

УДК 539.1.074

## ДЕТЕКТОРЫ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ НА ПУЧКЕ СИ

© 2021 г. Д. В. Кудашкин<sup>a, b, \*</sup>, А. С. Аракчеев<sup>a, b</sup>, В. М. Аульченко<sup>a, b</sup>,  
В. В. Жуланов<sup>a, b</sup>, Б. П. Толочко<sup>c, b</sup>, Л. И. Шехтман<sup>a, b</sup>

<sup>a</sup>Институт ядерной физики им. Будкера СО РАН, Новосибирск, 630090 Россия

<sup>b</sup>Новосибирский государственный университет, Новосибирск, 630090 Россия

<sup>c</sup>Институт химии твердого тела и механохимии, Новосибирск, 630090 Россия

\*e-mail: kudashkindmitrii@yandex.ru

Поступила в редакцию 18.06.2020 г.

После доработки 22.08.2020 г.

Принята к публикации 26.08.2020 г.

Описаны систематические измерения основных параметров прототипа микрополоскового кремниевого детектора DIMEX-Si, предназначенного для изучения быстропротекающих процессов на пучке СИ. Были оценены динамический диапазон, пространственное разрешение и временные параметры детектора. Произведено сравнение параметров прототипа кремниевого детектора с газовой версией DIMEX-G. Максимальный поток, который может быть измерен кремниевым детектором, в 40 раз выше, чем у газового детектора. Пространственное разрешение кремниевого детектора составляет 130 мкм, а газового детектора – 250 мкм. Оценка временного разрешения кремниевого детектора составляет 15 нс, в то время как для газового детектора это значение ~50 нс. Все характеристики DIMEX-Si измерялись при длительности цикла работы 25 нс. Приведены результаты первых испытаний полноформатного кремниевого детектора для дифракционных исследований, работающего в интегрирующем режиме со скоростью до 2 Мкадров/с. Сенсор содержит 1024 полоски длиной 30 мм с шагом 50 мкм, 512 полосок соединены со считывающей электроникой на основе чипа APC128. Каждый такой чип содержит 128 каналов, которые состоят из малошумного интегратора с 32 аналоговыми ячейками памяти. Показана возможность визуализации сигналов от одиночных фотонов и электронов от источников Cd<sup>109</sup> и Si<sup>90</sup>.

**Ключевые слова:** синхротронное излучение, детекторы синхротронного излучения, быстропротекающие процессы.

DOI: 10.31857/S1028096021040087

### ВВЕДЕНИЕ

Для наблюдения быстропротекающих процессов на пучке синхротронного излучения (СИ) требуются детекторы, способные регистрировать СИ от одного сгустка и не смешивать сигналы от различных сгустков, чтобы получать информацию об изменении состояния вещества в изучаемом объекте с очень высоким временным разрешением. Временная зависимость потока СИ определяется длиной и количеством электронных сгустков в накопителе. Такие эксперименты проводятся в ИЯФ СО РАН уже более 15 лет на ускорителе ВЭПП-3 и более восьми лет на ускорителе ВЭПП-4м [1]. Схематический вид этих экспериментов показан на рис. 1. Пучок СИ от вигглера проходит через блок коллиматора, где образуется узкий плоский луч. Затем луч проходит через взрывную камеру с Ве-окном толщиной 1 мм с последующими специальными защитными

диафрагмами после входного окна и перед выходным окном. Взрывная камера на канале 0 пучка ВЭПП-3 позволяет взрывать до 50 г тринитротолуола (ТНТ) или его эквивалента. После прохождения взрывной камеры луч попадает в детекторный блок с быстрым затвором, который открывает пучок только на время ~100 мкс в течение эксперимента. Пучок СИ, открываемый быстрым затвором, попадает в детектор.

Целью экспериментов является восстановление вариаций плотности в взрывающемся образце с временным масштабом 10–100 нс.

Накопитель ВЭПП-4м работает с электронными пучками с энергиями до 4.5 МэВ и током до 20 мА (в двух сгустках). В будущем энергия будет увеличена до 5 ГэВ, а ток пучка будет увеличен до 20 мА в каждом сгустке. На рис. 2 приведены расчетные энергетические спектры фотонов на входе в детектор для ускорителей ВЭПП-3 и ВЭПП-4м.

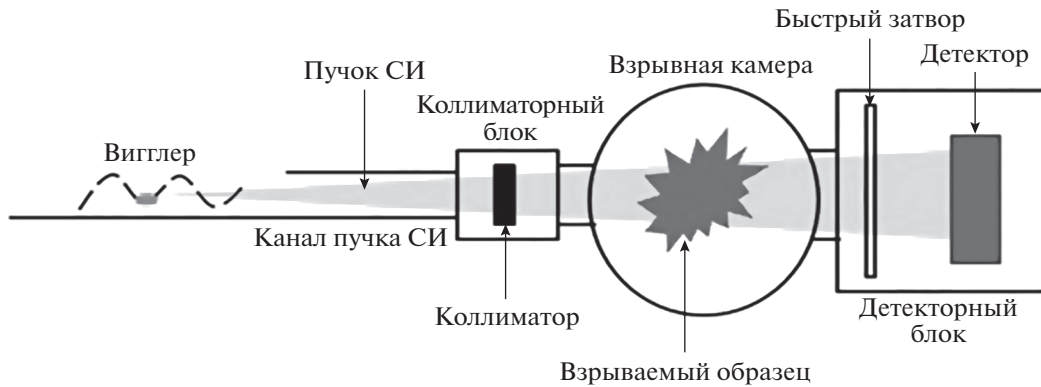


Рис. 1. Схематическое изображение эксперимента по рентгенографии взрываемого образца.

Как видно из рис. 2, полный поток фотонов на ВЭПП-4м больше, чем на ВЭПП-3 в  $\sim 55$  раз, кроме того, спектр на ВЭПП-4м имеет значительно большую долю высокоэнергетических фотонов.

В настоящее время наиболее известны разработки детекторной группы Swiss Light Source (SLS), реализуемые через компанию Dectris для экспериментов на пучке синхротронного излучения, это однокоординатные детекторы MYTHEN и Gotthard [2, 3]. MYTHEN – детектор, работающий в режиме счета отдельных фотонов с кремниевым сенсором и временем записи 89 мкс. Поскольку в экспериментах по изучению быстропротекающих процессов, проводимых в ИЯФ, регистрируется существенно больше одного фотона в канале от каждого сгустка электронов в накопителе и необходимо различать сигналы от каждого сгустка, этот детектор не подходит для использования.

Gotthard – интегрирующий детектор с кремниевым сенсором, частотой записи до 4.5 МГц и динамическим диапазоном до  $12.4 \times 10^4$  кэВ. Его частоты записи и динамического диапазона не хватает для исследования взрывных процессов. Поэтому специально для экспериментов по исследованию быстропротекающих процессов на пучке СИ в Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН был создан детектор DIMEX (Detector for Imaging of Explosions – детектор для изучения взрывов), способный регистрировать СИ от одного сгустка и не смешивать сигналы от различных сгустков. Кроме того, этот детектор предоставляет возможность получать информацию об изменении состояния вещества в изучаемом объекте с очень высоким временным разрешением. В настоящий момент для экспериментов используется газовая версия DIMEX-G [3–8].

Использование газовой технологии накладывает ограничения на параметры DIMEX-G. В частности, из-за поперечной диффузии электронов первичной ионизации в газе простран-

ственное разрешение ограничено значением 240 мкм, а из-за продольной диффузии временное разрешение ограничено 80 нс. При потоках, превышающих загрузки на ВЭПП-3 более чем в 100 раз, газовый детектор работать не может [9]. Основная проблема газового детектора заключается в накоплении медленных положительных ионов в чувствительном объеме при большой загрузке и, как следствие, в экранировке электрического поля и прекращении дрейфа электронов. Для устранения этой проблемы было принято решение перейти на твердотельную технологию и разработать детектор, основанный на кремниевом микро-полосковом сенсоре [10]. Прототип такого детектора был разработан и поставлен на пучок.

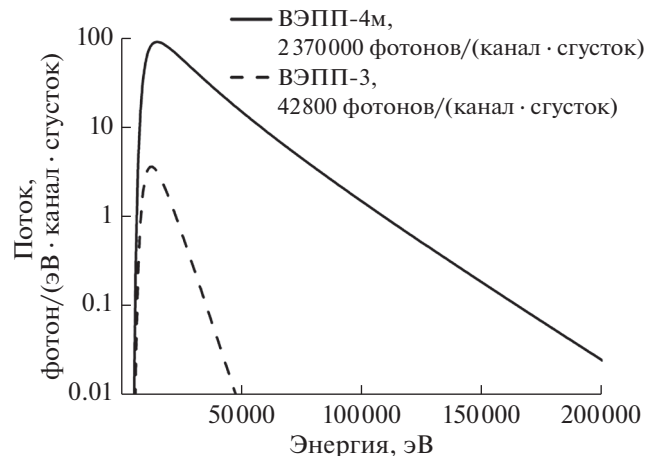


Рис. 2. Энергетические спектры СИ на ВЭПП-3 и ВЭПП-4м. Спектр излучения на ВЭПП-3 рассчитан для тока пучка 100 мА, энергии электронов 2 ГэВ, расстояния от источника до детектора 22 м, фильтрации пучка СИ 0.1 мм алюминия и 2 м воздуха, размера канала детектора  $0.1 \times 0.5$  мм. Спектр излучения на ВЭПП-4м рассчитан для тока пучка 20 мА, энергии электронов 4.5 ГэВ, расстояния от источника до детектора 43 м, фильтрации пучка СИ 6.3 мм бериллия и 3 м воздуха, размера канала детектора  $0.05 \times 0.5$  мм.

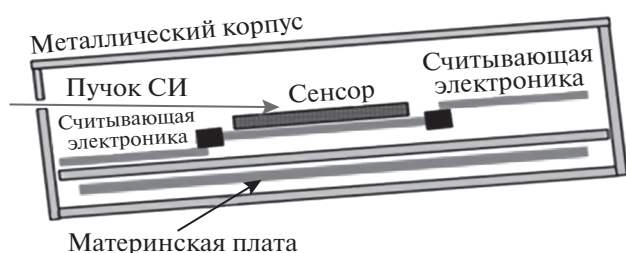


Рис. 3. Схематическое изображение DIMEX-Si.

### ИСПЫТАНИЯ ПРОТОТИПА ДЕТЕКТОРА DIMEX-Si

Подвижность электронов и дырок в кремнии намного выше, чем у электронов и ионов в газе. Пространственное разрешение может быть улучшено из-за снижения диффузии и уменьшения шага считывающих электродов, проявление эффектов объемного заряда в кремнии начинаются при гораздо более высокой загрузке, чем в газе под давлением (из-за более высокой подвижности положительных носителей).

Первый прототип кремниевого микрополоскового детектора состоит из сенсора, включающего в себя 1024 полоски, 96 из которых были соединены микросваркой с входами специально разработанного чипа DMXS6A. Считывающие полоски расположены с шагом 50 мкм, толщина сенсора составляет 320 мкм. Схема детектора приведена на рис. 3. Каждая полоска сенсора соединена с охранным кольцом, окружающим чув-

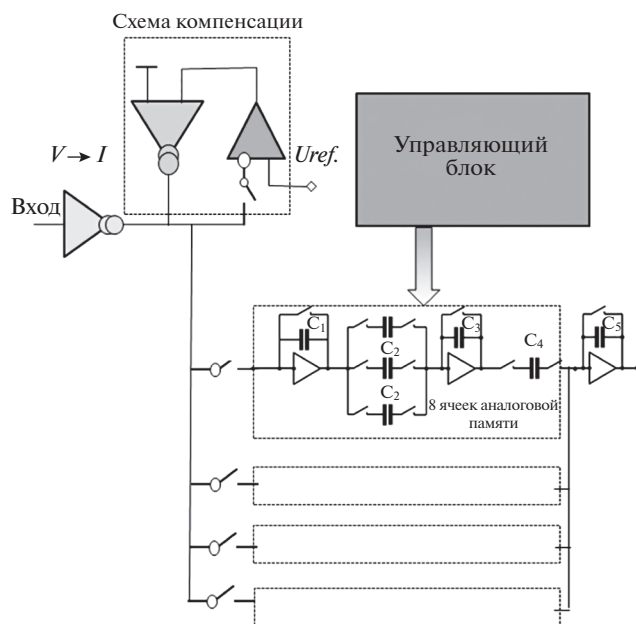


Рис. 4. Блок-схема одного канала чипа для кремниевого микрополоскового детектора.

ствительную зону сенсора по периметру, через сопротивление 240 Ом. Охранное кольцо присоединяется к нулевому полюсу питания детектора. Такая схема обеспечивает шунтирование больших импульсов тока, возникающих при взаимодействии интенсивного пучка СИ с сенсором. Импульсы напряжения на резисторах 240 Ом поступают на вход чипов DMXS6A через последовательный резистор 10 кОм.

Блок-схема канала чипа DMXS6A показана на рис. 4. Чип содержит шесть каналов регистрации. Каждый канал имеет преобразователь напряжение–ток на входе, схему стабилизации, четыре интегратора, схему сброса и аналоговую память. Полный цикл одного интегратора составляет 80 нс, поэтому для улучшения временного разрешения интеграторы переключаются каждые 20 нс. Выход каждого интегратора может быть подключен к одной из восьми ячеек аналоговой памяти. Таким образом, каждый канал чипа содержит  $4 \times 8$  ячеек аналоговой памяти. Во время пролета сгустка электронов в накопителе замыкается ключ интегратора, емкость обратной связи интегратора размыкается, заряд накапливается в емкости; через 20 нс вход интегратора размыкается и замыкается на следующем интеграторе. После размыкания входа интегратора сигнал с него записывается в ячейку аналоговой памяти. Когда заполняются все  $4 \times 8$  ячеек памяти, данные передаются в компьютер. Цикл завершается, когда приходит команда остановки с компьютера.

Результаты измерений на пучке ВЭПП-4м с прототипом DIMEX-Si приведены ниже. На рис. 5 показана зависимость сигнала, измеренного детектором в одном канале, от расчетной величины поглощенного потока фотонов. Поглощенный

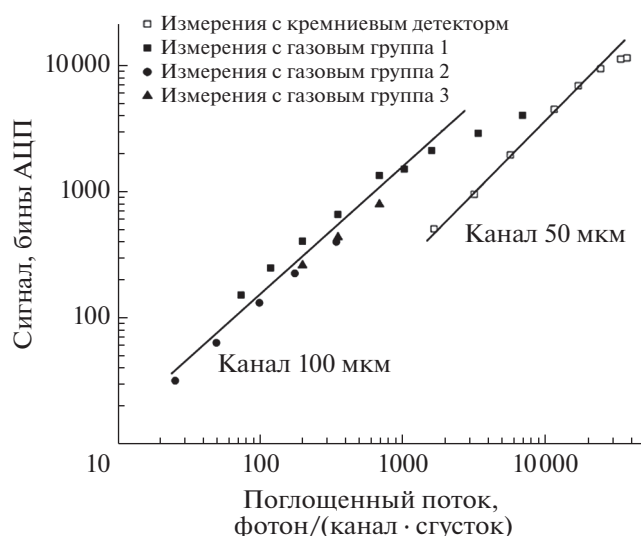
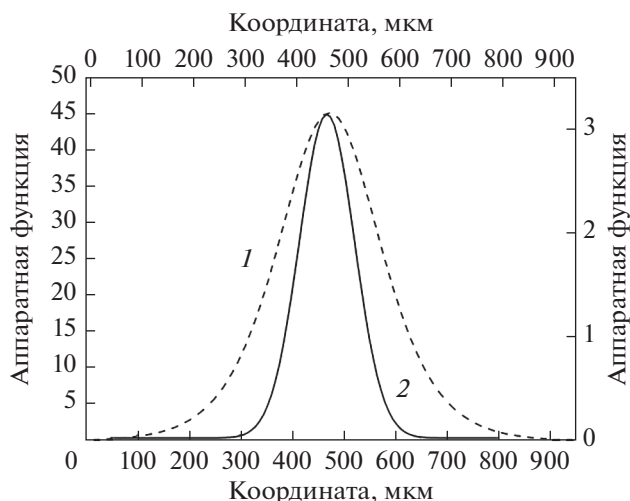


Рис. 5. Сигнал в DIMEX-G и DIMEX-Si в зависимости от поглощенного потока фотонов.



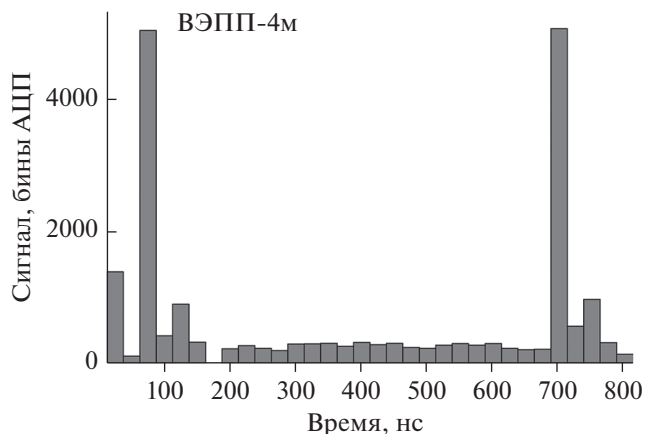
**Рис. 6.** Сравнение аппаратных функций газового детектора (левая и нижняя шкалы) и кремниевого детектора (правая и верхняя шкалы). ШПВ для газового детектора (1) ~240 мкм, для кремниевого детектора (2) ~130 мкм.

поток рассчитан с использованием мониторингового детектора и рассчитанных энергетических спектров. Из рис. 5 видно, что максимальный поток для кремниевого детектора в 40 раз больше, чем для газового.

Пространственное разрешение детекторов измерялось методом непрозрачного края. При этом вплотную к детектору был укреплен “нож” из стали толщиной 4 мм, который перегораживал пучок в направлении, перпендикулярном его плоскости. Перед измерением пространственного разрешения детекторы были отъюстированы так, чтобы направление полосок считывающей структуры совпало с направлением пучка СИ. После проведения измерения результирующая зависимость подгонялась гладкой функцией. Производная от этой функции является изображением тонкого пучка (аппаратной функцией), а ее ширина на полувысоте (ШПВ), величиной, характеризующей разрешение. Аппаратные функции детекторов приведены на рис. 6.

На рис. 7 показана зависимость сигнала от времени для одного канала DIMEX-Si. Каждый бин на горизонтальной шкале соответствует длительности экспозиции одного кадра, которая в данном измерении равнялась 25 нс. Время между сгустками составляет 625 нс. Видно, что основная часть сигнала регистрируется в течение одного цикла работы детектора (одного бина на горизонтальной шкале). Таким образом, продемонстрирована способность детектора работать с частотой кадров 40 МГц.

Приведенные результаты измерений основных характеристик показывают, что кремниевый



**Рис. 7.** Зависимость сигнала от времени. Сигнал наблюдался каждые 625 нс, и основная часть сигнала находится внутри бина шириной 25 нс.

микрорешетчатый детектор значительно превосходит по своим характеристикам газовую версию DIMEX-G. В частности, предельный регистрируемый от одного сгустка поток фотонов в кремниевом детекторе превосходит аналогичный параметр газового детектора в ~30 раз. При этом в кремниевом детекторе поток ограничен насыщением интеграторов, поэтому изменение резистивного делителя на входе канала даст возможность увеличить предельный регистрируемый поток. В случае газового детектора предельный поток ограничен накоплением объемного заряда ионов, что является принципиальным ограничением газовой технологии. Проблемой настоящей версии кремниевого детектора является избыточный шум электроники, что хорошо видно на рис. 6. Величину сигнала можно надежно измерить, начиная с величин около 500 бинов АЦП, в отличие от газового детектора, где сигнал надежно выделялся из шума при величине 20–30 бинов АЦП. Эта проблема в ближайшем будущем будет решена соответствующей корректировкой регистрирующих специализированных микросхем.

#### ДЕТЕКТОР ДЛЯ ДИФРАКЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Для изучения свойств материалов при воздействии на них термической нагрузки требуется разработать специальный детектор, который был бы способен регистрировать динамические процессы с характерным временем 1–10 мкс. Такой детектор, в частности, требуется для изучения эрозионных процессов и механизмов деградации стенки термоядерного реактора при воздействии на нее горячей плазмы.

На ускорительном комплексе ВЭПП-4м проводятся дифракционные эксперименты на монокристаллах вольфрама. В этих экспериментах по-

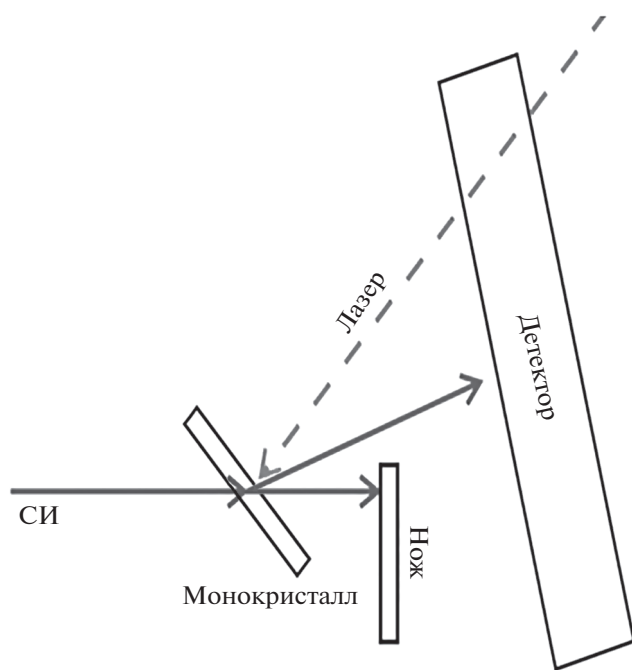


Рис. 8. Схема дифракционных экспериментов на монокристалле вольфрама.

ток фотонов на 3–4 порядка ниже, чем в детонационных экспериментах, а временной масштаб составляет 1–10 мкс. Первоначально для этих экспериментов использовался детектор DIMEX-G. Однако этот детектор разрабатывался в основном для регистрации прямого пучка СИ, прошедшего через взрывающийся образец. Соответственно, чувствительность регистрирующей электроники у DIMEX-G такова, что детектируемый поток фотонов в одном канале от одного сгустка составляет от 30 до 1500 фотонов. В дифракционных экспериментах по изучению термического воздействия на вольфрамовый образец характерные значения потока фотонов от одного сгустка составляют 1–10 фотонов. Поэтому необходимо создать детектор с более высокой чувствительностью, и в то же время он должен работать в интегрирующем режиме, поскольку в каждом канале от одного сгустка регистрируется более одного фотона.

Схема экспериментов приведена на рис. 8. Монокристалл вольфрама просвечивается пучком СИ так, что на детекторе наблюдается дифракционный рефлекс. С помощью лазера осуществляется импульсный нагрев монокристалла вольфрама, а смещение положения и изменение формы рефлекса наблюдается на детекторе [11].

Первый прототип детектора для дифракционных экспериментов был изготовлен и испытан в 2016 году. Кремниевый микрополосковый сенсор толщиной 320 мкм с полосками длиной 30 мм и шагом 50 мкм был присоединен к электронике на

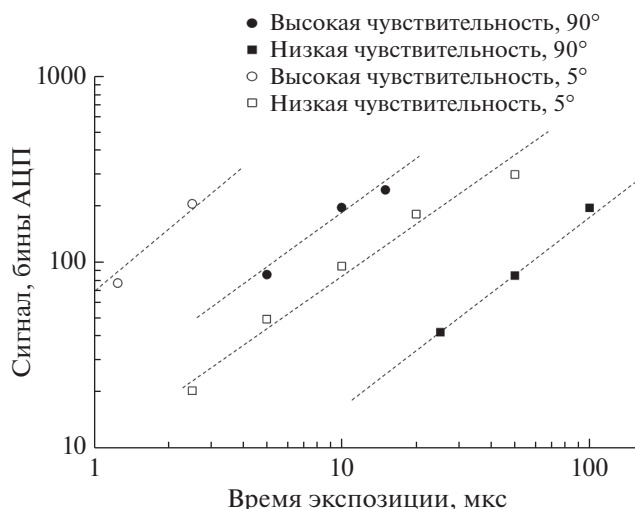


Рис. 9. Зависимость сигнала от времени экспозиции для различных режимов работы детектора.

основе чипов APC128, аналогичной той, что используется для детекторов DIMEX-G. Прототип имел 64 канала с шагом 100 мкм (каждая вторая полоска сенсора была присоединена ко входу электроники) [12]. Алгоритм работы этого прототипа аналогичен алгоритму детектора DIMEX-Si с тем ограничением, что на один канал здесь приходится один интегратор, кроме того, микросхема APC128 в целом медленнее, чем DMXS6A, поэтому минимальная длительность цикла работы этих чипов составляет 500 нс [13].

На рис. 9 представлен сигнал как функция времени экспозиции кадра для разных режимов электроники и для разного угла наклона детектора по отношению к лучу (разная эффективность). Сравнивая данные для одинаковых положений детектора и различной чувствительности, можно сделать вывод, что отношение чувствительности близко к 10, как и должно быть в соответствии с отношением емкостей обратной связи интеграторов в двух изучаемых режимах [12]. Сравнивая данные одной и той же чувствительности с различными положениями детектора, мы видим, что сигнал выше с коэффициентом  $\sim 5$  для положения под углом  $5^\circ$  между детектором и лучом из-за увеличения длины активной зоны. Апертура первого прототипа составляла всего 6.4 мм, что недостаточно для проведения экспериментов. Результаты измерений показывают, что принцип, положенный в основу этого детектора, работает, а динамический диапазон предложенного детектора достаточен для проведения быстрых дифракционных экспериментов.

В 2018 году был запущен полноформатный прототип кремниевого детектора для дифракционных экспериментов с характерным временем 1–10 мкс. Кремниевый сенсор, аналогичный то-



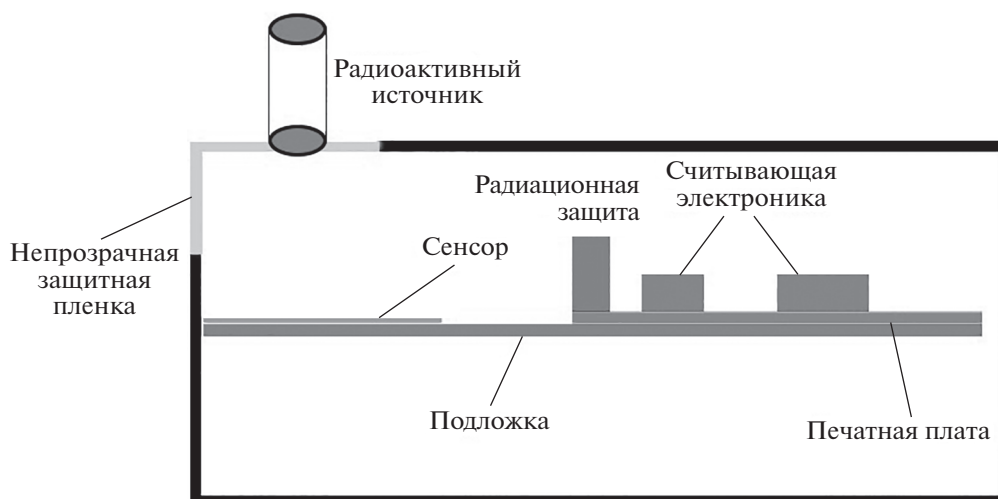


Рис. 10. Схема детектора для дифракционных экспериментов.

му, что был применен для первого прототипа, содержал 1024 полоски, 512 из которых были присоединены ко входам чипов APC128. Расположение элементов детектора схематично представлено на рис. 10.

Было выполнено тестирование детектора с использованием изотопов  $^{109}\text{Cd}$  и  $^{90}\text{Sr}$  (рис. 11, 12). Показано, что сигналы от одиночных фотонов с энергией 88 кэВ и электронов с энергией до 2.3 МэВ выделяются на уровне шума. Максимальный сигнал от электронов энергии 2.3 МэВ соответствует ~6600 бинов АЦП при рабочем напряжении на сенсоре 100 В. Это соответствует калибровочному коэффициенту ~0.35 кэВ/бин АЦП или ~250 бинов АЦП для фотонов  $^{109}\text{Cd}$  с энергией 88 кэВ (рис. 11).

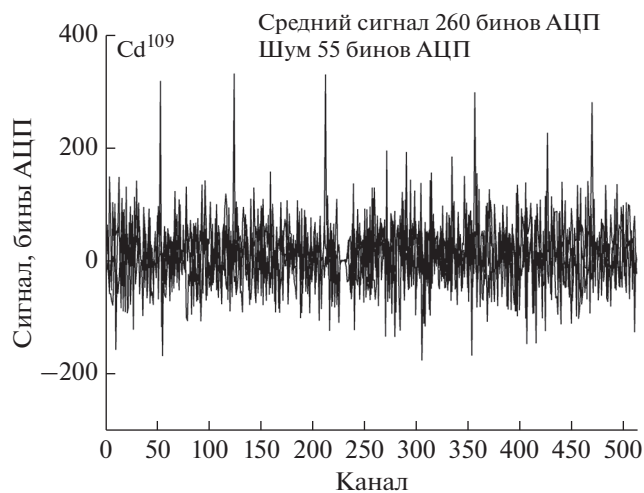


Рис. 11. Сигнал от излучения радиоактивного источника  $^{109}\text{Cd}$ , фотоны с энергией 88 кэВ.

При изменении напряжения смещения на сенсоре можно наблюдать изменение эффективности сбора заряда при облучении детектора электронами 2.3 МэВ или фотонами 88 кэВ. Так, на рис. 13 видно, что сигнал от электронов 2.3 МэВ выходит на плато при напряжении смещения 40 В, и с точностью до ошибок измерения значение сигнала при дальнейшем увеличении напряжения не меняется.

В отличие от сигналов от электронов с энергией 2.3 МэВ, сигналы от фотонов с энергией 88 кэВ плохо отделяются от шума электроники. Средний сигнал от фотона составляет ~260 бинов АЦП, тогда как среднеквадратичное отклонение шумового сигнала равно 55 бинов АЦП. Тем не менее, если представить зависимость числа зарегистрированных сигналов выше определенного порога от

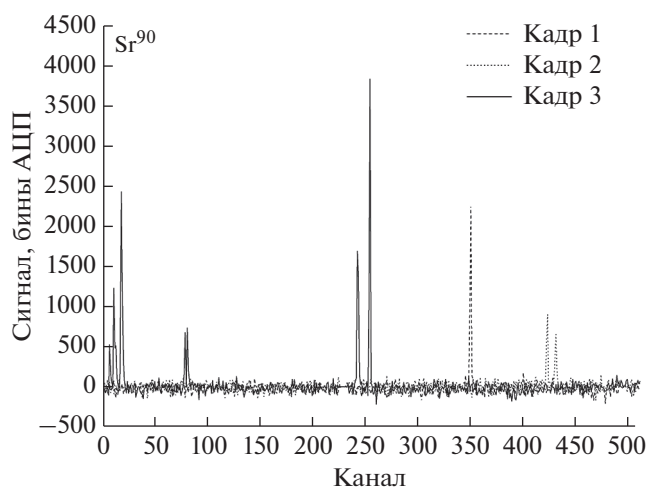


Рис. 12. Сигнал от излучения радиоактивного источника  $^{90}\text{Sr}$ , электроны с энергией 2.3 МэВ.

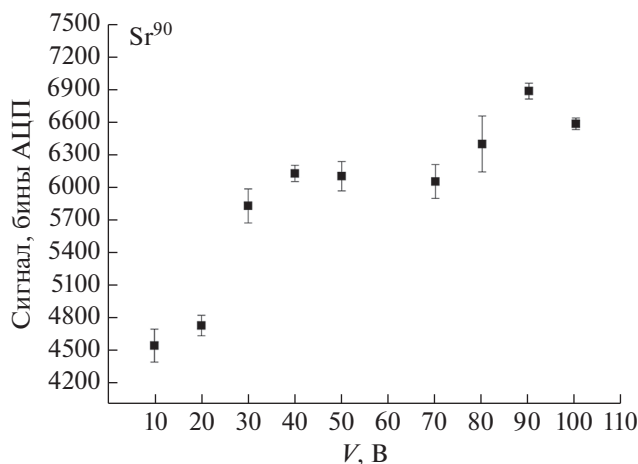


Рис. 13. Максимальный сигнал от радиоактивного источника  $^{90}\text{Sr}$  при различном подаваемом на детектор напряжении смещения.

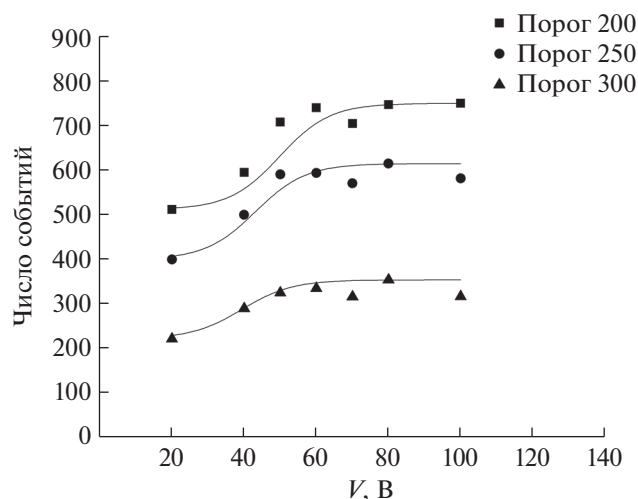


Рис. 14. Число событий выше определенного порога от радиоактивного источника  $^{109}\text{Cd}$  при различном подаваемом на детектор напряжении смещения.

напряжения смещения на детекторе, видно, что при увеличении напряжения происходит рост числа зарегистрированных фотонов, и эта величина выходит на плато при напряжении 50 В (рис. 14). Таким образом, выбранная рабочая точка 100 В должна обеспечить стабильную работу детектора.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Измерения, проведенные на первом прототипе кремниевого детектора для изучения быстропротекающих процессов DIMEX-Si показали, что этот детектор по всем параметрам значительно превосходит газовый детектор. Максимальный поток СИ, который может быть измерен

кремниевым детектором, больше в  $\sim 20$  раз, пространственное разрешение лучше в  $\sim 2$  раза и временное разрешение лучше в  $\sim 3$  раза. В дальнейшем предполагается увеличить максимальный регистрируемый поток СИ за счет соответствующего изменения резистивного делителя на входе электроники регистрации и понизить шум канала регистрации, чтобы добиться увеличения динамического диапазона до величины  $10^3$ .

Полноформатный детектор для дифракционных экспериментов был собран и испытан. Показано, что с его помощью можно наблюдать сигналы от одиночных фотонов с энергией 88 кэВ. Ранее было показано, что принцип, положенный в основу этого детектора, работает, и динамический диапазон предложенного детектора достаточен для проведения быстрых дифракционных экспериментов. В настоящее время ведется подготовка к экспериментам с этим детектором на пучке СИ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Piminov P.A., Baranov G.N., Bogomyagkov A.V., Berkaev D.E., Borin V.M., Dorokhov V.L., Karnev S.E., Kiselev V.A., Levichev E.B., Meshkov O.I., Mishnev S.I., Nikitin S.A., Nikolaev I.B., Sinyatkin S.V., Vobly P.D., Zolotarev K.V., Zhuravlev A.N. // *Physics Procedia*. 2016. V. 84. P. 19. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2016.11.005>
2. Bergamaschi A., Cervellino A., Dinapoli R., Gozzo R., Henrich B., Johnson I., Kraft Ph., Mozzanica A., Schmitt B., Shi X. // *J. Synchrotron Radiation*. 2010. V. 17. P. 653. <https://doi.org/10.1107/S0909049510026051>
3. Zhang J., Andrä M., Barten R., Bergamaschi A., Brückner M., Dinapoli R., Fröjdh E., Greiffenberg D., Lopez-Cuenca C., Mezza D., Ramilli M., Redford S., Ruat M., Ruder C., Schmitt B., Shi X., Thattil D., Tinti G., Turcato M. // *J. Instrumentation*. 2018. V. 13. P. 01025. <https://doi.org/10.1088/1748-0221/13/01/P01025>
4. Aulchenko V., Evdokov O., Ponomarev S., Shekhtman L., Ten K., Tolochko B., Zhogin I., Zhulanov V. // *Nucl. Instrum. Methods*. 2003. V. A 513. P. 388. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2003.08.067>
5. Aulchenko V., Zhulanov V., Shekhtman L., Tolochko B., Zhogin I., Evdokov O. // *Nucl. Instrum. Methods*. 2005. V. A 543. P. 350. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2005.01.254>
6. Aulchenko V.M., Evdokov O.V., Shekhtman L.I., Ten K.A., Tolochko B.P., Zhogin I.L., Zhulanov V.V. // *J. Instrumentation*. 2008. V. 3. № 5. P. 05005. <https://doi.org/10.1088/1748-0221/3/05/P05005>
7. Aulchenko V.M., Evdokov O.V., Shekhtman L.I., Ten K.A., Tolochko B.P., Zhogin I.L., Zhulanov V.V. // *Nucl. Instrum. Methods*. 2009. V. A 603. P. 73. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2008.12.163>
8. Аульченко В.М., Евдоков О.В., Жогин И.Л., Жуланов В.В., Прууэл Э.Р., Толочко Б.П., Тэн К.А., Шехтман Л.И. // Приборы и техника эксперимента. 2010. № 3. С. 20.

9. Aulchenko V.M., Baru S.E., Evdokov O.V., Leonov V.V., Papushev P.A., Porosev V.V., Savinov G.A., Sharafutdinov M.R., Shekhtman L.I., Ten K.A., Titov V.M., Tolochko B.P., Vasiljev A.V., Zhogin I.L., Zhulanov V.V. // Nucl. Instrum. Methods. 2010. V. A 623. P. 600. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2010.03.083>
10. Shekhtman L.I., Aulchenko L.I., Kudryavtsev V.N., Kutovenko V.D., Titov V.M., Zhulanov V.V., Prueel E.L., Ten K.A., Tolochko B.P. // Physics Procedia. 2016. V. 84. P. 189. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2016.11.033>
11. Aulchenko V., Prueel E., Shekhtman L., Ten K., Tolochko B., Zhulanov V. // Nucl. Instrum. Methods. 2017. V. A 845. P. 169. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2016.05.096>
12. Arakcheev A.S., Ancharov A.I., Aulchenko V.M., Bugaev S.V., Burdakov A.V., Chernyakin A.D., Evdokov O.V., Kasatov A.A., Kosov A.V., Piminov P.A., Polosatkin S.V., Popov V.A., Sharafutdinov M.R., Shekhtman L.I., Shmakov A.N., Shoshin A.A., Skovorodin D.I., Tolochko B.P., Vasilyev A.A., Vyacheslavov L.N., Zhulanov V.V. // Physics Procedia. 2016. V. 84. P. 184. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2016.11.032>
13. Arakcheev A., Aulchenko V., Kudashkin D., Shekhtman L., Tolochko B., Zhulanov V. // J. Instrumentation. 2017. V. 12. P. 06002. <https://doi.org/10.1088/1748-0221/12/06/C06002>
14. Horisberger R., Pitzl D. // Nucl. Instrum. and Methods. 1993. V. A 326. P. 92. [https://doi.org/10.1016/0168-9002\(93\)90338-I](https://doi.org/10.1016/0168-9002(93)90338-I)

## Detectors to Study Fast-Floating Processes on the SR Beam

**D. V. Kudashkin<sup>1,2,\*</sup>, A. S. Arakcheev<sup>1,2</sup>, V. M. Aulchenko<sup>1,2</sup>, V. V. Zhulanov<sup>1,2</sup>,  
B. P. Tolochko<sup>2,3</sup>, L. I. Shekhtman<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Budker Institute of Nuclear Physics, SB RAS, Novosibirsk, 630090 Russia*

<sup>2</sup>*Novosibirsk State University, Novosibirsk, 630090 Russia*

<sup>3</sup>*Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry, Novosibirsk, 630090 Russia*

\*e-mail: kudashkindmitrii@yandex.ru

This paper describes systematic measurements of the main parameters of the prototype microstrip DIMEX-Si silicon detector, designed to study fast processes on a synchrotron radiation (SR) beam. The dynamic range, spatial resolution and temporal parameters of the detector were evaluated. A comparison of the parameters of the prototype silicon detector with the gas version of DIMEX-G was made. The maximum flux which can be measured by a silicon detector is 40 times higher than one of a gas detector. The spatial resolution of the silicon detector is 130 microns, and the gas detector – 250 microns. The estimate of the time resolution of the silicon detector is 15 ns, while for a gas detector this value is about 50 ns. All characteristics of DIMEX-Si were measured with a cycle time of 25 ns. The results of the first tests of the full-format silicon detector for diffraction studies, operating in an integrating mode at a speed of up to 2 Mframes/s, are also given. The sensor contains 1024 strips 30 mm long with a step of 50 microns, 512 of these strips are connected to the readout electronics based on the APC128 ASIC. Each chip contains 128 channels, which consist of a low-noise integrator with 32 analog memory cells. The possibility of visualization of signals from single photons and electrons from <sup>109</sup>Cd and <sup>90</sup>Sr sources was shown.

**Keywords:** synchrotron radiation, detectors of SR, high-speed processes.