

УДК 538.971

## Измерение сопротивления каналов микроканальных пластин с минимизацией токов утечки

А. А. Хатухов, О. Г. Ашхотов

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова, г. Нальчик, Россия

*Измерены сопротивления пограничных и внутренних каналов микроканальных пластин (МКП). Высокие объемная и поверхностная проводимости приводят к сильной электрической связи соседних каналов, что не позволяет провести детальную диагностику отдельного канала в составе МКП. Увеличение времени термического водородного восстановления уменьшает сопротивления всех областей МКП. Возрастание длительности отжига в среде азота стимулирует обратный процесс. Установлено различное поведение пограничных и внутренних каналов как при термическом водородном восстановлении, так и при отжиге в среде азота.*

Для оценки резистивного фактора неоднородности усиления пограничных и внутренних каналов микроканальных сот (МКС) микроканальных пластин требуется прецизионная диагностика их электрических свойств [1]. Ситуация осложняется необходимостью нахождения разницы в сопротивлениях указанных каналов для работоспособных МКП, у которых дефекты электронного изображения практически не проявляются при работе в линейном режиме.

Для решения этой задачи была создана установка, позволяющая измерять сопротивление каналов очувствленной вытравленной заготовки (ОВЗ) с минимизацией возможных утечек тока по соседним каналам (рис. 1). Установка позволяет позиционировать зонды с повышенной точностью и возможностью контролировать их положение в процессе измерений. Установка состоит из камеры-термостата, в которой размещен держатель образца с двумя зондами 4, 8, размещенными на манипуляторах 3 и 9, соответ-

ственно. Зонд 4 выполнен из медной проволоки диаметром 1200 мкм с закруглением на конце, зонд 8 — из тонкой (400 мкм) стальной проволоки, заточенной химическим способом до размеров внутреннего канала. Положение зондов контролируется с помощью микроскопа (Latimet Automatic), снабженного цифровой камерой (разрешение 600×800 пикселей). Особенность установки — возможность измерения сопротивления на атмосфере, для этого с помощью лампы-подогревателя формировались атмосферные условия с пониженной влажностью (45–50%). Предельная температура подогрева составляла 100 °С и контролировалась платино-платинородиевой термопарой. Дальнейшее увеличение температуры было недопустимо вследствие активации ионной составляющей проводимости. В качестве регистрирующего прибора использовался вольтметр В7-45. Величина прикладываемого к каналу напряжения составляла 15 В.

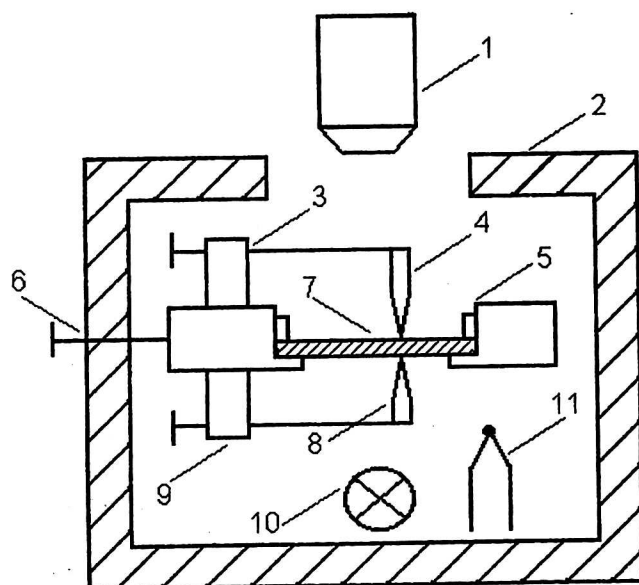


Рис. 1. Схема установки для измерения сопротивления канала ОВЗ:

1 — микроскоп; 2 — камера-термостат; 3 — система манипуляции первым зондом; 4 — первый зонд; 5 — держатель образца; 6 — манипулятор держателя; 7 — ОВЗ; 8 — второй зонд; 9 — система манипуляции вторым зондом; 10 — электрическая лампа-подогреватель; 11 — термопара

В работе использовались заготовки МКП18-10 (диаметр каналов 10 мкм) из одного блока. Все образцы прошли стандартную теххимическую обработку (ТХО) и термоводородное восстановление (ТВВ) [2] с отбором образцов после определенных стадий восстановления (табл. 1). Сопротивление пограничных и внутренних каналов

МКС для этих ОВЗ было измерено, как показано на рис. 2.

Таблица 1

Режимы обработки исследуемых образцов

№ ОВЗ	Режимы основной стадии ТВВ
1	Полка, $T = 455\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $t = 190$ мин; отжиг в $\text{N}_2$ при $T = 440\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $t = 90$ мин
2	Полка, $T = 455\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $t = 190$ мин; отжиг в $\text{N}_2$ при $T = 440\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $t = 45$ мин
3	Полка, $T = 455\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $t = 190$ мин; без отжига в $\text{N}_2$
4	Полка, $T = 455\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $t = 100$ мин; без отжига в $\text{N}_2$

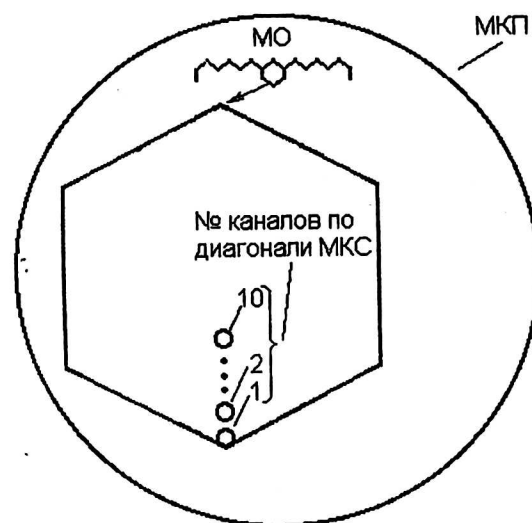


Рис. 2. Выбор каналов при исследовании МКС МКП

Сопротивление каналов по диагонали микроканальной вставки ( $R$ ,  $10^{14}$  Ом) приведено в табл. 2.

Из табл. 2 и рис. 3 следует, что длительность восстановления и время отжига в среде азота влияют на резистивные характеристики каналов. Увеличение времени процесса ТВВ приводит к уменьшению сопротивления, в то время как возрастание длительности отжига в среде азота стимулирует обратный процесс. Следует отметить различное поведение пограничных и внутренних каналов при их восстановлении. При проведении процесса ТВВ в течение 100 мин сопротивление пограничных каналов выше сопротивления внутренних. С удлинением полки восстановления до 190 мин ситуация менялась на противоположную. Отжиг в азоте в течение 45 мин практически выравнивал их сопротивление, а 90-минутный отжиг увеличивал сопротивление внутренних каналов по сравнению с сопротивлением пограничных.

Таблица 2

Сопротивление каналов по диагонали микроканальной вставки R, 10<sup>14</sup> Ом

№ канала	№ ОВЗ			
	1	2	3	4
1	0,068	0,063	0,021	0,029
2	0,088	0,058	0,018	0,023
3	0,058	0,045	0,017	0,031
4	0,065	0,050	0,019	0,027
5	0,056	0,047	0,021	0,026
6	0,060	0,052	0,016	0,027
7	0,056	0,050	0,018	0,023
8	0,056	0,060	0,017	0,025
9	0,060	0,056	0,018	0,023
10	0,052	0,045	0,016	0,024

Таким образом, сопротивление пограничных и внутренних каналов после восстановления и отжига в азотной среде различается. Это различие, скорее всего, закладывается при вытяжке многожильных стеклянных стержней из-за различного протекания диффузионных процессов в системе жила—оболочка на поверхности и внутри перетягиваемого пучка, так как при радиационном нагреве температура на поверхности пучка всегда несколько больше температуры внутри него [3]. Для ослабления данного эффекта можно снизить скорость нагрева пучка стержней. Кардинальным решением проблемы было бы использование СВЧ-нагрева вместо резистивного. В этом случае исключается градиент температур между пограничными и внутренними каналами.

**Заключение**

Предполагалось обнаружить резкую разницу в сопротивлениях пограничных и внутренних каналов, которая приводит к образованию сотовой структуры на электронном изображении, формируемом МКП. Однако этого сделать не удалось, так как значительные объемная и поверхностная проводимости ОВЗ приводили к сильной электрической связи соседних каналов. С другой стороны, этот факт играет положительную роль, так как сильная связь способствует более равномерному распределению, приложенному к МКП-потенциалу, что, соответственно, снижает требования к качеству металлизации.

**Литература**

1. Хатухов А. А., Ашкхотов О. Г. Резистивные характеристики базовых стекол МКП и их одиночных каналов// В кн.: Микроканальные пластины. — Владикавказ: СКГТУ, 2002. С. 256—262.
2. Кулов С. К. Микроканальные пластины для электроно-оптических преобразователей. — Владикавказ: СКГТУ, 1998. — 196 с.
3. Алкацева Т. Д. Закономерности формирования и минимизация дефектов электронного изображения микроканальных пластин: Дис... на соискание ученой степени канд. техн. наук. — Владикавказ: СКГТУ, 1999. — 247 с.

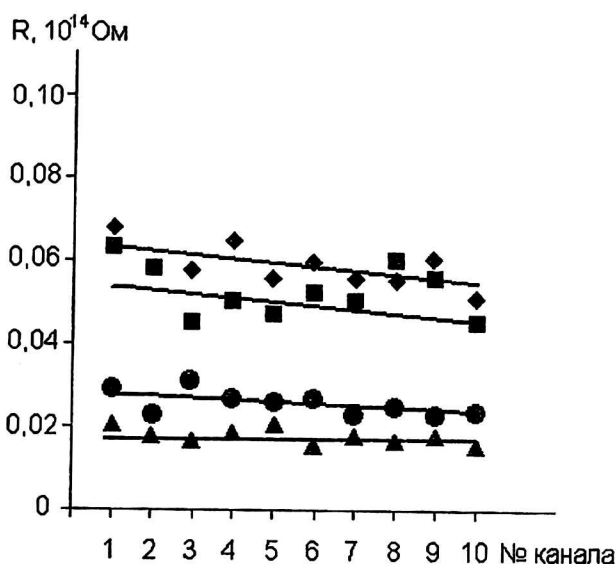


Рис. 3. Сопротивление каналов диагонали МКВ:  
 1 — ◆ — ОВЗ № 1; 2 — ■ — ОВЗ № 2;  
 3 — ▲ — ОВЗ № 3; 4 — ● — ОВЗ № 4

**Measurement of channels resistance of microchannel plates**

A. A. Khatukhov, O. G. Ashkhotov  
 Kabardino-Balkarian state university, Nalchik, Russia

*The resistance of boundary and internal channels of MCP are measured. High volume and surface conductivity result in strong electrical connection of the next channels. It does not allow making detailed diagnostics of the separate channel in MCP structure. The increase of time of hydrogen gas bake reduces resistance for all MCP areas. The increase of duration of heating in nitrogen environment stimulates return process. The various behaviour of boundary and internal channels is established both at hydrogen gas bake, and at heating in nitrogen environment.*