

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ПЕРИОДИЧЕСКОЕ РАЗРУШЕНИЕ ТИРИСТОРА В РЕЖИМЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПЕРЕГРУЗКИ

А.В. Горбатов, И.А. Линийчук,  
А.В. Свиригин

Процесс разрушения мощных полупроводниковых приборов, вызываемый чрезмерным разогревом при прохождении импульса тока, является образцом сложного поведения распределенных активных систем в неравновесных условиях и представляет существенный интерес как с общезначимой, так и с технической точек зрения.

Для приборов большой площади, в частности для тиристорных, созданию аварийной ситуации всегда предшествует сильная локализация тепловыделения [1], которая развивается вследствие поперечной неустойчивости исходных однородных распределений тока и температуры. Одна из причин — реализация системой состояний с отрицательным дифференциальным сопротивлением (ОДС) [2–4]. Возможны и другие механизмы локализации [5], с ОДС непосредственно не связанные. Важным фактом является то, что несмотря на разнообразие конкретных сценариев аварии, в каждом из случаев возникает всего один или несколько случайно расположенных очагов деструкции.

В эксперименте, описанном ниже, мы наблюдаем в тиристоре совершенно иной тип разрушения, характеризующийся правильным периодическим расположением отдельных очагов.

Исследовалась начальная стадия переходного процесса выключения тиристора с распределенным управляющим электродом (т.н. — запираемого тиристора — ЗТ). Структура ЗТ была изготовлена методом мезапланарной технологии и имела общепринятую конструкцию [6, 7]. Единичный управляемый элемент (УЭ) интегральной структуры представлял прямоугольный параллелепипед размером 0.4x0.6x4.5 мм, вытянутый вдоль оси  $z$  (рис. 1), и не содержал никаких встроенных периодических неоднородностей по своей длине. Ток подвод к катоду осуществлялся через внешний точечный прижимной электрод „К” к одному из концов контактной площадки p-эмиттера, имеющей размеры 0.2x3 мм. Исходное однородное включенное состояние реализовывалось в одном этом элементе при пропускании анодного тока  $I_A$  через электроды „А” и „К”. Режим включения осуществлялся под действием отрицательного импульса тока управления  $I_y$ , пропускаемого через планарно-распределенный электрод базы „Б”.

Как известно из физики запираемых тиристорных [7], на первой стадии процесса выключения происходит вынужденное поперечное (вдоль  $y$ ) сжатие токопроводящего канала и резкое увеличение плотности тока в сечениях, близких к плоскости симметрии элемента. В отсутствие неоднородных флуктуаций область сжатия остава-

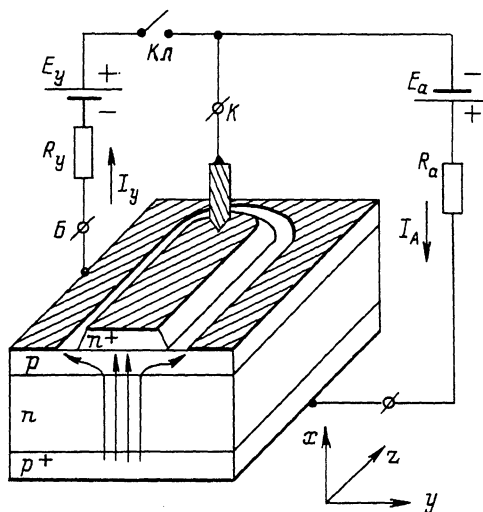


Рис. 1. Геометрия единичного управляемого элемента интегральной структуры запираемого тиристора. „А“, „К“, „Б“ – анодный, катодный и базовый электроды. Стрелками показаны линии токов в области сжатия.

лась бы однородной по длине УЭ на всем протяжении процесса, однако на практике происходят разрывы сплошности этой области, в результате чего формируются один или несколько случайно размещенных вдоль  $z$  токовых шнуров [8], которые затем могут переходить в очаги разрушения. Такая картина полностью объясняется причинами, указанными во введении.

Интересующее нас необычное поведение прибора обнаруживается на некотором этапе при попытке увеличить отношение  $I_A / I_y^{KP}$ , характеризующее эффективность управления, а именно: при анодном токе  $I_A = 25$  А, полной длительности анодного импульса  $t_A = 200$  мкс, амплитуде тока управления  $I_y = 1.5$  А. Осциллограммы показали, что разрушение происходит в самые ранние моменты фазы ограничения тока (т.е. еще до вхождения прибора в выраженное состояние с ОДС) при  $t_{KP} = 5-10$  мкс и препятствует дальнейшему нормальному развитию этой фазы.

На микрофотографиях рис. 2 отчетливо видна периодическая структура аварийных зон. В одном из образцов (рис. 2, а) локальные разрушения имеют вид трещин характерной крестообразной формы. Места пересечений рекристаллизованы и образуют центры периодических звеньев, расположенные на расстоянии  $\sim 350$  мкм друг относительно друга. Степень повреждений в каждом звене постепенно убывает по мере удаления от места прижима контакта „К“ (что видно по диаметрам проплавленных каналов). На другом образце (рис. 2, б) можно увидеть двойную периодичность между чередующимися звеньями с большей и меньшей степенью повреждения.

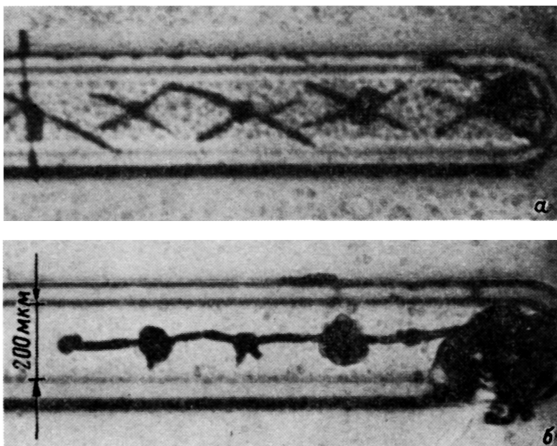


Рис. 2. Микрофотографии повреждения структур со стороны полоскового контакта к *p*-эмиттерной секции.

Расстояние между соседними элементами здесь составляет 250 мкм. Подобные периодические разрушения воспроизводились и на нескольких других образцах. Максимальное число периодов достигало 11-ти.

Можно, видимо, утверждать, что первичное растрескивание возникало почти одновременно по всей аварийной зоне за счет формирования периодического поля механических напряжений критической амплитуды и сопровождалось закорачиванием образца в направлении от катода к аноду параллельными каналами на местах „сквозных” трещин. Так как разность потенциалов „анод-катод” после этого становилась соизмеримой с падением напряжения вдоль полоски катода, дополнительное разрушение надтреснутых участков (в виде их проплавления) выражено тем сильнее, чем ближе эти участки находились к месту токоподвода.

Описанную периодическую картину, которая, насколько мы знаем, наблюдается впервые, нельзя объяснить с позиции существующих представлений [1-5, 8]. Можно предположить, что здесь играют роль нелинейные процессы активаторно-ингибирующего типа, способные породить устойчивые периодические формирования в активных распределенных системах (см. [9, 10] и библиографию). По нашему мнению, существенным фактором в образовании периодической структуры разрушений является резкое несоответствие симметрии уединенного токового шнура и симметрии распределенного воздействия  $I_y$ , вызывающего локализацию тока.

В заключение авторы благодарят И.В. Грехова за стимулирование данной работы и Б.С. Кернера за полезные обсуждения.

## С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Г р е х о в И.В., О т б л е с к А.Е. // ЖТФ. 1984. Т. 54. В. 9. С. 1787-1792.
- [2] В а р л а м о в И.В., О с и п о в В.В. // ФТП. 1969. Т. 3. В. 7. С. 950-958.
- [3] Г о р б а т ю к А.В. Динамика и устойчивость быстрых регенеративных процессов в структурах мощных тиристорov. Препринт ФТИ им. А.Ф. Иоффе АН СССР - 962, Ленинград, 1985, с. 10-17, 51-57.
- [4] Б а р а н е н к о в А.И., О с и п о в В.В. // Микроэлектроника. 1972. Т. 1. В. 1. С. 63-72.
- [5] К е р н е р Б.С., О с и п о в В.В. // Микроэлектроника. 1974. Т. 3. В. 1. С. 9-22.
- [6] Д е р м е н ж и П.Г., П р и х о д ь к о А.И., П о г а п ч у к В.Б. // Электротехническая промышленность. Сер. 05. Обзорн. информ. 1987. В. 4. С. 1-68.
- [7] Г р е х о в И.В., Л и н и й ч у к И.А. Тиристоры, выключаемые током управления. Л.: Энергоатомиздат, 1982, с. 37-42.
- [8] А я з я н Р.Э., Г р е х о в И.В., Л и н и й ч у к И.А. // Радиотехника и электроника. 1975. Т. 20. В. 10. С. 2225-2227.
- [9] P u r w i n s H.-G., R a d e h a u s C., B e r k e m e i e r J. // Z. Naturforsch. A: A Journal of Physical Sciences. 1988. V. 43a. P. 17-29.
- [10] К е р н е р Б.С., О с и п о в В.В. // Микроэлектроника. 1985. Т. 14. В. 5. С. 389-407.

Физико-технический  
институт им. А.Ф. Иоффе  
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию  
9 января 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 6  
05.2; 06.2; 12

26 марта 1989 г.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТНО- БАРЬЕРНЫХ ДЕТЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ ГАММА-ЛЕГИРОВАННОГО КРЕМНИЯ

В.В. З а б л о ц к и й, Н.А. И в а н о в,  
С.И. Л а ш а е в

Одним из факторов, оказывающих существенное влияние на качество полупроводниковых детекторов (ППД) ионизирующих излучений, особенно детекторов с большой площадью рабочей поверхности, является однородность электрофизических свойств исходного материала. В настоящее время для улучшения объемной однородности