

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ СВОЙСТВ НОВЫХ МИКРОПИКСЕЛЬНЫХ ЛАВИННЫХ ФОТОДИОДОВ

А.А. ДОВЛАТОВ

Институт Физики им. академика Г.М. Абдуллаева

НАН Азербайджана

Баку, Az-1143, пр.Г.Джавида-33

Bu işdə Zecotek Photonics Inc. (Canada) kompaniyası ilə birgə hazırlanmış yeni mikropikselli selvari fotodiodların fotoelektrik xassələrinin temperatur asılılığı tədqiq olunmuşdur. Müəyyən olunmuşdur ki, fotodiodların tədqiq olunan iki nümunə modelləri nisbətən zəif temperatur asılılığına malikdir ki, bu da onlardan geniş spektrli məsələlərin həllində istifadə etməyə imkan verir. Xüsusən, 64 ayrı-ayrı elementdən ibarət matrislər PET tomoqrafların yeni son nəsində istifadə olunacaqdır.

В настоящей работе исследуется зависимость от температуры фотоэлектрических свойств новых микропиксельных лавинных фотодиодов, изготовленных совместно с компанией Zecotek Photonics Inc. (Canada). Установлено, что образцы исследуемых 2-х моделей фотодиодов обладают относительно слабой температурной зависимостью, что позволяет применять их для решения широкого спектра задач. В частности, собранные из 64-х отдельных элементов матрицы, будут использоваться в последнем поколении ПЭТ томографии.

In present work it was investigated temperature dependence of characteristics of new types of Micro-pixel Avalanche Photodiodes (MAPD) which were jointly produced with Zecotek Photonics Inc. (Canada). Measurement results of samples of 2 models show weak temperature dependence of basic parameters. This fact permit to use these detectors for wide frame of tasks. Particularly, designed a 64-element array was assembled out of Micro-pixel Avalanche Photodiodes (MAPD) for use in the next-generation PET scanners.

1. ВВЕДЕНИЕ

Появление лавинных фотодиодов с локальной отрицательной обратной связью, которая гасит лавинный процесс, позволило создать детекторы, обладающие высоким коэффициентом усиления (10^5), пространственной однородностью и стабильностью работы[1,2].

Созданный при технической поддержке компании Zecotek Photonics Inc. (Canada) микропиксельный лавинный фотодиод (MAPD) представляет собой прибор нового типа для детектирования вспышек света (начиная от уровня одного фотона) и длительностью порядка единиц - сотен наносекунд. MAPD изготовлен на базе кремния, и является упорядоченным набором пикселей (матрица) с высокой плотностью пикселей $1,5 \div 4 \times 10^4 \text{ мм}^{-2}$ (в зависимости от модели), выполненных на общей подложке. Каждый пиксель работает как отдельный лавинный фотодиод в режиме схожим с работой «гейгеровского» счетчика с коэффициентом умножения порядка 10^5 , т.е. способен регистрировать лишь факт рождения фотоэлектронов под действием внешнего света, но не их количество. Но весь MAPD представляет собой аналоговый детектор, так как выходной сигнал MAPD есть сумма сигналов со всех пикселей, сработавших при поглощении ими фотонов. Отметим, что когда интенсивность падающего излучения велика, т. е. вероятность рождения нескольких фотоэлектронов в одном пикселе значительна или происходит срабатывание всех ячеек, наступает насыщение выходного сигнала с детектора. Таким образом, существует

ограничение сверху на спектрометрическую регистрацию интенсивности света. Эта задача была решена созданием высокой плотности микропикселей. Все имеющиеся в настоящее время в мире аналоги данных приборов имеют плотность пикселей на порядок меньше, что в свою очередь ведет к снижению на порядок линейности фотоотклика этих приборов. Большая плотность пикселей в наших фотодиодах достигается с помощью оригинальной конструкции глубинного расположения микропикселей[3].

При попадании кванта света в активную область пикселя в нем развивается самогасящийся разряд. В моделях с глубинным расположением пикселей гашение происходит с помощью противоположа, созданного в области лавины, зарядами, которые накапливаются в пикселе в процессе прохождения лавины через данный пиксель. После прохождения лавины, этот заряд в течение последующих десятков наносекунд стекает в подложку.

Основной из сложностей практического применения полупроводниковых приборов, является сильная зависимость их свойств от температуры. Целью работы было исследовать температурную зависимость усиления новых лавинных фотодиодов.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА.

На фотодиод подается обратное смещение от источника постоянного напряжения. Для подавления пульсаций от источника питания, а также внешних высокочастотных наводок в цепь питания фотодиода включается П-образный

C-R-C фильтр. На рис.1 приведена схема элементов и блоков экспериментальной установки.

Источником света служил синий светодиод (LED) с длиной волны 400 нм. Светодиод питается от ждущего генератора импульсов частотой 1000 Гц и длительностью 10 нс. Свет на фотодиод от светодиода попадал по оптическому световоду (Optical light guide). Мониторинг интенсивности света производился с помощью ФЭУ Hamamatsu R5600 (для простоты на схеме не показан).

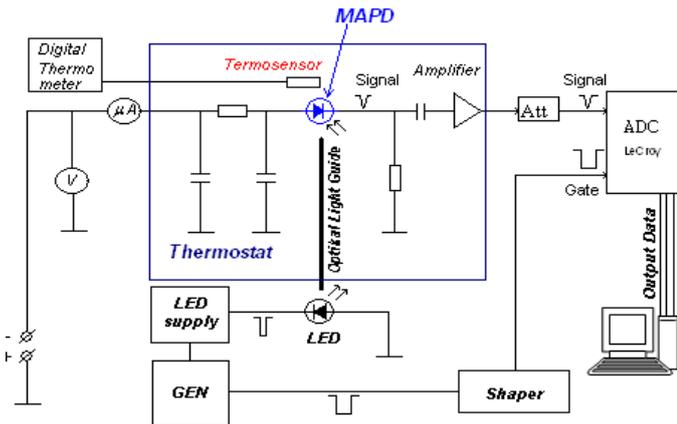


Рис.1. Схема экспериментальной установки.

Ждущий генератор запускается триггерным генератором импульсов. Импульс тока, возникающий в фотодиоде (в результате попадания на его поверхность светового импульса) снимается с нагрузки и при необходимости либо усиливается, либо ослабляется и подается на зарядово-цифровой преобразователь (ЗЦП) ADC LeCroy 2249A. Триггерный генератор создает так же строб-импульс для ЗЦП. Форма импульса формируется с помощью Shaper. Данные с ЗЦП посредством контроллера считываются компьютером. Обработка полученных файлов информации производилась с помощью программного пакета ROOT (CERN).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ.

Результаты экспериментов для двух моделей MAPD-3A (плотность пикселей $1,5 \cdot 10^4 \text{ мм}^{-2}$) и MAPD-3B (плотность пикселей $4 \cdot 10^4 \text{ мм}^{-2}$) представлены на рис.2 и рис.3. Модели отличаются так же рабочим напряжением питания.

Как видно из экспериментальных данных, в рассмотренном интервале температур зависимость хорошо описывается линейной функцией:

$$S = S_0(1 - \alpha(T - T_0)), \quad (1)$$

где $T_0 = 15^\circ\text{C}$, S_0 - амплитуда фотоотклика при 15°C .

Параметры этой фит-функции для модели MAPD-3A имеют значения: $S_0 = 787,02 \pm 1,53$; $\alpha = 0,0296 \pm 0,0003$. А для модели MAPD-3B: $S_0 = 436,6 \pm 0,1$; $\alpha = 0,034 \pm 0,001$.

С ростом температуры усиление детектора медленно падает. При этом темновой ток незначительно растет. Это приводит к небольшому ухудшению энергетического разрешения.

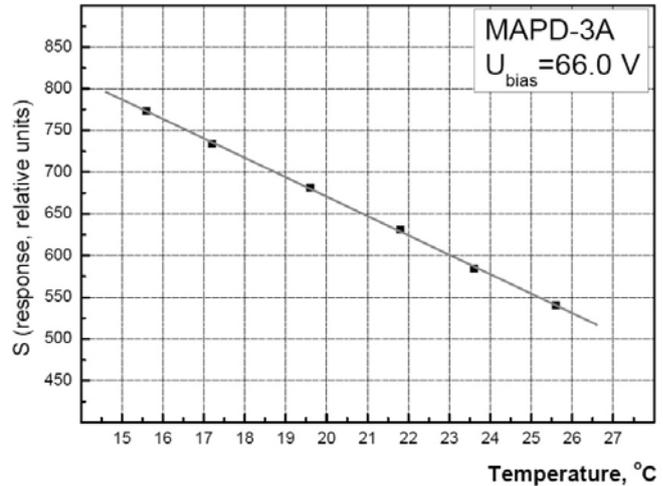


Рис.2. Зависимость амплитуды фотоотклика MAPD-3A от температуры.

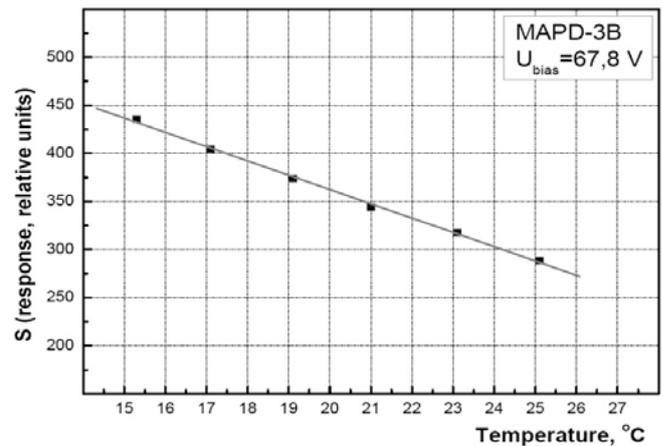


Рис.3. Зависимость амплитуды фотоотклика MAPD-3B от температуры.

С практической точки зрения важную роль играет относительное изменение амплитуды фотоотклика от температуры:

$$\frac{dS}{S} = \frac{\alpha}{1 - \alpha(T - T_0)} \quad (2)$$

Графики этой зависимости приведены на рис.4. Из графиков видно, что изменение амплитуды для модели MAPD-3A не превышает 4,3% на 1 градус, а для модели MAPD-3B не превышает 5,4% на градус.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ СВОЙСТВ НОВЫХ МИКРОПИКСЕЛЬНЫХ ЛАВИННЫХ ФОТОДИОДОВ

Линейность зависимости усиления и его малое относительное изменение от температуры дают возможность создания простых схем компенсации изменения усиления в прикладных задачах.

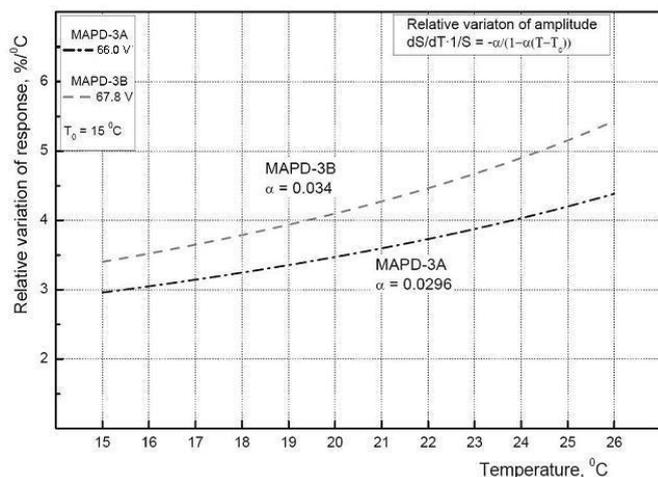


Рис. 4. Относительное изменение амплитуды фотоотклика.

Аналогично вакуумным ФЭУ, MAPD становится прибором широкого применения благодаря следующим качествам[4,5]:

- высокое внутреннее усиление порядка 10^5 , что значительно снижает требования к электронике;
- малый разброс коэффициента усиления (около 10%) и, как следствие, низкий шум-фактор;
- эффективность регистрации видимого света на уровне вакуумных ФЭУ и выше;
- возможность регистрации наносекундных вспышек света без искажения формы детектируемого сигнала;
- возможность работы, как в режиме счета импульсов, так и в спектрометрическом режиме;
- хорошее временное разрешение (десять пикосекунд);
- невысокое напряжение питания ($60 \div 100$ В);
- нечувствительность к магнитному полю;
- компактность (размеры кристалла порядка от $1 \times 1 \times 0,3$ мм³).

Таким образом, образцы MAPD-3A имеют больший коэффициент усиления и меньшую зависимость от температуры. Образцы MAPD-3B, у которых самая большая плотность пикселей, обладают самой высокой линейностью фотоотклика.

- [1]. З.Я. Садыгов и др. О перспективах использования новых кремниевых лавинных фотоприемников с локальной отрицательной связью. Препринт ОИЯИ, ЛВЭ, 2000г.
- [2]. Z. Sadygov, A. Olshevski, I. Chirikov, et al., Nucl. Instr. and Meth. A567 (2006) 70
- [3]. З.Я. Садыгов. Микропиксельный лавинный фотодиод. Патент РФ № 2316848.
- [4]. A.A. Dovlatov, Z.Y. Sadygov, N.A. Safarov. Scanner for monitoring of radiation safety. Ak. M.Kərimovun 60 illiyinə həsr olunmuş beyn. konf. Dekabr 10-12,2008, Bakı, s.103-104.
- [5]. Ю.К. Акимов. Фотонные методы регистрации излучений. Дубна: ОИЯИ, 2006, 281с.