

05

## **Повреждение микросхем при пробивании толстостенной преграды потоком высокоскоростных микрочастиц**

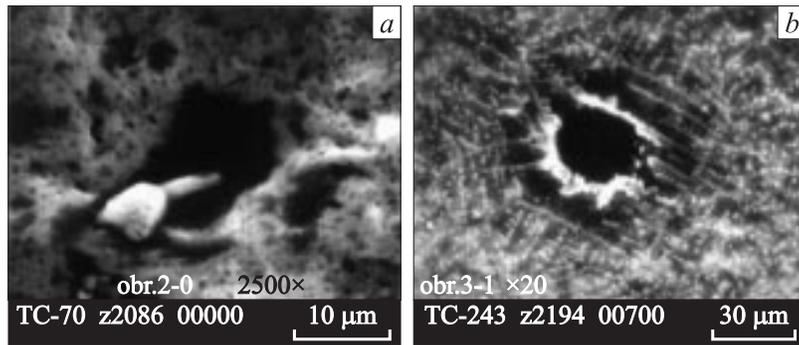
© *О.В. Роман, О.А. Дыбов, Г.С. Романов, С.М. Ушеренко*

Научно-исследовательский институт импульсных процессов,  
Минск, Беларусь  
E-mail: impuls@bn.by

*Поступило в Редакцию 3 августа 2004 г.*

Приводятся результаты исследований пробивания стальной преграды и корпуса расположенной за ней микросхемы при соударении потока микрочастиц с преградой в режиме их сверхглубокого проникания.

Суть эффекта сверхглубокого проникания (СГП) заключается во внедрении (проникании) материала частиц из их высокоскоростного потока, соударяющегося с металлической преградой, на аномально большую глубину, составляющую величину  $10^2 - 10^4$  исходного размера частиц, что составляет десятки и сотни миллиметров [1,2]. В толщине преграды фиксируются следы — треки, представляющие собой схлопнувшиеся или частично схлопнувшиеся каналы, оставляемые проникшим материалом частиц, которые выявляются химическим или электрохимическим травлением образца. Анализ полученных изображений вытравленных треков показал, что все они имеют диаметр в десятки и сотни раз меньше диаметра исходной (метаемой) частицы. Проведенные исследования на проницаемость тонких ( $\leq 0.5$  mm) пластинок-срезов, вырезанных из преграды, обработанной потоком частиц перпендикулярно поверхности образца, ее не зарегистрировали, т.е. в материале преграды, после проникания в него частиц, не образуется сквозной



**Рис. 1.** След взаимодействия материала частицы SiC при проникании ее за стальную преграду: *a* — толщиной 200 mm со 2-й фольгой из пакета в 30 шт., *b* — толщиной 50 mm с 31-й фольгой из пакета в 40 шт.

пористости. Эти установленные факты — глубина и диаметр вытравливаемого канала относительно исходного размера частицы и отсутствие сквозной пористости являются основными, принципиальными отличиями аномального проникания (СПП) от внедрения отдельной скоростной частицы в преграду.

При соударении в режиме СПП (для микрочастиц карбида кремния это экспериментально определенные основные параметры потока, такие как средняя плотность  $\sim 2 \text{ g/cm}^3$ , скорость соударения от  $\sim 900$  до  $\sim 300 \text{ m/s}$ , изменяющаяся со временем процесса, которое длится  $\sim 200 \mu\text{s}$  [3]) потока микрочастиц с преградой, имеющей толщину меньше предельной глубины проникания, происходит ее пробитие и выход с тыльной стороны материала частиц и самой преграды. На рис. 1 представлены обнаруженные с использованием сканирующего электронного микроскопа следы пробивания фольг из пластика (гибкие компьютерные дискеты  $5\frac{1}{2}''$  толщиной  $80 \mu\text{m}$ ), которые использовались в качестве детекторов и размещались за преградой. Номер фольги указывает, какой по счету она располагалась в пакете, закладываемом за преградой вплотную к ее тыльной стороне, через тонкую бумажную кальку. Взаимодействия ударников с фольгами могут быть различного вида [2]. Следы в виде включения содержат материал частиц потока и преграды в различном процентном соотношении. Закономерности соотношений содержания вышедшего материала частицы и преграды

на данном этапе проводимых исследований нами не установлено. В [2] обосновывается предположение, что выход материала частицы и преграды с тыльной стороны последней происходит в виде микроструи. Этим объясняется пробой пакета алюминиевых и медных фольг из 40 штук (толщина каждой фольги  $10\ \mu\text{m}$ ) с оставлением следа пробивания значительно меньшего диаметра частиц потока.

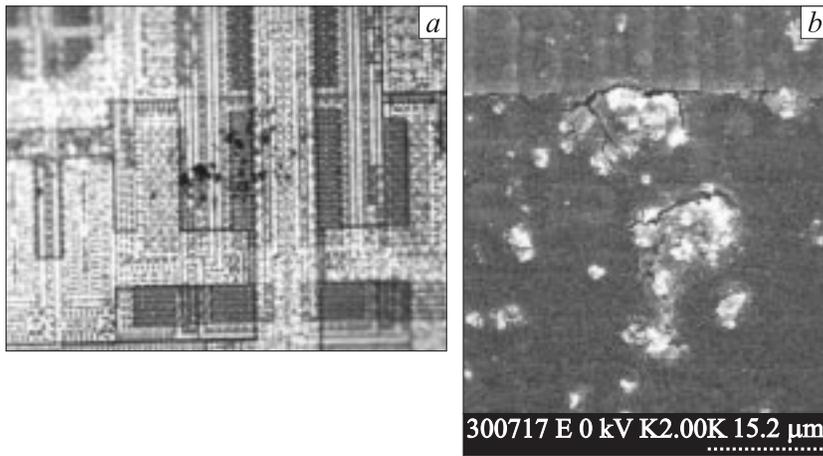
В данной работе приводятся результаты исследования соударения потока микрочастиц в режиме СГП с преградой, имеющей толщину меньше максимальной глубины проникания, и последующего пробивания корпуса расположенной за преградой микросхемы, с воздействием на ее кристалл.

Формирование потока частиц осуществлялось обжатием продуктами детонации взрывчатого вещества кумулятивной линзы, заполненной порошковым материалом (микрочастицами Ni размером  $\sim 10\text{--}40\ \mu\text{m}$ ) [1,2,4]. Преграда представляла собой сборный контейнер [2,4] с лобовой стенкой толщиной 200 мм, внутри которого размещалась интегральная микросхема в металлокерамическом корпусе с осуществлением мер, предотвращающих ее удары о стенки контейнера в процессе взаимодействия последнего с потоком. До и после экспериментов измерялись все тестовые электрические параметры микросхемы.

После обработки преграды потоком микрочастиц на поверхности преграды образовались только микрократеры глубиной и диаметром меньше 3 мм. На извлеченных из контейнера корпусах микросхем не выявлено видимых механических повреждений. Измерения электрических параметров, тестирующих микросхему, показали, что от 40 до 60 % их общего количества изменились выше допустимых норм. Анализ на оптическом и сканирующем электронном микроскопе поверхности кристаллов микросхем после вскрытия их корпусов выявил на них появившиеся точечные включения (рис. 2). Эти включения содержат химические элементы, которые присутствуют в составе крышки микросхемы и самом кристалле. Отметим, что и на обратной стороне крышки корпуса микросхемы также зарегистрированы появившиеся точечные следы темного цвета.

Из приведенных экспериментальных результатов можно сделать следующие выводы и предположения:

— пробивание крышки корпуса микросхемы является дополнительным подтверждением того, что выход материала микрочастицы и самой преграды происходит в виде микроструи с длиной не меньше толщины



**Рис. 2.** Изображение наблюдаемых включений на кристалле вскрытой микросхемы, полученное на: *a* — оптическом микроскопе  $\times 200$ , *b* — сканирующем электронном микроскопе  $\times 2000$ .

крышки ( $\approx 200 \mu\text{m}$ ), так как пробивание ее невозможно ударником в виде отдельной частицы, имеющей диаметр, даже равный следу пробивания фольг (порядка нескольких микрометров);

— отсутствие каких-либо дополнительных воздействий и условий, которые могут принципиально изменить форму ударника (микроструи) при выходе из преграды и внедрении в фольгу (пробивания), предполагает, что проникающий ударник (материал частицы и преграды) в преграде также имеет вид микроструи;

— при определенных условиях соударения сгустка микрочастиц (микрометеоритов) (соотношения плотности, скорости и размера — осуществление режима СГП) в космическом пространстве с летательным аппаратом может происходить пробивание его корпуса и воздействие на элементы электронного оборудования, расположенные в непосредственной близости от корпуса. Это, как было показано, приведет к сбою и даже отказу в работе оборудования. Опасность такого соударения возрастает из-за наличия в околоземном пространстве большого количества разнообразного так называемого „космического мусора“, являющегося побочным продуктом деятельности человека в космосе [5].

## Список литературы

- [1] Роман О.В., Андилевко С.К., Карпенко С.С. и др. // ИФЖ. 2002. Т. 75. № 4. С. 187–199.
- [2] Дыбов О.А., Романов Г.С., Ушеренко С.М. // ИФЖ. 2003. Т. 76. № 5. С. 8–9.
- [3] Дыбов О.А., Романов Г.С., Ушеренко С.М. // ИФЖ. 2004. Т. 77. № 1. С. 15–19.
- [4] Андилевко С.К., Карпенко С.С., Шилкин В.А. // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. В. 7. С. 69–73.
- [5] Новиков Л.С. // Инженерная экология. 1999. № 4. С. 10–19.