

РЕГИСТРАЦИЯ ОДИНОЧНЫХ ЧАСТИЦ МИКРОКАНАЛЬНЫМИ ПЛАСТИНАМИ

С. А. Близнюков, В. Л. Симачева, В. М. Федоров

УДК 621.383.292.39:666.112

Исследовалась эффективность микроканальных пластин, облучавшихся тонким лучом электронного микроскопа с токами $\geq 10^{-16}$ А.

Микроканальные электронные умножители, активно разрабатываемые в последнее время в виде микроканальных пластин /МКП/ для усиления изображений, все больше используются в различных физических измерениях. Быстродействие, большое усиление, малые собственные шумы и, особенно, открывающаяся возможность фиксировать координату места прохождения частицы, привлекают к ним все большее внимание с точки зрения перспективности использования в экспериментах с элементарными частицами.

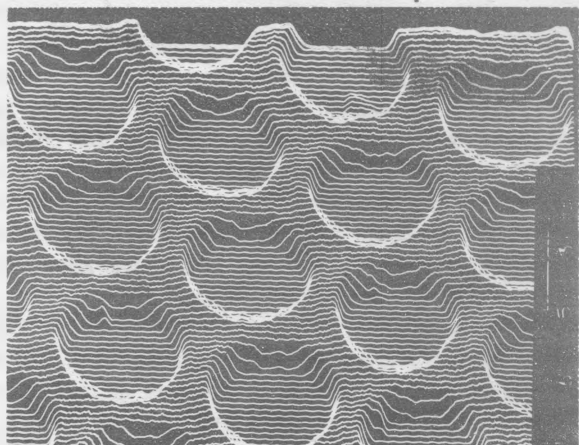
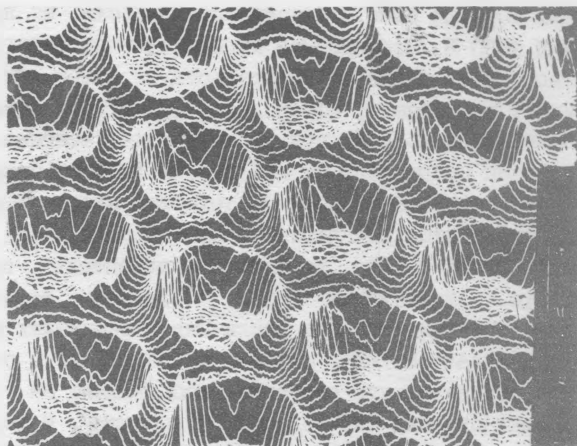
Один из основных вопросов при регистрации одиночных частиц с помощью МКП — эффективность в зависимости от энергии частицы и места ее первого взаимодействия с поверхностью пластины. В настоящее время распространено мнение, что на выходе МКП можно получить сигнал усиления только в том случае, если частица попадает непосредственно в канал /1/. При таком представлении, максимальная эффективность не должна превышать ~ 60%, что соответствует пределу по механической прочности.

Для измерений мы отобрали МКП Т-57 цилиндрической формы: внешний диаметр 34 мм, толщина 0,43 мм, диаметр каналов 10 мкм, расстояние между центрами каналов 12,5 мкм, угол между нормалью к плоскости пластины и осью каналов 8° , контактные слои напылены хромом. Пластина изготовлена методом травления опорной жилы и не содержит посторонних включений (подробнее см. в /2/). Для такой МКП расчетное время прохода лавины ~ 0,5 нс, разброс ширины лавины ~ 0,1 нс.

Для исследований МКП была установлена в вакуумной камере сканирующего электронного микроскопа ЖА-50А "Джеол", дополнительно оборудованного специальным монитором, позволяющим производить облучение передней плоскости МКП узким электронным лучом с токами от 10^{-16} А. Диаметр электронного луча варьировался от 100 Å до 1 мкм, энергии - в пределах до 50 кэВ. Выходной сигнал от МКП снимался с коллектора, изготовленного в виде диска с диаметром, равным диаметру МКП, и установленного на расстоянии 2 мм от выходного торца пластины. При сканировании лучом по поверхности МКП сигнал с коллектора записывался синхронно с движением луча. Одновременно записывался и сигнал от детектора вторичных электронов /ДВЭ/, размещенного в вакуумной камере микроскопа. ДВЭ - небольшой сцинтилляционный счетчик, регистрирующий вторичные электроны, вылетающие из локальной области, в которую ударяет первичный пучок. Перед МКП был установлен дополнительный сетчатый электрод, на который можно было подавать различные потенциалы.

На рис. 1а приведен типичный пример записи сигнала от ДВЭ при работе в режиме построчного сканирования участка поверхности пластины для случая, когда питающее напряжение на МКП не подается. При этом на вторичные электроны, образующиеся в месте соударения первичного пучка с поверхностью, действует только электрическое поле, тянущее их к ДВЭ, так что амплитуда сигнала от ДВЭ характеризует полное число таких электронов. Анализируя данные такой записи, можно четко установить, что для передней плоскости МКП, где для всех участков поверхности эффективность доставки электронов от места образования до ДВЭ одинакова, характер изменения сигнала хорошо согласуется с закономерностями вторичной эмиссии, т.е. наблюдается пропорциональность углу падения первичных электронов на поверхность и величине телесного угла, в который могут вылететь вторичные электроны. Так, например, хорошо видна и может быть измерена разница в выходе вторичных электронов в разных точках торца пластины: в центре площадки между каналами, на разных сторонах края канала и т.п.

При подаче на МКП питающего напряжения сигнал от ДВЭ резко меняется, так как появляется электрическое поле, втягивающее вторичные электроны первого взаимодействия в каналы. При



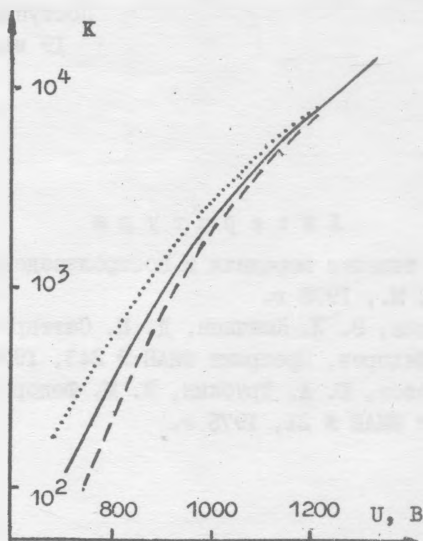
Р и с. 1. Фотографии сигнала с детектора вторичных электронов при напряжении на МКП 100 В (а) и 1100 В (б)

этом по мере увеличения напряжения на МКП изменения сигнала становятся меньше и контраст от топографии все больше и больше сглаживается. На рис. 1б приведен пример записи сигнала от ДВЭ при сканировании того же самого участка поверхности, но при напряжении на МКП 1000 В. Наблюдаемое на приведенных фотографиях изменение контраста сигнала свидетельствует о том, что большая доля вторичных электронов, которая при отсутствии питающего напряжения долетала до ДВЭ, при наличии поля затягивается в канал. При рабочем напряжении на МКП, равном 1200 В, практически все вторичные электроны со всей поверхности пластины уходят в каналы, где становятся инициаторами электронных лавин умножения. Это хорошо видно и по характеру изменения сигнала с коллектора. Аналогичный вывод следует также из данных измерений усиления МКП при различных потенциалах на сетке. Изменение потенциала сетки в широких пределах, как в положительную, так и в отрицательную стороны, слабо влияет на усиление при напряжениях питания МКП, близких к рабочему. И только при пониженных напряжениях на МКП подача положительного потенциала на сетку уменьшает коэффициент усиления (см. рис. 2).

Таким образом, поскольку все вторичные электроны с поверхности МКП затягиваются в каналы, эффективность регистрации отдельных частиц и, соответственно, неравномерность ее по плоскости пластины, должны, в первую очередь, определяться характеристиками вторичной эмиссии при взаимодействии электронов в первом и последующих каскадах умножения, так же, как это происходит, например, в фотоумножителях, где эффективность определяется в основном вероятностью того, что при первичном взаимодействии образуется хотя бы один вторичный элемент /3/.

Специально выполненные измерения эффективности МКП, облучаемой электронами сравнительно небольших энергий (10 кэВ), согласуются с расчетными оценками. В среднем по пластине она равна 0,85 и для разных точек поверхности МКП колеблется от 0,8 почти до 1. При увеличении энергии первичных частиц, эффективность, в соответствии с законами вторичной эмиссии, уменьшается, но появляется дополнительный фактор, связанный с тем, что частица может пересечь стенку между каналами и пройти в соседний канал. В этом случае общая эффективность будет определяться суммой вероятностей образования лавины в каждом из каналов, в

которые такая частица попадает. Отдельно выполненные измерения эффективности МКП, регистрирующей быстрые релятивистские частицы (электроны от Co^{60}), дают величину равную 0,6. Такие частицы при нормальном падении на плоскость пластины проходят сквозь нее почти по прямой, пересекая около 7-8 каналов. Лавина при



Р и с. 2. Изменение коэффициента усиления МКП в зависимости от потенциала сетки: сплошная кривая - на сетке нуль, пунктир - на сетке - 100 В, штрих-пунктир - на сетке + 100 В

этом может с равной вероятностью возникнуть в любом из этих каналов, так что длина кавала, на которой развивается лавина умножения, может быть различной. Это приводит к тому, что выходные сигналы с коллектора сильно различаются по амплитудам. Чтобы учесть это обстоятельство, измерения были выполнены с двумя МКП, установленными друг за другом. Порог регистрации устанавливался так, что отбирались все импульсы, приходившие от первой пластины. Вторая служила только для усиления.

Эффект прохода первичной частицы в соседние каналы может быть использован для увеличения эффективности стандартной МКП, если устанавливать пластину под углом к направлению движения

частицы, увеличивая тем самым число каналов, которые она будет пересекать и, соответственно, уменьшая толщину стенок между каналами, сквозь которые она проходит. При нестандартном изготовлении МКП угол наклона каналов может быть изготовлен в соответствии с задачей.

Поступила в редакцию
19 июля 1979 г.

Л и т е р а т у р а

1. Достижения в технике передачи и воспроизведения изображений, изд-во "Мир", М., 1978 г.
2. С. А. Близников, З. И. Канчиев, Д. К. Саттаров, В. Л. Симачева, В. М. Федоров, Препринт ФИАН № 243, 1978 г.
3. В. П. Цустоветов, Ю. А. Трубкин, В. М. Федоров, В. Н. Штандин, Препринт ФИАН № 21, 1975 г.