

УДК 621.3.049.77

Г. А. ПИСКУН, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры проектирования информационно-компьютерных систем УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
В. Ф. АЛЕКСЕЕВ, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры проектирования информационно-компьютерных систем УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
А. Л. ЖИТНИКОВ, главный технолог ООО «Нанотех», магистрант кафедры проектирования информационно-компьютерных систем УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ: ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Представлен обзор современного состояния и анализ перспектив развития способов защиты радиоэлектронных устройств от дестабилизирующего воздействия электростатических разрядов. Основное внимание уделено технологиям, учитывающим физико-химические свойства определенных сочетаний материалов, используемых для покрытия наиболее чувствительных несущих конструкций к воздействию разрядов. Приведены примеры существующих разработок и их краткие технические характеристики.

Ключевые слова: электростатический разряд, VSD-материал, VVM-материал, MLV-конструкция.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема проектирования перспективного высоконадежного радиоэлектронного оборудования относится к приоритетным направлениям

научных исследований в Республике Беларусь [1]. В связи с этим в стране постоянно проводится целенаправленная работа по сохранению и развитию научно-технического и инновационного потенциалов, а также принимаются меры по повышению уровня инновационности про-

изводства и предприятий, ориентированных на новые прогрессивные технологии.

Постепенное увеличение сложности производимого оборудования, обусловленное возрастающими требованиями потребителей, стимулирует разработчиков к созданию устройств на базе все более надежных печатных плат и микроэлектронных компонентов, способных работать в жестких эксплуатационных условиях. Всесторонний обзор различных типов дестабилизирующих факторов [2 – 5], приводящих к отказу радиоэлектронных устройств (РЭУ) и компонентов, показывает, что одним из самых разрушительных является электростатический разряд (ЭСР).

На современном этапе приборостроения достигнуты определенные успехи в решении частных задач по обеспечению повышения устойчивости РЭУ и компонентов посредством внедрения в разработки перспективных технологий, однако проблема защиты РЭУ от ЭСР остается нерешенной в полной мере до настоящего времени.

Целью статьи является представление широкому кругу специалистов проблематики защиты РЭУ от воздействия ЭСР.

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭСР

Разработка мер по защите электронной аппаратуры на этапе ее проектирования представляет собой сложную комплексную задачу. Она может быть в определенной мере упрощена, если вычленив в ней ряд направлений, где решения могут быть получены достаточно простым путем, включая технические и организационные мероприятия [6]. Тем не менее к проблеме ЭСР следует относиться с большим вниманием, так как исключить ее проявление в той или иной форме очень трудно.

В настоящее время широкое распространение получили следующие принципы обеспечения стойкости РЭУ к воздействию ЭСР (таблица 1) [6 – 9].

Таблица 1 – Базисные принципы обеспечения стойкости РЭУ к ЭСР

Этап создания и эксплуатации РЭУ	Принципиальные решения защиты от ЭСР
Схемотехнический	<ul style="list-style-type: none"> – применение компонентов с максимально возможной статической и динамической помехоустойчивостью; – применение цифровых микросхем с минимально возможным быстродействием; – использование схемотехнической защиты от перенапряжений входных цепей
Конструкторский	<ul style="list-style-type: none"> – создание рационального заземления; – экранирование узлов и блоков; – ограничение доступа во внутренние объемы аппаратуры; – выбор материалов и покрытий
Технологический	<ul style="list-style-type: none"> – устранение разности потенциалов на обрабатываемых поверхностях; – использование специальной тары и транспорта для межоперационной транспортировки; – применение средств снятия статического электричества с тела работника; – нейтрализация зарядов
Транспортировка	<ul style="list-style-type: none"> – применение антистатической тары
Установка	<ul style="list-style-type: none"> – применение средств снятия статического электричества с тела работника; – нейтрализация зарядов; – заземление оборудования на объекте
Эксплуатация	<ul style="list-style-type: none"> – повышение поверхностной проводимости материалов за счет повышения влажности воздуха в помещении; – нейтрализация зарядов; – антистатическая отделка помещения; – индивидуальная антистатическая защита персонала

Однако для защиты от ЭСР применяется огромное количество методов, которые значительно усложняют, удорожают и, что не менее важно, вынужденно увеличивают потребляемые мощности устройств. В частности, в СВЧ-устройствах к защите от ЭСР выдвигаются такие дополнительные требования, как качество и точность полезного сигнала, что, в свою очередь, подчеркивает значимость применяемых устройств защиты, которые не должны его исказить наличием собственных и паразитных емкостей.

Также стоит отметить, что современная электроника стремится к миниатюризации технологических процессов и понижению рабочего напряжения компонентов и потребляемой мощности, достижение чего усложняется увеличением схемных защит и вспомогательных устройств для защиты от ЭСР.

Перспективными технологиями защиты могут рассматриваться такие, как:

- защита печатных плат при помощи VSD-материала (VSD, Voltage Switchable Dielectric);
- защита радиоэлектронных компонентов при помощи VVM-материала (VVM, Voltage Variable Material);
- внутренняя защита многослойных варисторов, MLV-конструкция (MLV, Multilayer Varistors).

Данные методы позволяют увеличить технологичность изделия, уменьшить стоимость комплектующих, увеличить плотность монтажа на печатной плате устройства, избавившись от части схемных методов защиты.

ЗАЩИТА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ РЭУ ПРИ ПОМОЩИ VSD-МАТЕРИАЛА

Известно, что компания Shocking Technologies, Inc. запатентовала VSD-материал для защиты печатных плат РЭУ от воздействия ЭСР [10]. При этом печатные платы с VSD-материалом соответствуют промышлен-

ным стандартам надежности, не теряют электрических, механических и технических характеристик в дополнение к высокой степени защиты от ЭСР.

VSD-материал представляет собой полимерный нанокомпозит, который функционирует как изолятор (диэлектрик) во время нормальной работы цепи. Он становится проводящим, когда напряжение увеличивается сверх заранее определенного порогового значения. Материал становится изолятором снова после того, как напряжение падает. Это уникальное свойство в сочетании с возможностью адаптировать пороговое значение напряжения открывает несколько новых направлений в электронике.

Иллюстративный (не в масштабе) вид в разрезе слоя или толщины VSD-материала, изображающего его составляющие в соответствии с различными вариантами осуществления, представлен на рисунке 1. Как видно, материал включает матричное связующее вещество (2) и различные типы составляющих частиц, диспергированные в связующем в различных концентрациях. Составляющие частицы материала могут включать в себя металлические частицы (5), полупроводниковые частицы (4) и частицы с высокой степенью сжатия (HAR) (3). Следует отметить, что тип компонента частицы, который включен в состав VSD-материала, может варьироваться в зависимости от желаемых электрических и физических характеристик.

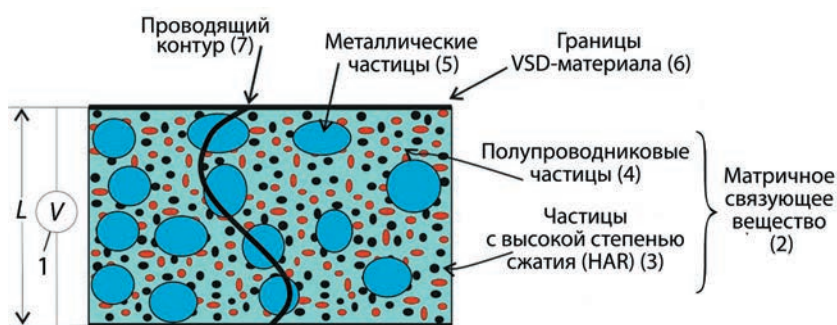
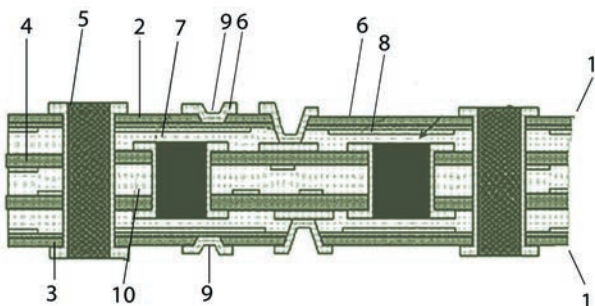


Рисунок 1 – Вид в разрезе материала VSD

Дисперсия различных классов частиц в матрице (2) может быть такой, что VSD-материал не является слоистым и однородным по своему составу, хотя и демонстрирует электрические характеристики переключаемого по напряжению диэлектрического материала. Соответственно, напряжение (1), подаваемое по границам (6) слоя материала, может переключать его в проводящее состояние, если напряжение превышает характеристическое напряжение для расстояния зазора (L). В проводящем состоянии композит матрицы (содержащий связующее матрицы (2) и составляющие частицы) проводит заряд (как изображено проводящим контуром (7)) между проводящими частицами (5) от одной границы материала к другой.

Данный материал нашел широкое применение при производстве печатных плат. В частности, когда материал встроен в подложку на печатной плате или упаковке, повреждающие ЭСР напряжения и токи могут быть направлены на землю или на другие заранее определенные места таким образом, что элементы схемы, компоненты, устройства и системы могут быть эффективно защищены от воздействий разрядами статического электричества. Полимерный нанокompозитный материал легко наносится на печатную плату и основание корпуса компонентов (рисунок 2).



1 – подложка; 2 – основной слой; 3, 4 – дополнительные слои (сердцевины); 5 – сквозные отверстия; 6 – VSD-материал; 7 – внутренние переходные отверстия; 8 – плоскость заземления; 9 – микропереходы; 10 – слои электрически изолирующего материала

Рисунок 2 – Структура печатной платы с VSD-материалом

На основной слой (2) наносится VSD-материал (6) с обеих сторон подложки (1). Материал VSD (6) сформирован так, чтобы быть смежным с плоскостью (8) заземления на обеих сторонах печатной платы. В подложке (1) предусмотрены дополнительные слои (3 и 4) сердцевины. Каждый внутренний слой (2, 3 и 4) содержит проводящие материалы на одной или обеих сторонах. Слои электрически изолирующего материала (10) могут быть распределены между сердцевинными слоями [10].

ЗАЩИТА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ ПОМОЩИ VVM-МАТЕРИАЛА

Timothy Pachla, Edwin James Harris и Tushar Vyas из Littlefuse, Inc. разработали материал с переменным напряжением (VVM), который включает в себя изоляционное связующее вещество, которое в одном варианте воплощения построено так, что оно само по себе является проводящей и непроводящей поверхностями [11]. Связующее является самоотверждающимся материалом и может быть нанесено на устройство или его часть в форме чернил, которое высыхает в окончательной форме для использования, как показано на рисунке 3.

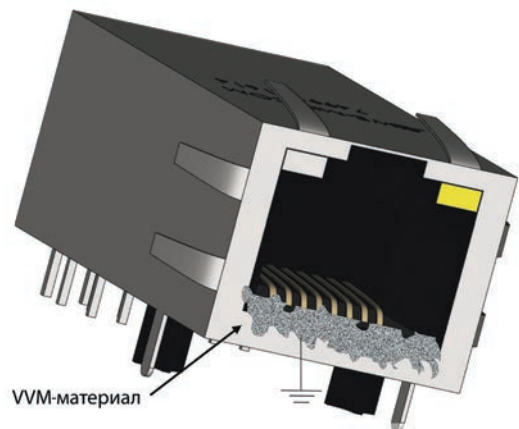


Рисунок 3 – Пример применения самоклеящегося VVM-материала

Связующее и, следовательно, VVM-материал могут быть непосредственно использованы для многих различных типов подложек, таких как жесткий FR-4 ламинат, полиимид, полимер, стекло и керамика. Также данный материал может применяться непосредственно к различным типам подложек, которые размещаются внутри части РЭУ (например, соединители и др.) [12].

Связующее вещество материала включает полимер, такой как сложный полиэфир, который растворяют в растворителе. После чего возможно использование загущающего агента, который добавляют к изоляционному связующему, что увеличивает его вязкость. Затем связующее вещество смешивают с рядом различных типов частиц для получения желаемого напряжения зажима и времени реакции. Различные типы частиц включают в себя: проводящие частицы (в том числе проводящие частицы ядра и оболочки), изолирующие частицы, полупроводниковые частицы, легированные полупроводящие частицы (включая легированные полупроводниковые частицы с сердцевинной и оболочкой) и любую их комбинацию.

внутренние электроды, концы которых расположены напротив друг друга с зазором (рисунок 4).

Компоненты MLV состоят из чередующихся слоев металлических электродов и керамики или оксида цинка. Керамика из оксида цинка в обычных условиях служит как изолятор. Однако когда напряжение повышается (как в случае ЭСР), выводы оксида цинка переходят от высоких к низким значениям сопротивления и этим шунтируют защищаемую линию на землю. Может быть использовано в цепях с большой скоростью передачи данных (примерно до 125 Мбит) [14].

Используемые в устройствах TVS-диоды имеют преимущество над продуктами защиты от электростатического разряда на основе полимера, так как MLV и полимеры всегда имеют симметричные свойства для положительного и отрицательного напряжения. В связи с этим данные технологии имеют ограничения по использованию, однако, как и в случае с TVS-диодами, полимерные технологии защиты имеют низкие собственные и паразитные емкости (порядка 0,5 пкФ), что позволяет защите от ЭСР функционировать без внесения помех в полезный сигнал [14].

ФОРМИРОВАНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ЗАЩИТЫ МНОГОСЛОЙНЫХ ВАРИСТОРОВ (MLV-КОНСТРУКЦИЯ)

Из работы [13] известно, что Guenther Greier, Heinrich Zoedl, Guenter Engel, Reinhard Sperlich разработали низкеемкостной многослойный варистор, имеющий керамическое тело и два вывода, которые нанесены на керамическое тело, расположенные на некотором расстоянии друг от друга. Керамический корпус выполнен в виде пленочной технологии с многослойной структурой и предпочтительно содержит

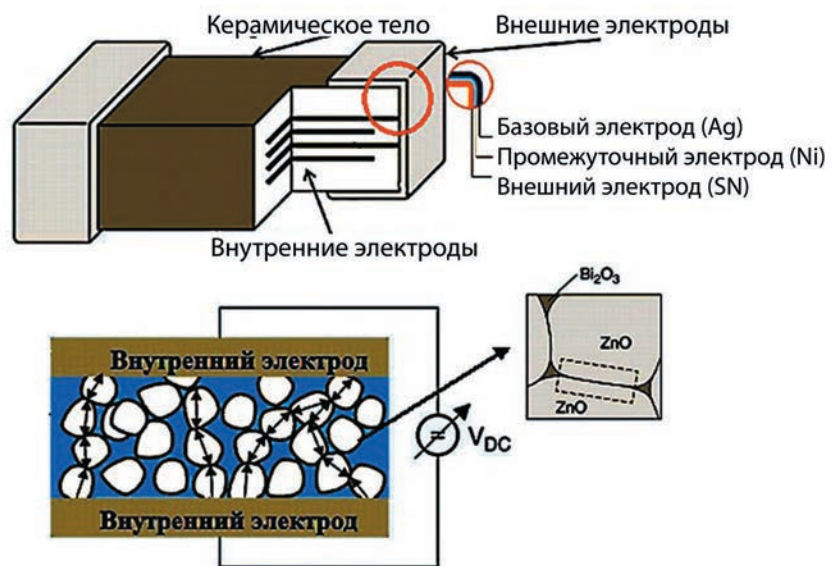


Рисунок 4 – MLV-конструкция

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все три технологии защиты в комбинации или по отдельности могут снизить эффект воздействия ЭСР на 80 % и более. Простота внедрения и всестороннего охвата этих технологий также снижает время и стоимость разработки и уменьшает размер продукта конструкции за счет исключения менее эффективных компонентов, которые традиционно используются для защиты устройств от ЭСР.

Использование полимерных технологий защиты в качестве промежуточной линии защиты от ЭСР в комбинации со схемными решениями защиты, позволяет увеличить технологичность изделия, уменьшить стоимость комплектующих, увеличить плотность монтажа на печатной плате устройства и увеличить степень интеграции микросхем, избавившись от части схемных методов защиты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] О приоритетных направлениях научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2016–2020 гг.: Указ Президента Республики Беларусь, 22 апр. 2015 г., № 166 // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Республики Беларусь. – Минск, 2017.
- [2] Алексеев, В. Ф. Устойчивость радиоэлектронного оборудования на базе микроконтроллеров к электростатическим разрядам / В. Ф. Алексеев, Г. А. Пискун, А. Н. Пикулик // Стандартизация. – 2012. – № 1-2012. – С. 37–39.
- [3] Брылева, О. А. Основные механизмы повреждения микроконтроллеров вследствие влияния электростатических разрядов / О. А. Брылева, В. Ф. Алексеев, Г. А. Пискун // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2013. – № 2 (39). – С. 130–137.
- [4] Пискун, Г. А. Методы технической диагностики микроконтроллеров при воздействии электростатических разрядов / Г. А. Пискун, В. Ф. Алексеев, О. А. Брылева // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2013. – № 2 (39). – С. 156–163.
- [5] Совершенствование алгоритма испытаний микропроцессорной техники на устойчивость к воздействию разрядов статического электричества / Г. А. Пискун, В. Ф. Алексеев, А. Н. Пикулик, Э. М. Врабий // Стандартизация. – 2016. – № 2-2016. – С. 52–58.
- [6] Кечиев, Л.Н. Защита электронных средств от воздействия статического электричества / Л. Н. Кечиев, Е. Д. Пожидаев. – М.: «Технологии», 2005. – 352 с.
- [7] Voldman, H. ESD RF Technology and Circuits / Steven H. Voldman. – John Wiley & Sons, Ltd., 2006. – 398 p.
- [8] Voldman, H. ESD: Design and Synthesis / Steven H. Voldman. – John Wiley & Sons, Ltd., 2011. – 290 p.
- [9] ГОСТ 12.4.124-83 Система стандартов безопасности труда. Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования.
- [10] Multek certified on Shocking Technologies unique ESD protection solution [Электронный ресурс] / Shocking Technologies // Электронный портал SMT, PCB Electronics Industry News – Режим доступа: <http://www.smtnet.com/news>.
- [11] Substrate device or package using embedded layer of voltage switchable dielectric material in a vertical switching configuration [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.google.ru/patents/US8203421>.
- [12] Direct application voltage variable material [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.google.ch/patents/US7843308>.
- [13] Low capacity multilayer varistor [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.google.ch/patents/US6608547>.
- [14] Бугаев, В. Динамичная защита от статики: решения Littelfuse для ЭСР-защиты [Электронный ресурс] / В. Бугаев, М. Мусиенко // Новости электроники. – 2014. – № 12. – Режим доступа: <http://www.compel.ru/lib/ne/2014/12>.

SUMMARY

G. A. Piskun, V. F. Alekseev, A. L. Zhitnikov

The article gives a review of a modern condition and an analysis of prospects for development of methods for protection of radio-electronic devices (RED) from destabilizing influence of electrostatic discharges (ESD). The main attention is paid to technologies that are based on physical and chemical properties of certain combinations of materials used to cover the load-bearing structures that are most sensitive to the effects of discharges. The article provides examples of existing developments and their brief technical characteristics.

Поступила в редакцию 29.06.2017.