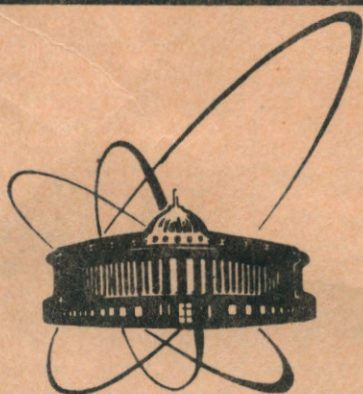


91-301



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

P9-91-301

В.Цамбел, М.А.Воеводин, В.И.Дацков,
А.Д.Коваленко, А.А.Ларин, Ш.З.Сайфулин

СИСТЕМЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЧКОВ
НА ОСНОВЕ ПРИБОРОВ С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ

1991

В современных средствах диагностики пучка заряженных частиц значительное место занимают устройства с двойным преобразователем энергии исследуемого пучка в электрический сигнал. К числу таких устройств относятся полупроводниковые приборы с зарядовой связью (ПЗС) ¹¹.

Процесс преобразования оптического изображения в видеосигнал при помощи ПЗС выгодно отличается от ряда других приборов (электронно-лучевых трубок, видиконов, матриц из фотодиодов и т.п.), а именно: монокристалл кремния имеет высокий квантовый выход в широком спектральном диапазоне, процесс сканирования изображения ведется под действием электрических управляющих импульсов низкого напряжения, матрица ПЗС имеет высокое пространственное разрешение, потребляет малую мощность и удобна в эксплуатации благодаря своей компактности. К достоинствам ПЗС можно отнести также механическую прочность, стойкость к ударам и вибрациям, надежность, относительную дешевизну и длительный срок службы.

Линейность светооптического преобразования, жесткость раstra и стабильность во времени делают ПЗС высокоточным измерителем профиля и пространственного распределения пучков заряженных частиц. Преобразователи изображения на ПЗС позволяют осуществить пространственную дискретизацию оптической информации с формированием сигналов, пропорциональных интенсивности светового потока в каждой точке проецируемого изображения. Свойство ПЗС запоминать полученную информацию и последовательно выводить ее позволяет осуществить стыковку оптической системы обработки информации с различными устройствами, в том числе и с ЭВМ ¹².

Использование в качестве преобразователей кварцевых или керамических люминофоров позволяет исследовать пучки в ускорителях с высоким вакуумом ¹³.

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Структурная схема установки приведена на рис.1. Пучок ускоренных частиц попадает на мишень, изготовленную из люминофорного экрана, обладающего большим световыходом и высокой линейностью световой характеристики. Часть энергии пучка переводится в энергию оптического диапазона волн и направляется с помощью зеркала и объектива на ПЗС-матрицу, находящуюся в холодной камере.

2

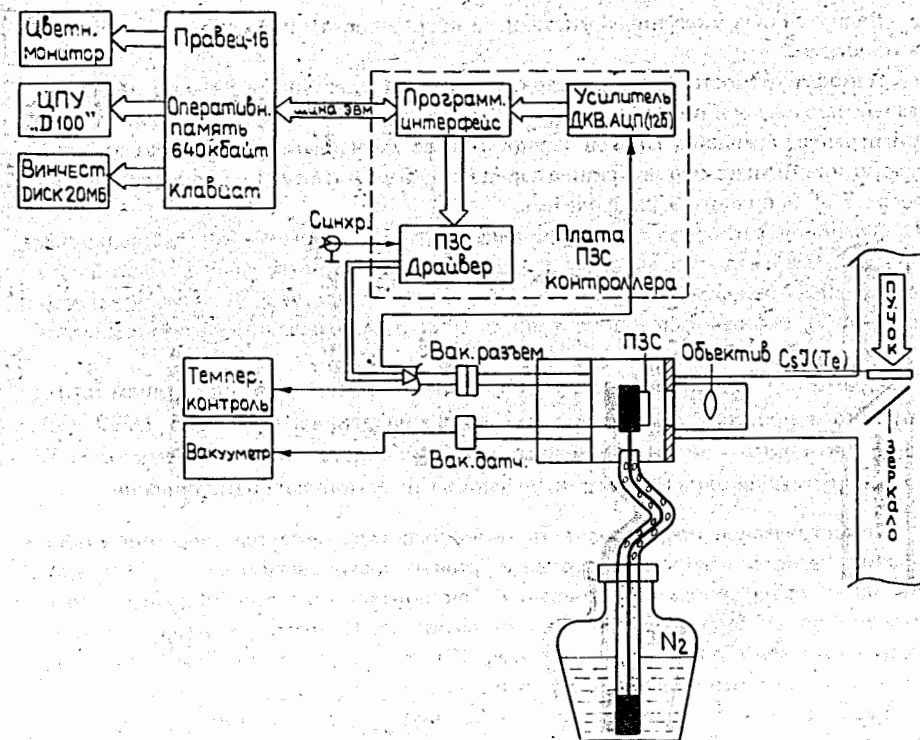


Рис. 1. Структурная схема установки.

Управление ПЗС-приемником изображения и обработки видеосигнала (усиление, коррелированная двойная выборка, 12-разрядный АЦП) осуществляется платой контроллера ПЗС, сопряженной с системной шиной персонального компьютера "Правец-16". В состав ЭВМ входит операционная память 640 кБайт, клавиатура, флоппи-диск, винчестер 20МБ, принтер Д-100 и цветной монитор.

Управление работой камеры синхронизировано с режимом работы ускорителя.

Основным узлом измерительной системы является малогабаритная охлаждаемая вакуумная ПЗС-камера с приемником изображения МАС 1256 ("Тесла") производства ЧСФР. Матричная структура МАС 1256 имеет 256x256 фоточувствительных элементов размером 24x24 мкм. С целью повышения чувствительности ПЗС-матрицы и стабильности ее работы осуществлен ряд мероприятий, направленных на устранение некоторых недостатков, присущих ПЗС-структурам. К числу таких недостатков следует отнести: неэффективность переноса заряда, нестабильную величину темнового тока как во времени, так и в плоскости матрицы.

Дадим анализ указанным указанным погрешностям и предложим методы их уменьшения.

Неэффективность переноса заряда является следствием захвата заряда на разных ловушках в полупроводнике и в относительных величинах она возрастает при переносе меньших пакетов заряда. Для ее уменьшения используют электрическую или оптическую инжекцию заряда в пустую ячейку до уровня, составляющего 2...4 % полного заряда ячейки.

Темновой ток заполняет потенциальные ячейки термически возбуждаемым зарядом. Понизить его можно охлаждением ПЗС-структуры благодаря экспоненциальной зависимости темнового тока от температуры¹⁴. Так, например, при -40°C уровень темнового тока в 1000 раз меньше, чем при комнатной температуре.

Временная неоднородность темнового тока является следствием стохастического процесса термического образования заряда. Примерно 1/200 часть всего темнового тока — временная неоднородность или шум темнового тока. Минимальный шум ПЗС-структур зависит от технологии изготовления.

Геометрическая неоднородность темнового тока является следствием образования разного количества заряда в разных фоточувствительных элементах при одинаковых условиях считывания. Такое количество для избранного фотоэлемента при постоянных условиях не меняется. Поэтому, предварительно записав карту темнового тока всех ячеек (DC-map) приемника, можно использовать ее в дальнейшей обработке видеосигнала.

Геометрическая неоднородность чувствительности является неоднородностью в количестве заряда, возникающего в разных фотоэлементах при однородном освещении всей структуры. Блок данных, содержащих эту информацию, назовем картой чувствительности (S-map).

Из вышесказанного можно рекомендовать оптимальный режим работы ПЗС-структуры:

- с помощью холода необходимо уменьшить темновой ток (в нашем случае температура матрицы составляла -60°);
- с помощью вспомогательного небольшого заряда в пустующих ячейках повышается эффективность переноса заряда из любой ячейки;
- необходимо записать карту темнового тока (DC-map) при рабочей температуре и интеграционном времени;
- записать карту чувствительности (S-map) при рабочей длине волны;
- результат, записанный в блоке данных End Pic, получим как разницу блока входных данных за вычетом картины (Beg Pic) и карты темнового тока DC-map, деленной на карту чувствительности S-map.

С помощью программы осуществляется управление ПЗС, схемой обработки видеосигналы собираются, обрабатываются по алгоритму, реализующему вышеуказанные требования. Программа написана на языках Турбо-паскаль (верс.5) и Ассемблер. В памяти выделены четыре блока по 64 кБ (256x256x8 бит;

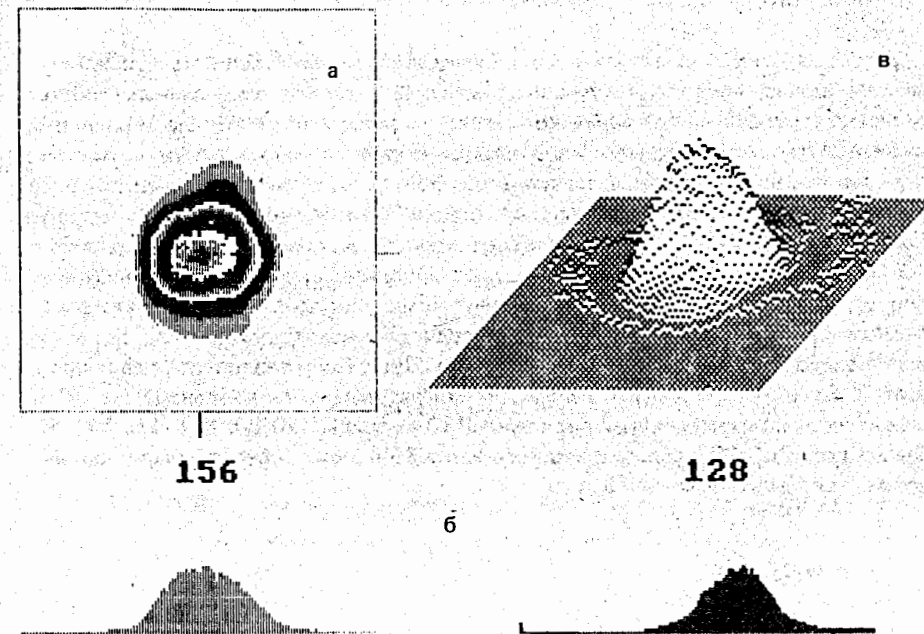


Рис. 2. Представление информации о пучке протонов диаметром 2 см в канале инжекции синхрофазотрона: а — поперечное сечение с градацией по плотности частиц (в оригинале — цветное изображение); б — распределение плотности частиц по горизонтали и вертикали; в — трехмерное изображение профиля пучка.

DC-map, S-map, Beg Pic, End Pic). Все операции связаны с этими блоками. Во время записи новых данных пользователь устанавливает бит меньшего значения (0-4), определяя этим 8 из 12 бит, использованных как входные данные каждой ячейки блока.

В основные функции программы входят копирование, сравнение и очистка блоков, чтение и запись блоков на диск, вычисление среднего значения и среднего квадратического отклонения в блоке, нормализация блока, запуск ПЗС-структуры, интегрирование заряда с определенными параметрами и, наконец, изображение изотермии блоков данных с их сечениями в направлениях X, Y и трехмерное изображение.

Типовые примеры изображения экрана дисплея приведены на рис.2.

КРИОГЕННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАМЕРЫ

Криогенная система состоит из цилиндрической вакуумной камеры с оптическим окном, гибкого вакуумного сильфона с теплоизолированным гибким медным проводом, цилиндрического штока с теплопроводом и адсорбционным насосом. Вся система имеет общий вакуум, получаемый при погружении штока в дьюар с жидким азотом. В качестве адсорбента используется активированный уголь типа АГ-2 с размерами гранул $\phi 2 \times 6$ мм. В вакуумном объеме 3 л достигается вакуум $10^{-4} - 10^{-5}$ мм.рт.ст. Длина сильфонного шланга может достигать 1-3 м. В качестве гибкого теплопровода использован многожильный медный провод типа ПЩ сечением 6 мм². Теплоприток к подложке с ПЗС-матрицей и гибкому теплопроводу из-за теплопроводности конструктивных элементов и теплового излучения оценивается в 2/3 Вт. При общем теплопритоке в жидкий азот 3 Вт и регулируемом перепаде температуры на теплопроводе 50-100 К можно получить температуру подложки ПЗС-матрицы 120-170 К ($-150-100^{\circ}$ С). Дьюар типа СДП-25 с запасом жидкого азота 25 л может обеспечить функционирование системы в течение 15 суток.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эксперименты, проведенные на пучках синхрофазотрона, показали, что порог чувствительности описанной системы с использованием электрооптического преобразователя УМ-42М в качестве светового предусилителя составит $1 \cdot 10^4$ ядер углерода/см², прошедших люминофор CsJ(Tl) с энергией 10 ГэВ/нуклон. На пучке инжектора при ускорении протонов энергией 20 МэВ порог чувствительности составил $2,0 \cdot 10^7$ пр./см² без предварительного усиления света.

Использование люминофоров из окиси алюминия, активированных хромом, позволит увеличить чувствительность описанной системы, т.к. спектральная чувствительность ПЗС-структуры будет совпадать со спектром излучения указанного люминофора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пресс Ф.П. — *Формирователи видеосигнала на приборах с зарядовой связью*. М.: Радио и связь, 1981.
2. Буриев Н.Т. и др. — *Сообщение ОИЯИ Р13-87-396, Дубна, 1987.*
3. Боровков С.Д. и др. — *Препринт ИФВЗ 90-34, Серпухов, 1990.*
4. Цамбел В., Дацков В.И. — *Сообщение ОИЯИ 8-89-657, Дубна, 1989.*

Рукопись поступила в издательский отдел
1 июля 1991 года.

Цамбел В. и др.

P9-91-301

Системы для исследования пространственных характеристик пучков на основе приборов с зарядовой связью

Разработана система для диагностики поперечных размеров и распределения плотности частиц, основанная на использовании охлаждаемой ПЗС-матрицы, работающей в диапазоне длин волн 400–1100 нм. Система используется для мониторинга пучков на ускорительном комплексе синхрофазотрона в диапазоне интенсивностей пучков $10^3 \div 10^{12}$ частиц/см² и в диапазоне энергий $10 \div 10^4$ МэВ. Охлаждение ПЗС-матрицы приводит к уменьшению собственных шумов матрицы и обеспечивает длительный режим хранения и интегрирования заряда в ячейке ПЗС. В работе дано краткое описание состава аппаратуры, программного обеспечения, криогенной и оптической части системы.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1991

Перевод авторов

Cambel V. et al.

P9-91-301

Systems for Research of Spatial Beam Characteristics Based on CCD

A system for the on-line diagnostics of spatial sizes and particle density distribution based on a cooled CCD camera operating over a wavelength interval of 400–1100 nm has been developed. It was tested for beam monitoring at the Synchrophasotron accelerating complex in an intensity range of $10^3 \div 10^{12}$ part./cm² and for energies of $10 \div 10^4$ MeV. CCD matrix cooling leads to lower noises and provides a longer storage in a CCD pattern. The system hardware, software, cryogenic and optical parts are also described.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1991