

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ РАЗМЕРОВ ЭЛЕКТРОННОГО КОЛЬЦА ПО СВЕЧЕНИЮ ОСТАТОЧНОГО ГАЗА

С.И.Тютюнников, В.Н.Шалыпин

Описано устройство для оперативного контроля размеров электронного кольца по свечению остаточного газа, позволяющее настраивать размер релятивистского пучка электронов с током, превышающим 10 А, при давлении остаточного газа в интервале $10^{-5} \div 10^{-7}$ Торр. Размер светящейся области измеряется с помощью системы, состоящей из электронно-оптического преобразователя /ЭОП/ и диссектора, соединенных с помощью волоконно-оптического контакта. Показано, что пороговая освещенность системы ЭОП - диссектор на пять порядков ниже системы ЭОП - фотопленка.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Equipment for Operative Control of Electron Ring Size by Luminosity of Residual Gas

S.I.Tyutyunnikov, V.N.Shalyapin

Equipment for the operative control of the electron ring size by luminosity of residual gas is described. This equipment allows one to regulate the size of relativistic electron beam with current larger than 10 A at pressure of residual gas in the $10^{-5} \div 10^{-7}$ Torr interval. The size of the luminosity region is measured by means of the system consisting of electron-optic converter (EOC) and dissector connected with a fiber optic contact. The threshold illumination of the EOC-dissector system is by the order of 5 lower than EOC-photofilm.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Основной способ измерения профиля плотности пучка заряженных частиц - ламельный метод, основанный на измерении тока либо заряда с электродов /ламель/, расположенных равномерно по сечению пучка /см., например, ^{1/1} /. Однако измерения таким способом приводят к разрушению пучка. В работе ^{1/2/}, например, контроль тока пучка электронов проводился по измерению интенсивности свечения оста-

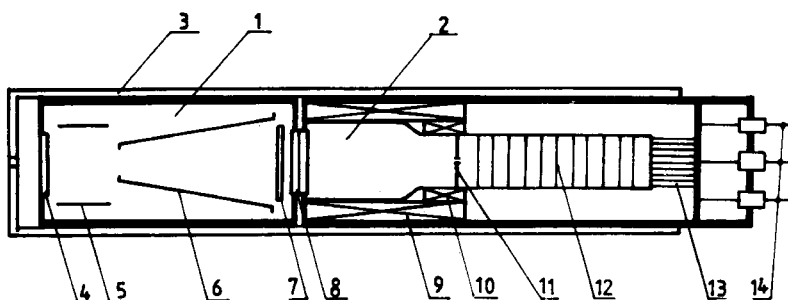


Рис. 1. Структурная схема системы ЭОП - диссектор. 1 - электронно-оптический преобразователь; 2 - диссектор; 3 - корпус - экран; 4 - волоконно-оптическая шайба; 5 - фокусирующий электрод; 6 - анод; 7 - микроканальная пластина; 8 - волоконно-оптическое соединение; 9 - фокусирующая катушка; 10 - катушка строчной развертки; 11 - щель диссектора; 12 - вторично-электронный умножитель; 13 - делитель; 14 - питание и выход системы.

точного газа /мощностью порядка 1 мВт/, возбуждаемого при соударениях с частицами пучка. Ясно, что профиль пространственного распределения этого свечения может дать информацию о размерах пучка.

Современные методы измерения пространственных параметров слабых световых потоков используют электронно-оптические преобразователи /ЭОП/. Регистрация изображения с ЭОПа ведется на фотопленку, что не дает достаточной оперативности. Оперативный съем информации необходим, в частности, при настройке и контроле размера пучка ускорителя. В настоящей работе предлагается проводить оперативный контроль размеров пучка частиц по измерению геометрии свечения остаточного газа с помощью ЭОПа, при этом съем информации с последнего проводить диссектором. На рис.1 показана структурная схема такого прибора. Световое излучение усиливается ЭОПом /1/ и, после прохождения волоконно-оптического соединения, анализируется диссектором /2/. Кроме оперативности, диссектор имеет преимущество в пороговой освещенности по сравнению с фотопленкой.

Оценим пороговую освещенность системы ЭОП - диссектор при регистрации сигнала с диссектора в счетном и токовом режимах.

Счетный режим. Зададимся соотношением сигнал/шум диссектора

$$\Psi = \sqrt{N_{\text{фэ}} \tau_p K_{\text{ЭОП}}} \quad //$$

где $N_{\text{фэ}}$ - число фотоэлектронов; τ_p - время регистрации /в секундах/; $K_{\text{эоп}}$ - коэффициент усиления ЭОПа. Известно, что

$$N_{\text{фэ}} = S_{\lambda} E_{\lambda} / e, \quad /2/$$

где S_{λ} - интегральная чувствительность фотокатода диссектора к излучению люминофора ЭОПа; E_{λ} - пороговая освещенность; e - заряд электрона.

Из /1/ и /2/ получаем

$$E_{\lambda} = e \Psi^2 / \tau_p K_{\text{эоп}} S_{\lambda}. \quad /3/$$

Например, при $K_{\text{эоп}} = 10^4$ /ЭОП с микроканальной пластиной /МКП//, $S_{\lambda} \approx 3 \times 10^{-2}$ А/Вт (многощелочной фотокатод, люминофор типа К-67 /3/) и $\Psi = 10$ получаем

$$E_{\lambda} \approx 5 \cdot 10^{-20} \cdot \tau_p^{-1} \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2}. \quad /4/$$

Токовый режим. В этом случае $\Psi = S_{\lambda} E_{\lambda} / j_T$, где j_T - ток термоэмиссии с фотокатода ЭОПа. Тогда получаем

$$E_{\lambda} = j_T \Psi / S_{\lambda}. \quad /5/$$

Например, при $K_{\text{эоп}} = 10^4$, коэффициенте усиления диссектора $K_d = 2 \times 10^6$, $S_{\lambda} = 3 \cdot 10^{-2}$ А/Вт, $j_T \approx 10^{-16}$ А/Вт², $\Psi = 10$ получаем $E_{\lambda} \approx 10^{-14}$ Вт/см². В то же время известно, что пороговая плотность энергии фотопленки типа РФ-3 составляет 10^{-9} Дж/см² /3/. При $K_{\text{эоп}} = 10^4$ получаем пороговую освещенность системы ЭОП - фотопленка

$$E_{\lambda} \approx 10^{-13} \cdot \tau_p \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2}. \quad /6/$$

Сравнивая /4/ и /6/, получаем выигрыш системы ЭОП - диссектор в шесть порядков по пороговой освещенности по сравнению с системой ЭОП - пленка. Токовый режим регистрации выгодно использовать при коротких временах регистрации. При τ_p порядка 10^{-5} с пороговые освещенности счетного и токового режима сравниваются, в то же время сохраняется преимущество в три порядка по сравнению с использованием фотопленки.

В работе использовалась система ЭОП - диссектор, имеющая следующие основные параметры. Фотокатод ЭОПа - сурьмяно-цезиевый, диссектора - многощелочной. Оба фотокатода имеют диаметр 25 мм. ЭОП имел в качестве усилителя потока электронов МКП. Запитка ЭОПа статическим напряжением - стандартная, на МКП подавался импульс напряжения $U_{\text{МКП}}$ до +1,2 кВ с длительностью 250 мкс. Схема генератора описана в работе /4/. Характерное время высвечивания люминофора ЭОПа 20 мкс /спад интенсивности в е раз/. Вырезающее

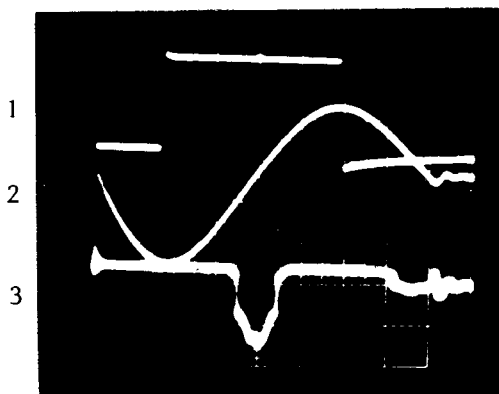


Рис. 2. Временная схема питания. 1 - импульс питания МКП; 2 - импульс питания развертки диссектора; 3 - сигнал с диссектора, развертка - 50 мкс/дел.

прямоугольное отверстие диссектора /щель/ имело размеры $3 \times 0,1$ мм. Фокусирующая катушка запитывалась постоянным током. Диссектор использовался в однострочном режиме. На рис. 2 показана временная диаграмма подачи напряжения на МКП и катушку строчной развертки диссектора. Разрешение всей системы иллюстрируется рис. 3 и составляет не менее 4 штрих/мм. Сигнал с диссектора при равномерной освещенности фотокатода 30 Па показан на рис. 4. Диссектор использовался в токовом режиме, сигнал регистрировался осциллографом на нагрузку сопротивлением $R_H = 1 \text{ кОм}$.

Пороговая освещенность системы проверялась с помощью лампы СИ6-10 и составляла примерно $E_\lambda = 10^{-12} \text{ Вт/см}^2$. Увеличение пороговой освещенности по сравнению с расчетной объясняется, в основном, наличием излучающих дефектов на экране 30 Па .

Описанная система 30 П - диссектор использовалась для регистрации аксиальных размеров кольцевого пучка электронов коллективного ускорителя тяжелых ионов /КУТИ-20/ при захвате его в магнитное поле адгезатора. На рис. 5 показана схема измерений: электронное кольцо 2 диаметром 70 см формировалось в камере адгезатора 1, излучение остаточного газа выводилось через окно 3, отражалось от зеркала 4, фокусировалось в масштабе 1:8 линзами 5 и попадало на фотокатод 30 Па 6. На рис. 6 показан момент времени включения системы измерений. В мо-

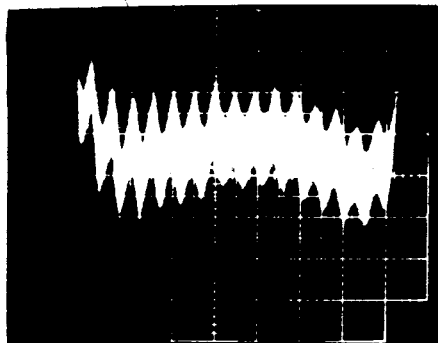


Рис. 3. Развертка 1 мкс/дел, пространственный масштаб 0,6 мм/мкс.

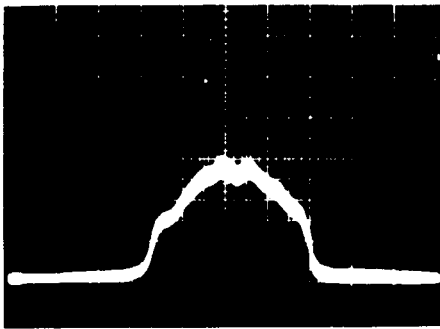


Рис. 4. Развертка
10 мкс/дел, пространственный масштаб 0,6 мм/мкс.

мент инжекции пучка в адгезатор возникает мощная вспышка тормозного излучения мощностью $\approx 10^4$ Р/с и оптического излучения мощностью ≈ 1 Вт, связанного с потерями электронов. Это излучение, в основном, оптическое, приводило к насыщению прибора при времени регистрации до 50 мкс после инжекции.

Поэтому измерения проводились в интервале времени от 50 мкс до 2,5 мс после инжекции вплоть до высадки пучка на стенки адгезатора. Давление остаточного газа изменялось от $p \approx 10^{-7}$ Торр /пороговое давление, соответствующее пороговой освещенности/ до $p \approx 10^{-5}$ Торр.

На рис.7 показаны три типичных сигнала с диссектора при измерении в момент времени 500 мкс после инжекции пучка. Давление остаточного газа в камере $p \approx 2 \cdot 10^{-6}$ Торр, ток пучка 50 А. Из рис.7 видно, что размер пучка изменяется при различных настройках ускорителя. К аналогичному эффекту расширения пучка приводит действие устройства сброса, вызывающего раскачку пучка. В различных сеансах размер светящейся области /полуразмер на полувысоте/ изменялся от 17 до 35 мм.

Основные погрешности измерений размера определяются:

- 1/ несовершенством светосильной оптической системы, в основном, сферической aberrацией светосильной оптики;
- 2/ фоновой засветкой второй половины кольца, которую можно убрать с помощью перегородки.

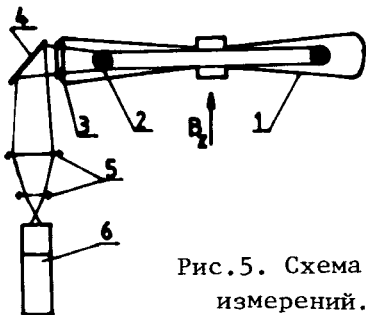


Рис.5. Схема измерений.

С учетом разрешения системы эти ошибки составляют 30% и приводят к уширению изображения. Для восстановления истинного профиля плотности пучка необходимо учесть неравномерность чувствительности системы по полю изображения /рис.4/, а также то обстоятельство, что на фотокатод свет попадает от всего видимого объема сектора кольца

по полю зрения, т.е. происходит суммирование по хордам сечения кольца.

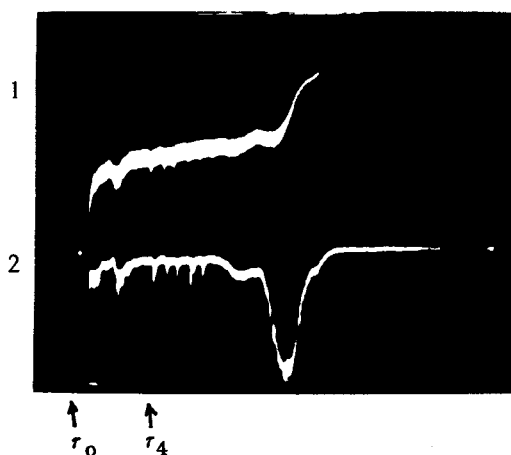


Рис. 6. Осциллограмма импульсов. 1 - сигнал оптического излучения; 2 - сигнал тормозного излучения; τ_0 - время инъекции пучка, τ_4 - время измерений, развертка - 500 мкс/дел.

Дальнейшее развитие системы предполагает сведение к минимуму указанных погрешностей. Кроме того, данная система может использоваться для кон-

троля размеров кольца при его сжатии в магнитном поле адгезатора. Низкая пороговая освещенность прибора позволяет использовать его для регистрации пространственных параметров любых импульсных слабосветящихся объектов. В частности, возможно измерение параметров излучения ионов электронно-ионных колец в диапазоне длин волн от видимого света до рентгеновского излучения.

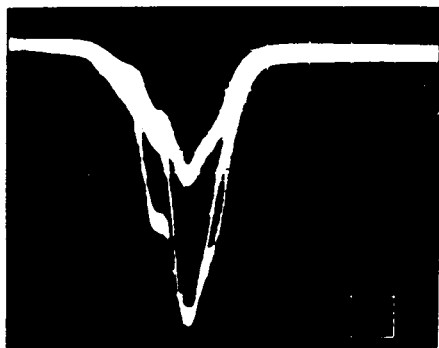


Рис. 7. Развертка 10 мкс/дел, пространственный масштаб 0,6 мм/мкс.

Авторы выражают благодарность Л.П.Шустерман и А.Ф.Бейлину за разработку высококачественного диссектора со стекловолоконной шайбой.

Литература

1. Александров В.С. и др. ОИЯИ, 9-82-709, Дубна, 1982.
2. Казаринов Н.Ю. и др. Труды рабочего совещания по проблемам коллективного метода ускорения, ОИЯИ, Д9-82-664, Дубна, 1982, с.16.
3. Новицкий Л.А., Степанов Б.М. Фотометрия быстропротекающих процессов. "Машиностроение", М., 1983.
4. Сердюченко Ю.Н., Чевочкин В.К., Щелев М.Я. Препринт ФИАН, № 29, М., 1977.

Рукопись поступила 24 июня 1986 года.