

## **ДЕГРАДАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОНИКИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО УДАРА**

**<sup>1</sup>Овчинников В.И., <sup>1</sup>Ильющенко А.Ф., <sup>2</sup>Белоус А.И., <sup>2</sup>Петлицкий А.Н.,  
<sup>2</sup>Петлицкая Т.В.**

<sup>1</sup>ОХП НИИ ИП с ОП ГНУ ИПМ г.Минск, Беларусь, [impuls@bn.by](mailto:impuls@bn.by)

<sup>2</sup>НТЦ "Белмикросистемы" ОАО "Интеграл", г.Минск, Беларусь

*В настоящее время установлено, что в космическом пространстве существует опасность соударения сгустков частиц космической пыли с космическими аппаратами (КА) и их влияние на работоспособность систем управления и элементов микроэлектроники. При разработке КА с длительным сроком работы в космосе, одной из проблем, стоящих перед разработчиками, является защита КА от воздействия не только от различных космических тел макроразмеров, но и от мелких микрочастиц космической пыли.*

Проведенный анализ причин аварий на КА подтверждает, что отказы систем управления и электронной аппаратуры КА могут быть вызваны воздействием различных физико-химических факторов космического пространства, в т.ч. высокоскоростных потоков частиц космической пыли. Это еще раз подчеркивает актуальность исследований процессов взаимодействия высокоскоростных потоков частиц с материалами и элементами микроэлектроники в лабораторных условиях, имитирующих взаимодействие частиц космической пыли с КА, а также проблемы создания средств защиты от воздействия высокоскоростных потоков частиц. Одним из решений проблемы видится в создании многослойных композиционных материалов с высоким уровнем защитных свойств.

### **1. Материалы и методика эксперимента**

Для проведения экспериментов по оценке влияния высокоскоростных потоков микрочастиц на функциональные свойства интегральных микросхем, использовали микрочастицы SiC и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> фракции 60 - 70 мкм. Микрочастицы разгоняли в диапазоне скоростей 300 - 2500 м/с специально разработанными ускорителями. В качестве энергоносителя применяли взрывчатое вещество аммонит 6ЖВ в количестве 200г на один эксперимент.

Регистрацию импульса электромагнитного излучения проводили с помощью экспериментальной установки регистрации высокочастотного электромагнитного излучения. В экспериментах использовали микросхемы предназначенные для работы на борту КА.

### **2. Результаты исследования и их обсуждение**

В Институте импульсных процессов были разработаны специальные ускорители и проведены исследования по моделированию процессов соударения потоков частиц, имитирующих космическую пыль, с металлической преградой. В результате проведенных экспериментов было установлено, что при соударении высокоскоростного потока частиц (скорость 1200-2500 м/с), процесс сопровождается следующими эффектами: происходит проникание частиц ~1% на глубину до 50мм; образуется ударная волна и ряд вторичных ударных волн; формируется импульс электромагнитного и ионизирующего излучения.

В процессе проведенных исследований разработаны: математическая модель заряженного потока вещества ускоренного взрывом, взрывной ускоритель потока микрочастиц, установка регистрации электромагнитного излучения (рисунок 1), методика тестирования интегральных микросхем в условиях, приближенных к космическим.



а) ускоритель частиц с камерой, б) приборы для регистрации и измерений ЭМИ  
Рисунок 1- Экспериментальная установка регистрации импульсов электромагнитного излучения

В процессе проведенных исследований установлено, что основными факторами при соударении высокоскоростных потоков частиц (сгустков космической пыли), которые могут оказать воздействие на элементы микроэлектроники: транзистор, генерируемые ими высокочастотные процессы и условия резонанса; электромагнитное и ионизирующее излучение, индуцируемые магнитные и наведенные электрические поля; тепловое воздействие; проникающие микрочастицы.

Выполненный цикл исследований позволил зарегистрировать появление дефектов на поверхности кристалла микросхемы, приводящих к ее отказу. На рисунке 2 представлены фото, полученные с помощью растрового электронного микроскопа, на которых показаны характерные зоны повреждения кристалла микросхемы:

а)- механические повреждения в виде трещин и сколов кремниевой подложки (результат воздействия ударной волны и высокого давления), б)- точечные включения (в результате массопереноса из корпусной части). На отдельных контактах наблюдаются места локального разогрева, причем столь существенного, что приводит к возникновению и росту новых кристаллов микросхемы, элементы памяти и т.п. могут быть: ударные волны, а также из материала микросхемы - в).

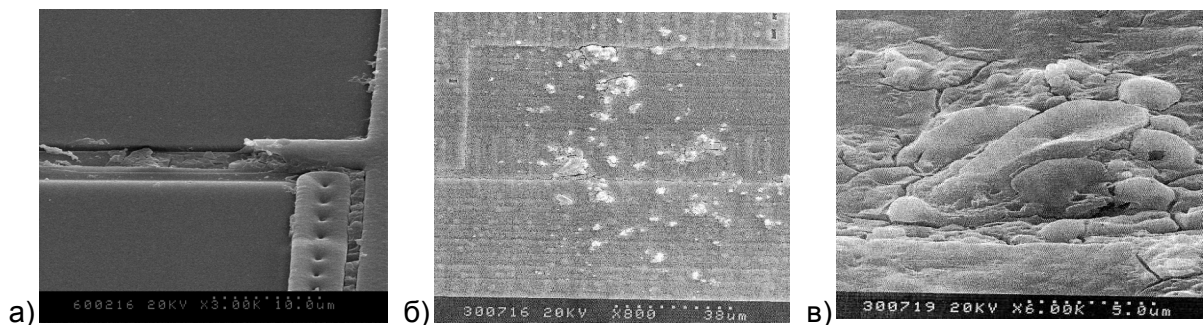
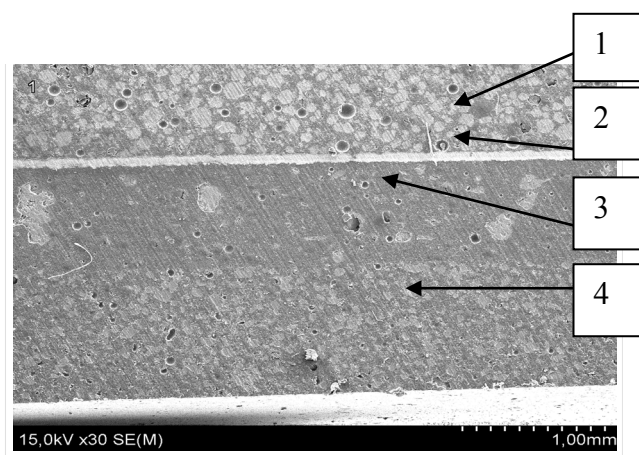


Рисунок 2- Дефекты и повреждения в микросхемах после воздействия высокоскоростным потоком микрочастиц

Тестирование микросхем на стенде, не имевших механических повреждений, установленных визуальным и оптическим обследованием после соударения с потоком микрочастиц, показало отклонение вольт-амперных зависимостей от допустимых значений на 10-40 %. Предположительно, это связано с воздействием импульса электромагнитного излучения, реализуемого в результате взаимодействия потоков микрочастиц с металлической преградой. От воздействия импульсного электромагнитного излучения авторами предлагаются защитные экраны из многослойного композиционного материала (МКМ) (рисунок 3).



1- слой с  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 2- слой из аморфной ленты  $\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{40}\text{B}_{14}\text{P}_6$ ;  
3-слой с фуллереном  $\text{C}_{60}$  и нанотрубками; 4- слой с  $\text{SiO}_2$

Рисунок 3 - Структура четырехслойного материала

Методом полимеризации, последовательной заливкой слоев друг на друга из жидких смесей двухкомпонентных композиций, с использованием слоя из магнитомягкого материала с нанесенным детонационным способом слоем диэлектрика, получены многослойные композиционные материалы. Преимуществом данного способа соединения композиции в многослойную структуру, является возможность получения бездефектной структуры с хорошим распределением наполнителей и адгезией между слоями.

В качестве наполнителя использовались порошки оксидов алюминия и кремния с размером частиц 5-10 мкм, а также нанопорошки фуллерена  $\text{C}_{60}$ . В качестве матричного материала использовалась полимерная композиция с высокой адгезией к широкому ряду материалов. Процентное соотношение порошкообразного наполнителя (по объёмному содержанию) в композиции варьировалось от 15 % до 50 %. Были подготовлены составы с различным содержанием исходных компонентов. В качестве отражающего металла использовали фольги из алюминия, никеля и аморфного сплава  $\text{Fe}_{40}\text{-Ni}_{40}\text{-P}_{14}\text{-B}_6$  толщиной 300-600 мкм. Исследуемые образцы представляли собой МКМ, предназначенный для корпусной части интегральных микросхем и защитных экранов с функциями защиты от электромагнитного и ионизирующего излучения.

Испытания полученных многослойных композиций показали, что реализация предложенной технологической схемы их получения с оптимальным соотношением наполнителя 25 - 40 % и матрицы 75 - 60 %, их равномерного распределения и определенным сочетанием слоев в композиции позволяет получить МКМ, снижающий воздействие электромагнитного излучения на 20 - 30 %, ударно-волнового до 50 % по сравнению с ИМС производства ОАО "Интеграл" в корпусе из материала "LMC 100G".

### Заключение

Исследования показали возможность использования многослойных композиционных материалов в решении вопросов по защите элементов микроэлектроники и снижению воздействия поражающих факторов электромагнитного излучения.

### Список литературы

1. Айзенберг, Е.Я., Ястребенецкий М.А. Сопоставление принципов обеспечения безопасности систем управления ракетами-носителями и атомными электростанциями/ Е. Я. Айзенберг, М.А. Ястребенецкий // Космічна наука і технологія.– 2002.– Т. 8, № 1.– С. 55-60.