Гаршин А.П. Современные технологии получения волокнисто-армированных композиционных материалов с керамической огнеупорной матрицей (Обзор) / А.П. Гаршин, В.И. Кулик В. И., С.А. Матвеев, А.С. Нилов // Новые огнеупоры. – 2017. – №4. – С. 20-35.
30. Garshin A.P. The state-of-art technologies for the fiber-reinforced composition materials with the ceramic refractory matrix (Review) / A.P. Garshin, V.I. Kulik, S.A. Matveev, A.S. Nilov // Refractories and Industrial Ceramics, 2017. — Vol.58. - №2. — P. 148-161.
31. He Y. Dielectric and microwave absorption properties of AlN-SiBCN lossy ceramics / Y. He, X. Li, J. Zhang et al. // Journal of Applied Ceramic Technology, 2018. – Vol.15. – P. 522–530.
32. Liu X. Role of single-source-precursor structure on microstructure and electromagnetic properties of CNTs-SiCN nanocomposites / X. Liu, Zh. Yu, L. Chen et al. // Journal of American Ceramic Society, 2017. – Vol.100. – P. 4649–4660.
33. Liu C. Porous Silicon Carbide derived from apple fruit with high electromagnetic absorption performance / C. Liu, D. Yu, D.W. Kirk, Y Xu // Journal of Materials Chemistry C, 2016. – Vol.4. – P. 5349–5356.
34. Li Q. Dielectric and microwave absorption properties of polymer derived SiCN ceramics annealed in N₂ atmosphere / Q. Li, X. Yin, W. Duan et al. // Journal of the European Ceramic Society, 2014. – Vol.34. – P. 589–598.
35. Zivkovic I. Characterization of open cell SiC form material / I. Zivkovic, A. Murk // Progress In Electromagnetics Research B, 2012. - Vol.38. - P. 225-239.
36. Yin X. Dielectric, electromagnetic absorption and interference shielding properties of porous yttria-stabilized zirconia/silicon carbide composites / X. Yin, Y. Xue, L. Zhang, L. Cheng // Ceramics International, 2012. - Vol.38. - Iss.3. – P. 2421-2427.
37. Zheng G. Complex Permittivity and Microwave Absorbing Property of Si₃N₄-SiC Composite Ceramic / G. Zheng, X. Yin, J. Wang et al. // Journal of Materials Science and Technology, 2012. - Vol.28. – Iss.8. – P. 745–750.
38. Zheng G. Improved electromagnetic absorbing properties of Si₃N₄-SiC/SiO₂ composite ceramics with multi-shell microstructure / G. Zheng, X. Yin, S. Liu et al. // Journal of the European Ceramic Society, 2013. – Vol.33. – Iss.11. – p. 2173–2180.
39. Li M. High-temperature dielectric and microwave absorption properties of Si₃N₄-SiC/SiO₂ composite ceramics / M. Li, X. Yin, G. Zheng et al. // Journal of material science, 2015. – Vol.50. – P.1478–1487.

40. *Liu X.* Single-source-precursor synthesis and electromagnetic properties of novel RGO–SiCN ceramic nanocomposites / *X. Liu, Zh. Yu, R. Ishikawa et al.* // *Journal of Materials Chemistry C*, 2017. - Vol5. – P. 7950-7960.

41. *Li X.* Synthesis and Electromagnetic Shielding Property of Pyrolytic Carbon-Silicon Nitride Ceramics with Dense Silicon Nitride Coating / *X. Li, L. Zhang, X. Yin* // *Journal of American Ceramic Society*, 2012. – Vol.95. - Iss.3. – P. 1038-1041.