

## ВТОРИЧНОЭМИССИОННЫЕ ЗОНДЫ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПУЧКА В СИНХРОТРОНЕ

З. Л. Артемьева, В. Е. Писарев, К. Н. Шорин

В научной литературе последних лет имеются сообщения /1/ об использовании мониторов вторичной эмиссии для диагностики пучков электронов высоких энергий в линейных ускорителях. В описанных приборах вторичная эмиссия возникает при прохождении исследуемого пучка сквозь набор тонких металлических фольг нормально к их поверхности, а величина эмиттированного в наборе фольг тока (или заряда) используется для определения величины тока (заряда) пучка ускоренных частиц. В электронных циклических ускорителях высоких энергий применение тонких фольг в качестве датчиков тока ускоренных частиц, подобно описанным /1/, затруднено наличием мощного синхротронного излучения в камере ускорителя и циклическим характером взаимодействия пучка с датчиком, могущих вызвать быстрый износ рабочих участков фольг. Однако, и в этих условиях использование эффекта вторичной эмиссии для диагностики циркулирующих пучков электронов представляется возможным и достаточно эффективным в целом ряде режимов работы ускорителей этого типа.

В данной работе проведено экспериментальное исследование характеристик вторичноэмиссионных зондов, используемых для диагностики пучка в некоторых режимах работы синхротрона ФИАН с максимальной энергией 680 Мэв. Зонды отличаются крайней простотой конструкции и не требуют сложной электронной схемы обработки сигнала. Чувствительными элементами зондов являются металлические пластинки в отличие от /1/ толщиной  $0,3 + 1,0$  мм, а также стержни или трубки круглого сечения. Для увеличения чувствительности в зондах использован известный эффект /2/ возрастания коэффициента вторичной эмиссии при наклонном падении первичного пучка на эмиттирующую поверхность.

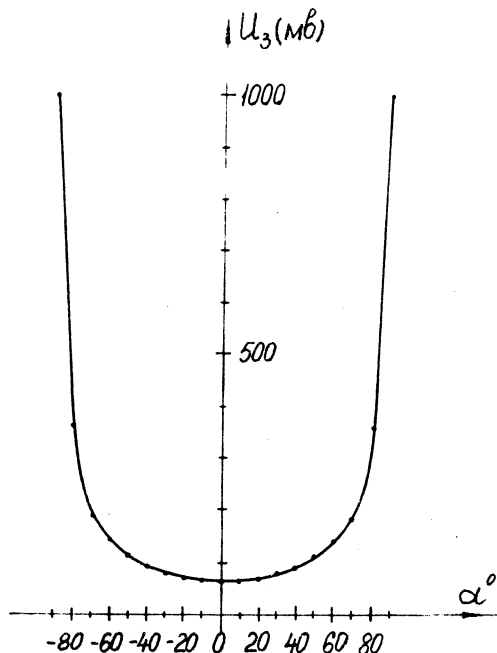
Исследуемые зонды размещаются в камере синхротрона около внутренней границы рабочей области и могут перемещаться по радиусу. По окончании процесса ускорения электроны пучка приближаются к внутренней границе рабочей области (относительно медленно под влиянием только потерь энергии на синхротронное излучение, или быстро при одновременном действии резонансной раскочки радиальных бетатронных колебаний) и, бомбардируя поверхность токочувствительных элементов зонда, вызывают в последнем вторичную электронную эмиссию.

Чувствительный элемент каждого зонда имеет изолированный вывод из вакуумной камеры и с помощью коаксиального кабеля присоединяется к осциллографу (со входным сопротивлением  $R$ , в описываемом случае равным  $0,5 \text{ Мом}$ ). Под влиянием вторичных электронов, уходящих с поверхности чувствительного элемента зонда, емкость  $C$  используемого отрезка кабеля (в условиях опытов  $C = 2600 \text{ пф}$ ) заряжается до напряжения  $U$  в течение интервала  $\tau$  времени взаимодействия пучка с зондом. В паузе между двумя соседними интервалами  $\tau$  емкость  $C$  разряжается с постоянной времени  $T = RC$ . Во всех опытах  $\tau \ll T$ , поэтому сигнал зонда  $U \approx Q/C$ , где  $Q$  — суммарный заряд частиц, покинувших чувствительный элемент зонда в течение интервала времени  $\tau$ . В свою очередь, заряд  $Q = kQ_y$ , где  $Q_y$  — заряд ускоренных частиц, упавших в течение того же интервала  $\tau$  на поверхность зонда, а  $k$  — коэффициент вторичной эмиссии чувствительного элемента зонда.

В экспериментах на синхротроне исследовались величины коэффициента  $k$  и сигнала  $U$ , их зависимость от энергии ускоренных электронов, а также возможность и степень увеличения  $k$  и  $U$  при наклонном падении первичного пучка электронов на поверхность зондов разной конструкции.

Зонд с чувствительным элементом в виде пластинки из тантала (толщиной  $1,2 \text{ мм}$ ) при нормальном падении исследуемого пучка на поверхность пластинки показал при энергии ускоренных электронов  $650 \text{ Мэв}$  коэффициент вторичной эмиссии  $k = 0,1$ , что соответствует амплитуде сигнала зонда  $60 \text{ мв}$  на каждые  $10^{10}$  электронов в первичном пучке. Коэффициент  $k$  не менялся при изменении энергии ускоренных электронов в диапазоне  $50 + 650 \text{ Мэв}$ .

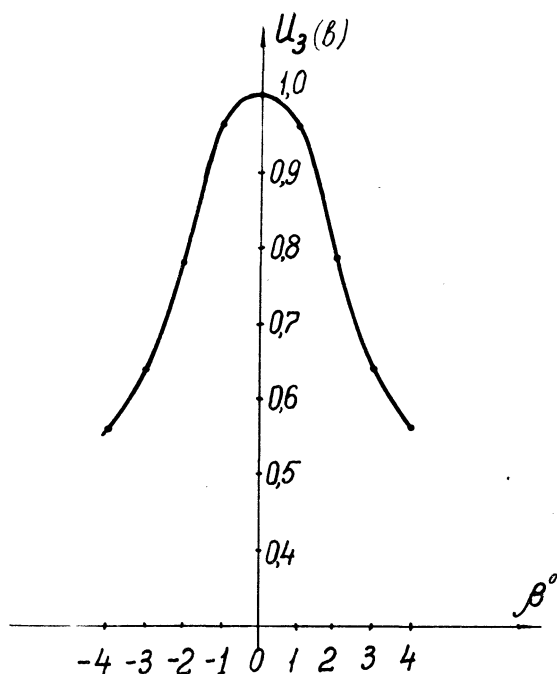
При меньших энергиях сигнал уменьшался и, перейдя через ноль при энергии  $\sim 8$  Мэв, становился отрицательным. Очевидно, при энергиях меньше 8 Мэв число электронов, поглощаемых данным



Р и с. 1. Зависимость чувствительности  $U_3$  плоского зонда от угла падения  $\alpha$  первичного пучка электронов.

зондом, превышает число вторично эмиттированных. На рис. 1 для этого же зонда при энергии электронов 650 Мэв (в режиме медленного сближения пучка с зондом) приведена зависимость чувствительности (сигнал  $U_3$  зонда, приведенный к интенсивности  $10^{10}$  электронов в импульсе) от угла падения пучка на поверхность зонда. Здесь угол  $\alpha = 0$  соответствует, как обычно, нормальному падению первичного пучка,  $\alpha = 90^\circ$  - случай движения пучка вдоль поверхности зонда. На рис. 2 приведена зависимость приведенной чувствительности  $U_3$  зонда от малых отклонений  $\beta$  угла падения  $\alpha$  первичного пучка от  $90^\circ$ .

Как видно из графиков, чувствительность датчика при увеличении угла  $\alpha$  от нуля до  $90^\circ$  (рис. 1) возрастает более чем в 15 раз. В то же время, при работе на угле  $\alpha = 90^\circ$  ошибка в угле  $\pm 1^\circ$  меняет чувствительность не более, чем на



Р и с. 2. Влияние небольших отклонений  $\beta$  угла падения первичного пучка от  $90^\circ$  на чувствительность плоского зонда.

5% (рис. 2). Однако, как показали дополнительные исследования, при угле  $\alpha = 90^\circ$  по сравнению с  $\alpha = 0$  существенно ухудшается характер зависимости чувствительности зондов от энергии ускоренных электронов. Например, при энергии 320 Мэв описанный выше зонд показал уменьшение чувствительности (относительно энергии 650 Мэв) примерно в 2 раза. Это обстоятельство в необходимых случаях требует дополнительной градуировки зондов, что всегда легко сделать с помощью пикап-электродов, измеряющих

интенсивность ускоряемого пучка электронов в каждом цикле ускорения. Работа зонда на промежуточных углах падения характеризуется зависимостью чувствительности  $U_z$  от энергии, более близкой к  $\alpha = 0$ , нежели  $\alpha = 90^\circ$ . Например, танталовый зонд - пластинка толщиной 0,3 мм при угле  $\alpha = 75^\circ$  в диапазоне энергий 150 + 600 Мэв показал приведенную к  $10^{10}$  электронов чувствительность  $U_z = 80 \div 110$  мв.

Для ряда применений были исследованы зонды круглого сечения. Эти зонды, в которых часть частиц первичного пучка имеет углы падения больше, чем  $\alpha = 0$ , обладают чувствительностью несколько большей, чем плоские зонды при  $\alpha = 0$ , но существенно меньшей, чем те же зонды при  $\alpha = 90^\circ$ . Однако, для исследований характеристик вертикального движения ускоренного пучка эти зонды в ряде случаев предпочтительнее плоских зондов с  $\alpha = 90^\circ$ , так как допускают вертикальное перемещение токочувствительной части в существенно более простой конструкции. Стержневой зонд аналогичного типа из вольфрама диаметром 2 мм показал приведенную чувствительность  $U_z = 115$  мв, практически не зависящую от энергии в диапазоне 150 + 600 Мэв.

Описанные зонды в синхротроне ФИАН успешно использовались для определения координат мгновенных орбит вблизи внутренней границы рабочей области синхротрона, для измерения доли раскачиваемых при резонансе частиц, для изучения вертикальной структуры пучка и в ряде других задач диагностики процесса ускорения.

Авторы благодарны проф. В. А. Петухову за содействие в выполнении работы.

Поступила в редакцию  
24 апреля 1972 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. Ю. М. Аркатов и др. ПТЭ, № 4, 27 (1966).
2. Г. Бриннинг. Физика и применение вторичной электронной эмиссии. "Советское радио", Москва, 1953 г.