

Рассмотренная система позволяет стабилизировать ток эмиссии пучка с точностью $\pm 0,02\%$. В этом случае флуктуации тока пучка на выходе пучки не превышают $\pm 0,07\%$ при $U_{\text{ан}} = \text{const}$ и $\pm 0,35\%$ при существующей нестабильности $U_{\text{ан}} \lesssim 0,2\%$.

Как показал опыт, энергетические и оптические параметры пучка при регулировании его интенсивности в диапазоне $0 \div 100\%$ при помощи цепи накал — эмиссия пучки (рис. 1) существенных изменений не претерпевают. В частности, изменение энергетического спектра на полувысоте при этом достигает $0,5\%$, что составляет сравнительно небольшую величину. Возможность регулирования тока пучка в процессе оперативной

перестройки ускорителя с относительной точностью $\sim 10^{-4}$ и высокая повторяемость результатов являются важными достоинствами системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. У. Кизилов, В. А. Скубко, А. Е. Толстой, ПТЭ, 1968, № 1, 117.
2. В. У. Кизилов, В. А. Скубко, В сб. Полупроводниковые приборы и их применение (под ред. Я. А. Федотова), 1967, вып. 17, «Советское радио».
3. В. А. Скубко, Г. А. Кутя, ПТЭ, 1969, № 5, 129.

Физико-технический институт АН УССР, Харьков.
Получено 25.IV.1972

УДК 621.3.032.266

ИЗМЕРЕНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ СКОРОСТЕЙ ЭЛЕКТРОНОВ В ИНТЕНСИВНОМ СТАЦИОНАРНОМ ПУЧКЕ

В. П. ГИНКИН, И. Н. МЕШКОВ, А. Н. СКРИНСКИЙ, В. Г. ФАЙНШТЕЙН

Описан метод измерения поперечных скоростей электронов, движущихся в продольном магнитном поле, при помощи импульсного отклонения пучка на анализирующее устройство. Устройство состоит из «диафрагмы» — пластинки с набором отверстий малого диаметра — и люминесцентного экрана, перемещаемого вдоль оси сброшенного пучка. Зависимость формы и размеров изображения от расстояния «диафрагма» — экран позволяет оценить поперечные скорости частиц в пучке. Получено разрешение около $5 \cdot 10^{-3}$.

При работе с интенсивным стационарным пучком электронов применимость прямых методов индикации (пробники, диафрагмирование и т. п.) ограничена, поскольку тепловая мощность, выделяющаяся на пробнике на несколько порядков выше допустимой. Совершенно исключено применение подобных методов в системах с рекуперацией энергии частиц [1]. Однако эти трудности удается обойти, применив кратковременное импульсное отклонение пучка на пробник. Если для транспортировки пучка применяется продольное магнитное поле, его можно использовать для расширения возможностей индикатора. В [1] описан подобный метод измерения поперечного пучка и средних поперечных скоростей частиц в пучке при помощи двухламельного пробника. Для измерения распределения поперечных скоростей ча-

стиц по сечению пучка можно использовать описанный ниже метод.

Пучок сбрасывается на «диафрагму» — пластину с сеткой одинаковых отверстий, вырезающих семейство тонких пучков диаметром d_i . На некотором расстоянии L от диафрагмы находится люминесцентный экран, который можно перемещать вдоль оси сброшенных пучков. Поскольку частицы в магнитном поле движутся по спиральной траектории с шагом

$$\lambda = 2\pi \left(\frac{pc}{eH} \right), \quad (1)$$

то при L , кратном λ , на экране возникает резкое изображение отверстий диафрагмы («резонанс» — рисунок, а).

Перемещая экран и измеряя диаметры изображений d_i , можно оценить разброс попе-

речных скоростей частиц в пучке, вырезаемом i -м отверстием

$$\frac{\Delta V_{\perp}}{V_{\parallel}} \approx \frac{\pi d_{i0}}{2\lambda} \left| 1 - \frac{\sqrt{\left(\frac{d_i}{d_{i0}}\right)^2 - \cos^2 \frac{\pi \Delta L}{\lambda}}}{\sin \frac{\pi \Delta L}{\lambda}} \right| \approx \frac{\pi}{2\lambda} (d_i - d_{i0}). \quad (2)$$

Здесь d_{i0} — диаметр изображения в резонансном случае, d_i — после перемещения на расстояние ΔL от резонанса (рисунок, б). Предполагается, что максимальные скорости имеют частицы, наиболее удаленные от оси отверстия. Смещение центра тяжести i -го изображения по мере движения экрана позволяет судить об изменении поперечной скорости по сечению основного пучка. Оценка производится по той же формуле (2) с заменой $d_i/2$ на значения r_i — расстояние центра изображения от оси отклоненного пучка.

Разрешение метода определяется несколькими эффектами. Прежде всего оно ограничено конечным размером отверстий в диафрагме. Кроме того, ореол от электронов, рассеянных на краях отверстия, может быть неотделим от истинного изображения — например, при нелинейной характеристике регистрирующего устройства (фотопленка). Если частицы в пучке монохроматичны, то в отклоненном пучке возникает дополнительный разброс поперечных скоростей

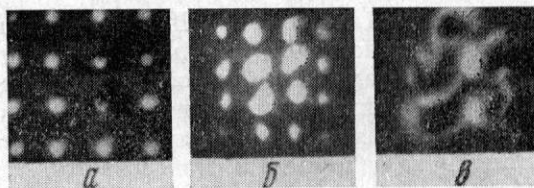
$$\frac{\Delta V_{\perp}}{V_{\parallel}} \approx 2\pi \frac{h}{\lambda} \frac{\Delta p}{p}. \quad (3)$$

Здесь p , Δp — средний импульс частиц и отклонение от него, h — величина смещения пучка на длине дефлектора l :

$$h = \begin{cases} lH_{\perp}/H & \text{для магнитного дефлектора} \\ clE_{\perp}/V_{\parallel}H & \text{для электростатического дефлектора} \end{cases} \quad (4)$$

Соотношение (3) налагает ограничение на величину смещения. В электростатическом дефлекторе, кроме того, возникает аналогичный эффект из-за действия электрического поля: пространство в дефлекторе не эквипотенциально, и частицы внутри дефлектора имеют разброс продольных составляющих импульса

$$\frac{\Delta p}{p} \approx \frac{eE_{\perp}x}{pV_{\parallel}} = \frac{2\pi hx}{\lambda l}, \quad (5)$$



Фотографии изображений на люминесцентном экране пучков, вырезанных диафрагмой. а — «резонанс», L кратно λ , согласованная энергия, б — $L \neq \lambda$, согласованный дефлектор. в — изображение при $l = L \neq \lambda$, несогласованный дефлектор

где x — расстояние траектории частицы на входе от плоскости нулевого потенциала.

Если отклоняющий импульс имеет протяженные фронты, вклад в одно и то же изображение дают разные участки пучка. Это ухудшает разрешение. Кроме того, если длина дефлектора не кратна λ (дефлектор не согласован), пучок после дефлектора имеет как целое поперечную скорость V_{\perp}

$$\frac{V_{\perp}}{V_{\parallel}} = 2\pi \frac{h}{\lambda} \cdot \frac{\Delta l}{l}; \quad \Delta l = l - n\lambda. \quad (6)$$

При этом изображения принимают форму «запятых» (рисунок, в) из-за того, что электроны, вырезаемые данным отверстием в разные моменты времени, переносятся в разные точки экрана. Согласование дефлектора производится подбором продольного магнитного поля и контролируется по исчезновению «запятых».

Эксперименты с пучком производились на установке, описанной в [1]. Анализировался пучок электронов с энергией около 50 кэВ и током до 0,3 а в магнитном поле около 160 э. Длина пластин электростатического дефлектора составляла 30 см (эффективная длина с учетом краев 30,5 см), расстояние между пластинами 3 см, ширина пластин 10 см. Диафрагма была выполнена из графита, отверстия имели ϕ 0,5 мм, расстояние между отверстиями составляло 2,5 мм.

Одиночные импульсы отклоняющего напряжения длительностью от 10 до 100 мксек и фронтом около 0,5 мксек подавались от парафазного генератора, регулируемая амплитуда напряжения 2×5 кВ обеспечивала смещение до 5 см. Энергия частиц в основном (неотклоненном) пучке была стабилизирована

на с точностью лучше 0,1%. Для обеспечения монохроматичности отклоненного пучка (установка работала по схеме рекуперации энергий [1]) к пушке подключался конденсатор емкостью 0,02 мкф. Это обеспечивало постоянную спада не менее 3 мсек и соответственно монохроматичность сброшенного пучка с точностью $3 \cdot 10^{-3} \div 3 \cdot 10^{-2}$ в зависимости от длительности импульса отклоняющего напряжения и тока пучка. Изображения на экране можно было наблюдать в зрительную трубу и фотографировать. Применявшийся способ съемки (открытый затвор фотоаппара-

та) позволял фотографирование лишь при токах до 50 ма из-за фонового свечения люминофора под действием рассеянных электронов.

В экспериментах получено разрешение $V_{\perp}/V_{\parallel} \sim 5 \cdot 10^{-3}$.

Литература

1. А. И. Аренишам, И. Н. Мешков, В. Г. Пономаренко, Р. А. Салимов и др. техн. физ., 1971, 41, № 2, 336.

Институт ядерной физики СО АН СССР,
Новосибирск. Получено 16.III.1972

УДК 621.384:537.533.8

МОНИТОРИРОВАНИЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПУЧКОВ ЭЛЕКТРОНОВ

В. А. СТРАТИЕНКО

Описан способ мониторинга интенсивных пучков электронов, основанный на детектировании электронов вторичной эмиссии, энергия которых много больше работы выхода электронов из эмиттера, так называемых δ -электронов.

Длительные измерения коэффициента эмиссии δ -электронов при энергии первичных электронов 30 Мэв дали отклонения от среднего значения в пределах нестабильностей измерительной аппаратуры $\sim 0,5\%$. При этом эмиттер (Al фольга толщиной 0,1 мм) устанавливался непосредственно в вакуумную систему ускорителя.

При существующем методе мониторинга параметров (тока, положения) пучка электронов по измерению электронов вторичной эмиссии [1 ÷ 6] трудно получить высокую (лучше 1%) стабильность показаний во времени. Это обусловлено тем, что основную долю в спектре вторичных электронов составляют электроны с энергией несколько эв. Их выход сильно зависит от состояния поверхности эмиттирующей фольги. Попытки стабилизировать работу выхода (использование в качестве эмиттера Au фольги, покрытие Au эмиттера из Al, автономная откачка до давления 10^{-8} тор) из эмиттера не дали возможности уменьшить ошибку в определении потока частиц ниже 0,3% при позолоченных эмиттерах [2] и 1 ÷ 3% — при алюминиевых [5]. При этом кратковременные нарушения вакуума в камере монитора приводят к изменениям чувствительности монитора более чем на 10% [2, 3].

В спектре вторичной эмиссии присутствуют электроны с энергией, существенно превосходящей работу выхода электронов из эмиттера [3, 5 ÷ 9]. Представляется разумным попробовать их использовать для повышения точности определения параметров высокоэнергетических пучков. Выход этой высокоэнергетической части электронов вторичной эмиссии не зависит от физико-химического состояния эмиттера, а определяется

только вероятностью рассеяния первичных высокоэнергетических частиц на электронах.

Для электронов с энергией 30 Мэв и толщиной эмиттера ≈ 10 мг/см² высокоэнергетическая часть электронов вторичной эмиссии (с энергией > 1 кэв) составляет 20 ÷ 50% от всей электронной эмиссии [7], т. е. уменьшение коэффициента вторичной эмиссии при запирании низкоэнергетических электронов на эмиттере несущественно. Как следует из [7, 8], зависимость коэффициента вторичной эмиссии от потенциала запирающего U_3 , подаваемого на прозрачные для первичного пучка сетки, испытывает насыщение при $U_3 \lesssim -100$ в. Это говорит о том, что число электронов вторичной эмиссии, замедленных тормозящим электрическим полем до энергии, сравнимой с величиной работы выхода, невелико в сравнении со всей высокоэнергетической частью вторичной эмиссии. Таким образом, переключая потенциал, подаваемый на «вытягивающие» электроды, с «+» на «-» у существующих мониторов вторичной эмиссии и изготавливая эти электроды в виде колец или сеток с высокой прозрачно-