

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ МИКРОКАНАЛЬНЫХ ПЛАСТИН В КАЧЕСТВЕ КОЛЛИМАТОРА БЫСТРЫХ ПРОТОНОВ

В.В. Гребеншиков, С.С. Козловский,  
Ю.С. Коробочко, В.И. Минеев,  
А.Ф. Петрович

В работе [1] предложен перспективный метод изучения локальной ионной температуры на установках типа „Токамак“ путем измерения энергетических спектров протонов термоядерного синтеза, выходящих из плазмы под определенным углом. Для регистрации протонов в этой работе использовался полупроводниковый детектор (ППД), а угловое разрешение прибора обеспечивалось установкой перед ППД сотового коллиматора, изготовленного путем сверления металлической пластины.

В работе [2] путем численного моделирования исследуется вопрос о возможности применения микроканальных пластин (МКП) в качестве коллиматора быстрых заряженных частиц. МКП самых разных типов выпускаются промышленностью и коллиматоры, изготовленные на их основе, могут в принципе обеспечить лучшее угловое разрешение при большем пропускании, чем применявшиеся в работе [1].

Нами были предприняты экспериментальные исследования основных зависимостей, характеризующих МКП, как коллиматора частиц. Измерялись пропускание МКП протонов с энергией 2.6 МэВ в функции угла их падения, а также энергетические спектры прошедших МКП протонов при разных углах их падения. Измерения производились на пучке протонов указанной энергии, даваемой электростатическим генератором (ЭСГ).

Схема экспериментального устройства показана на рис. 1. Часть протонного пучка, ограниченная диафрагмой 1 и рассеянная тонкой ( $\sim 1$  мкм) алюминиевой фольгой 2, коллимировалась диафрагмами 3 и 4. Пройдя через МКП 5, которая могла ориентироваться любым относительно падающего пучка образом, протоны попадали на ППД 6.

Использование в качестве рабочего пучка протонов, рассеянных алюминиевой фольгой, позволило снизить интенсивность пучка до уровня необходимого для нормальной работы ППД. Естественно, что использование рассеяния привело к добавочному угловому и энергетическому разбросу рабочего пучка. Угловым разбросом задавался диафрагмами 3 и 4 и был выбран существенно меньшим, чем угол пропускания МКП.

Скорость счета протонов ППД составляла  $\sim 1000$  имп/с. С целью измерения энергетических спектров протонов, сигналы с ППД

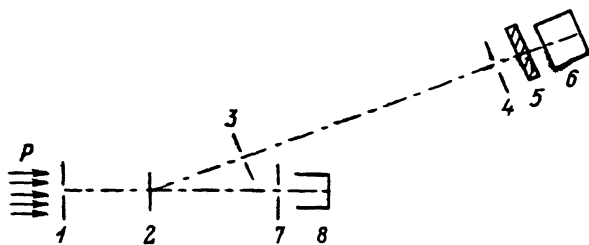


Рис. 1. Схема экспериментальной установки (масштаб не соблюден). Диаметры диафрагм: 1 - 7 мм, 3, 4 - 1 мм, 7 - 9 мм. Расстояния: 1 - 2 - 50 мм, 2 - 3 - 40 мм, 3-4 - 550 мм, 4 - 6 - 20 мм.

подавались на многоканальный анализатор. Мониторингирование первичного пучка производилось с помощью цилиндра Фарадея 8, в который попадала нерассеянная и слабо рассеянная часть пучка, ограниченная диафрагмой 7.

Энергетическое разрешение спектрометра на основе ППД, измеренное при облучении его альфа-частицами с энергией 5.5 МэВ, составило 18-20 кэВ.

Основные измерения производились с МКП, параметры которой приведены в таблице.

Толщина мм	Диаметр канала, мкм	Угол пропускания, град.	Толщина стенки, мкм	Параметр структуры, мкм	Геометрическая прозрачность
1.31	24.4	1.07	3.2	27.6	0.73

Угол пропускания  $\theta_0$  определяется как отношение диаметра канала к толщине пластины.

На рис. 2 приведены скорости счета протонов с энергиями, лежащими в диапазоне от  $E_0$  (начальная энергия) до  $0.12 E_0$  в функции угла между осями первичного пучка и каналов МКП. По оси абсцисс отложена величина угла в градусах, по оси ординат скорость счета. На рисунке приведены как результаты, полученные в нашем эксперименте, так и взятые из работы [2] для условий, наиболее близких нашим. Приведены данные работы [2] (кривая 3 рис. 2), рассчитанные для  $\alpha$ -частиц с энергией 3.5 МэВ, причем при расчете принималось, что регистрируются частицы с энергией от  $E_0$  до  $0.25 E_0$ . Напомним, что в нашем случае регистрировались протоны диапазона энергий от  $E_0$  до  $0.12 E_0$ .

Из сопоставления кривых рис. 2 видно, что экспериментальные результаты достаточно хорошо описываются теоретической зависимостью. Однако экспериментальная кривая несколько шире теоретической (примерно на 15%). Заметим, что на другой МКП, отличаю-

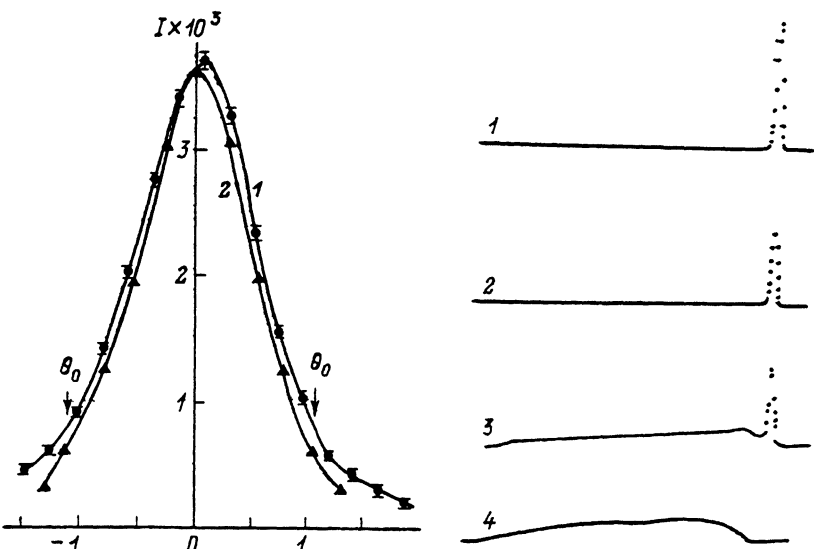


Рис. 2. Кривые пропускания МКП. По оси абсцисс - угол поворота МКП в градусах. По оси ординат - скорость счета  $I$ . 1 - экспериментальные точки; 2 - точки, взятые из расчетной кривой работы [2]. Кривые нормированы по максимуму. Величина угла пропускания  $\theta_0 = 1.07$  градуса отмечена стрелками.

Рис. 3. Энергетические спектры протонов, прошедших сквозь МКП при углах падения протонов относительно осей каналов МКП (в градусах). Кривая 1 - 0.02, 2 - 0.48, 3 - 0.94 и 4 - 1.4. Ординаты кривой 3 увеличены в 10 раз, кривой 4 в 40 раз. Части спектров 3 и 4, лежащие левее пиков, проведены в виде гладких кривых.

шейся вдвое меньшей толщиной и вдвое меньшим диаметром каналов (при сохранении величины  $\theta_0$ ), ширина кривой на половине ее высоты превышала расчетную (рис. 2) примерно на 25%. Представляется, что эту разницу следует отнести как за счет разности диапазонов энергий регистрируемых частиц, так и за счет меньшей „степени черноты“ стенок МКП для протонов, чем для  $\alpha$ -частиц.

На рис. 3 приведены энергетические спектры протонов, прошедших сквозь МКП при четырех углах падения относительно осей каналов. Видно, что при углах падения меньших угла пропускания (кривые 1-3) наблюдается четко выраженный пик протонов первичной энергии, величина которого быстро уменьшается с ростом угла падения и который полностью исчезает при угле, большем угла пропускания (кривая 4). На спектрах 3 и 4 ясно видны участ

ки, лежащие левее пиков и отвечающие протонам, потерявшим часть энергии в стенках каналов.

Понятно, что качество коллиматора определяется в первую очередь тем, в какой степени искажается энергетический спектр коллимируемых частиц в пределах угла пропускания. Из наших измерений следует, что с точностью до энергетического разрешения ППД ( в нашем случае 18–20 кэВ) уширения линии протонов первичной энергии в пределах угла пропускания не происходит.

Суммируя содержание настоящей работы можно сказать следующее.

1. Схема расчета коллимационных свойств МКП, развитая в работе [2], представляется корректной.

2. Не исключено, что коллиматоры на основе МКП могут оказаться полезными при изучении параметров горячей плазмы.

3. Для коллимации быстрых протонов предпочтительнее выбирать МКП с более толстой стенкой между каналами, что ведет при сохранении заданного угла пропускания к использованию МКП с большим диаметром канала и соответственно большей толщиной.

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

[1] H e i d b r i n k W.W., S t r a c h a n J.D. // Rev. Sci. Instr. 1981. V. 56. P. 501.  
[2] К а р у л и н Н.Е., К о н о в а л о в С.В., П у т в и н с к и й С.В. // ЖТФ. 1986. Т. 56. С. 904.

Поступило в Редакцию  
7 апреля 1989 г.  
В окончательной редакции  
5 ноября 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 4 26 февраля 1990 г.

06.3; 12  
© 1990

### НЕОХЛАЖДАЕМЫЕ ФОТОДИОДЫ НА ОСНОВЕ $InAs/InAsSb_p$ ДЛЯ СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА 2–3,5 МКМ

И.А. А н д р е е в, М.А. А ф р а и л о в,  
А.Н. Б а р а н о в, М.П. М и х а й л о в а,  
К.Д. М о и с е е в, И.Н. Т и м ч е н к о,  
В.Е. Ш е с т н е в, В.Е. У м а н с к и й,  
Ю.П. Я к о в л е в

Спектральный диапазон 2–4 мкм интересен с точки зрения практических применений, поскольку в этом интервале лежат полосы поглощения воды и многих промышленных вредных газов [1]. Поэтому актуальной задачей является разработка для этого диапазона