

# Мультипиксельные лавинные фотодиоды: конструкции и параметры

**З. Садыгов**

**Объединенный институт ядерных исследований,  
Дубна, 141980, Россия.**

**E-mail: [sadygov@cv.jinr.ru](mailto:sadygov@cv.jinr.ru) ; [zsadygov@gmail.com](mailto:zsadygov@gmail.com)**

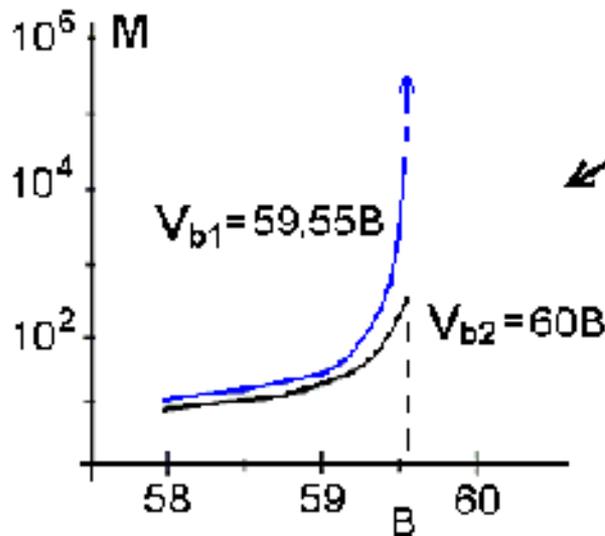
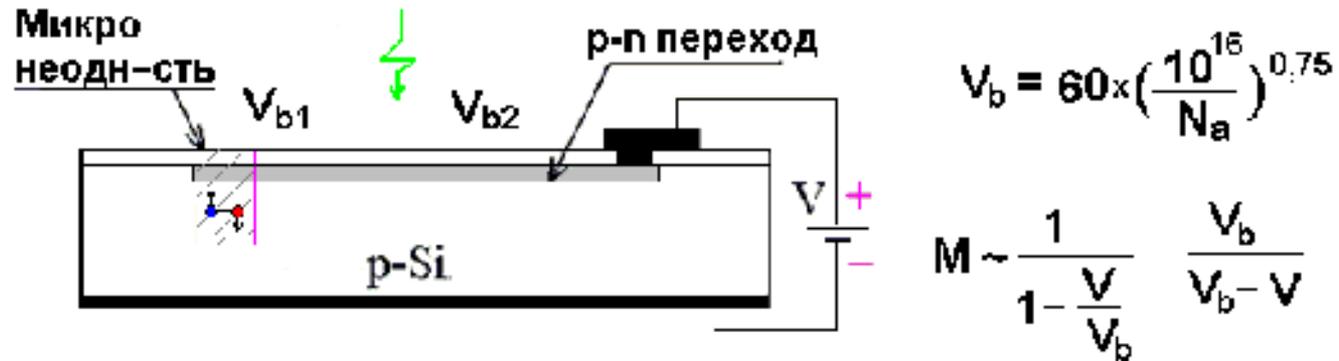
## Содержание доклада

- **Научные и технологические проблемы создания твердотельного аналога ФЭУ на основе лавинных фотодиодов (ЛФД).**
- **Научные результаты, составляющие основу создания нового типа ЛФД.**
- **Конструкции и принципы работы мультипиксельных ЛФД (МЛФД).**
- **Основные параметры и области применения МЛФД.**
- **О возможностях серийного выпуска МЛФД.**
- **Выводы и заключение.**

# Научные и технологические проблемы создания ...

1. Высокая неоднородность параметров существующих полупроводниковых кристаллов.
2. Большой разброс напряжения пробоя полупроводниковых пластин.
3. Резкая зависимость коэффициента умножения в полупроводниковом р-п- переходе от приложенного напряжения.
4. Ряд фундаментальных ограничений усиления фототока в лавинном фотодиоде с традиционной конструкцией.

# Неоднородность кристаллов и разброс напряжения пробоя



При изменении  $N_a$  на 1%  
 $V_b$  меняется на 0,45 В!

$$M_{\max} = \frac{60}{0.45} \sim 130$$

## Фундаментальные ограничения ЛФД традиционной конструкции

- Чем выше коэффициент усиления, тем меньше полоса пропускания (быстродействие) ЛФД. То есть, имеет место соотношение  $M \cdot Df = \text{const}$ , где  $M$  – коэффициент усиления,  $Df$  – полоса пропускания.
- При  $M > 10$  избыточный шум ( $F$ ) растет с увеличением коэффициента усиления  $M$ . Минимальное значение  $F=2$ . Это не позволяет иметь одноэлектронное разрешение в ЛФД.
- Даже единственная неоднородность может ограничить коэффициент усиления на всей площади прибора.

Как будет показано ниже, разработанные нами новые ЛФД свободны от этих недостатков.

## Новый подход к созданию ЛФД

Конечно, лучшие параметры ЛФД получались у разработчиков развитых стран, имеющих передовые технологии с наилучшей однородностью кристаллов и воспроизводимостью процессов.

На первый взгляд, при нашей технологической отсталости, упомянутые выше фундаментальные недостатки традиционных ЛФД не оставляли никаких шансов на успех в наших разработках.

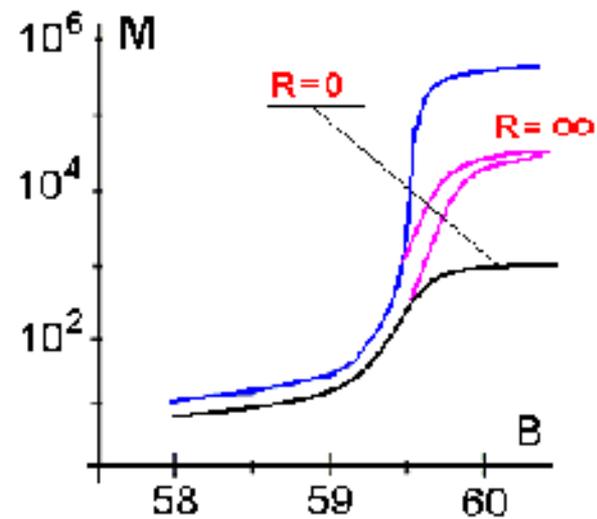
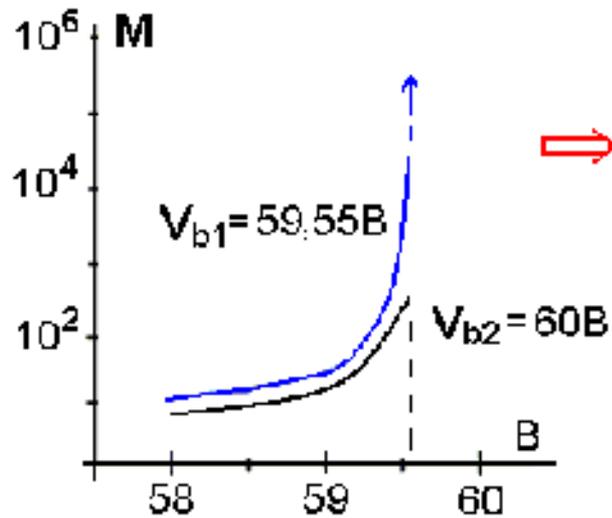
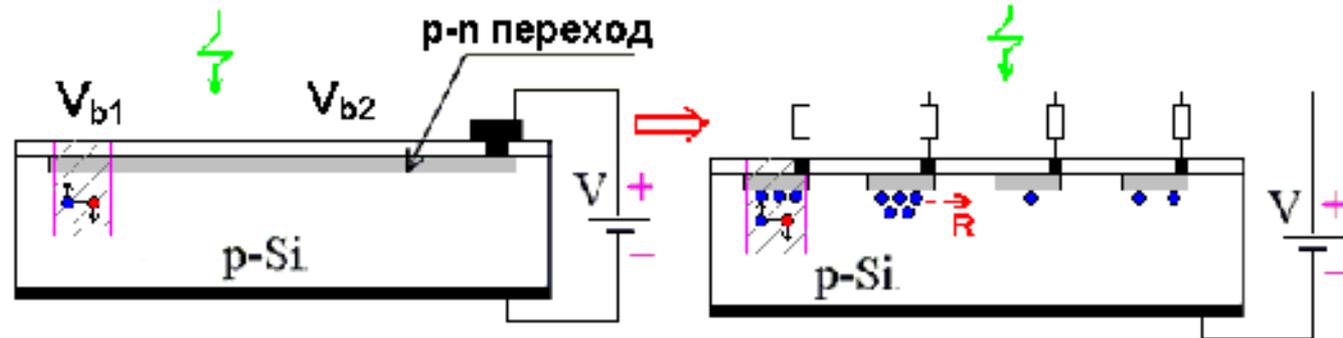
При данных обстоятельствах нужен был новый подход, с помощью которого можно было обойти проблемы связанные с микро неоднородностями в полупроводниковых пластинах.

Наши исследования лавинного процесса в различных кремниевых структурах в период 1985 – 1995 годы позволили создать такой подход.

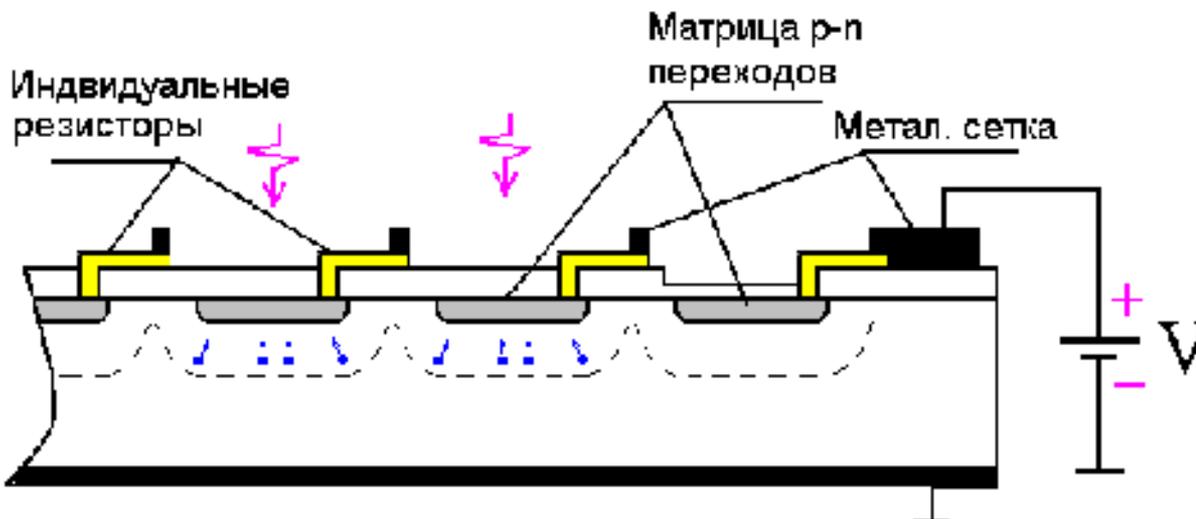
**Это – разделение рабочей площади лавинной структуры на маленькие независимые участки (пиксели), работающие в режиме ограничения темпа (коэффициента усиления) лавинного процесса.**

**Так появились мультипиксельные лавинные фотодиоды (МЛФД).**

# Неоднородность кристаллов и разброс напряжения пробоя



## МЛФД с поверхностными пикселями

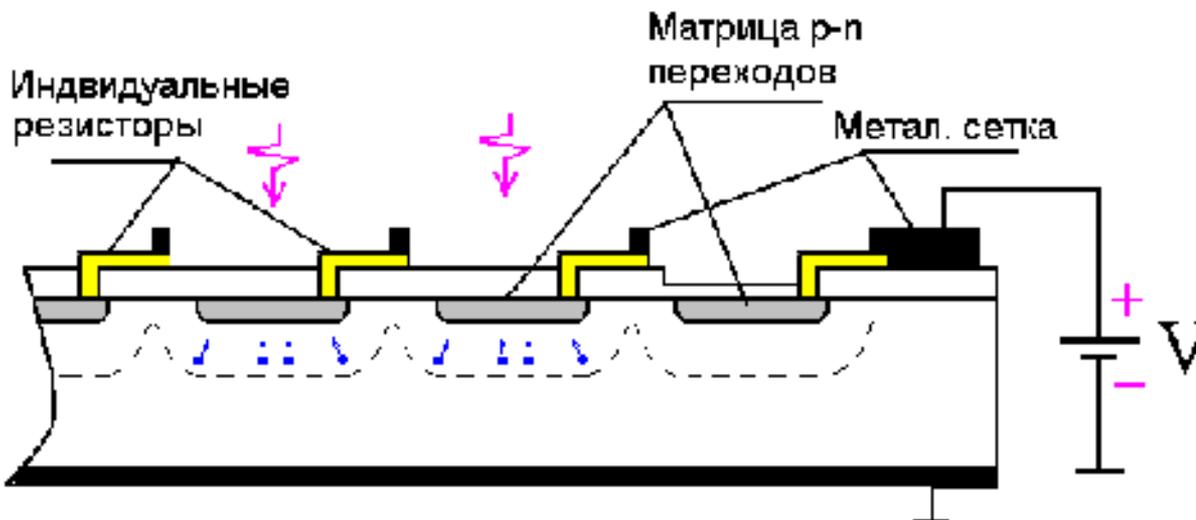


Особенности работы:

- Каждый пиксель работает в режиме насыщения амплитуды сигнала.
- Лавинный процесс в пикселях происходит независимо друг от друга;
- Сигналы от пикселей суммируются на общем металлическом электроде.

З.Садыгов. Патент России № 2102820, приоритет 10.10.1996

## Достоинства и недостатки МЛФД с поверхностными пикселями



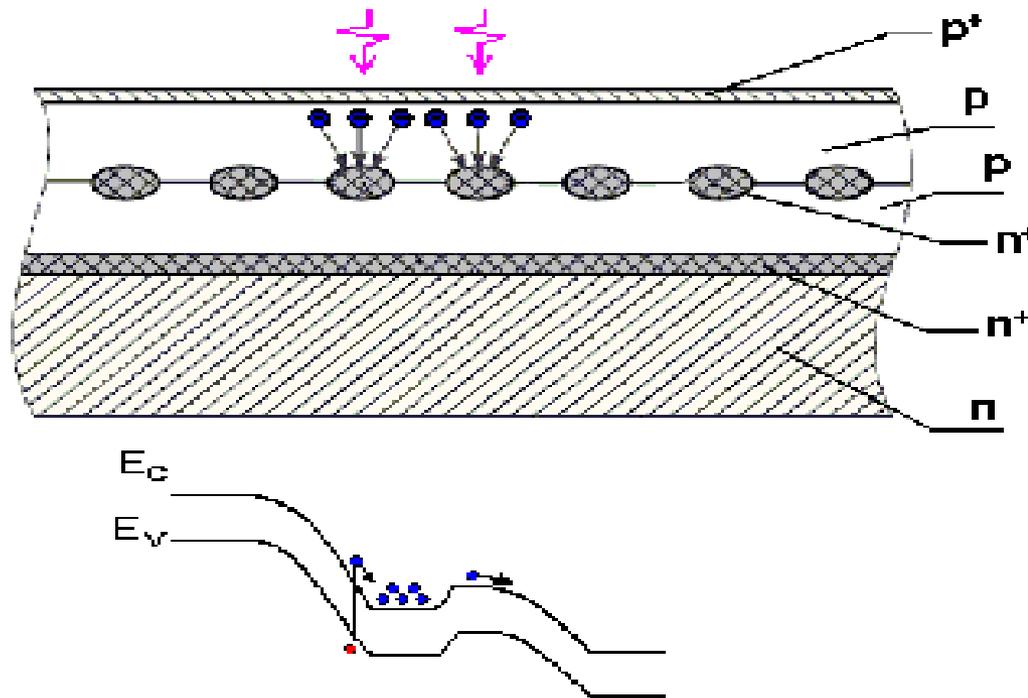
### Достоинства:

- Отличное одноэлектронное разрешение;
- Высокий коэффициент усиления  $\sim 10^6$ .

### Недостатки:

- Низкая эффективная площадь (или высокий геометрический фактор);
- Низкая плотность пикселей  $\sim 1500$  пиксель/кв.мм (или узкий динамический диапазон линейности по сигналу).

## МЛФД со скрытыми пикселями

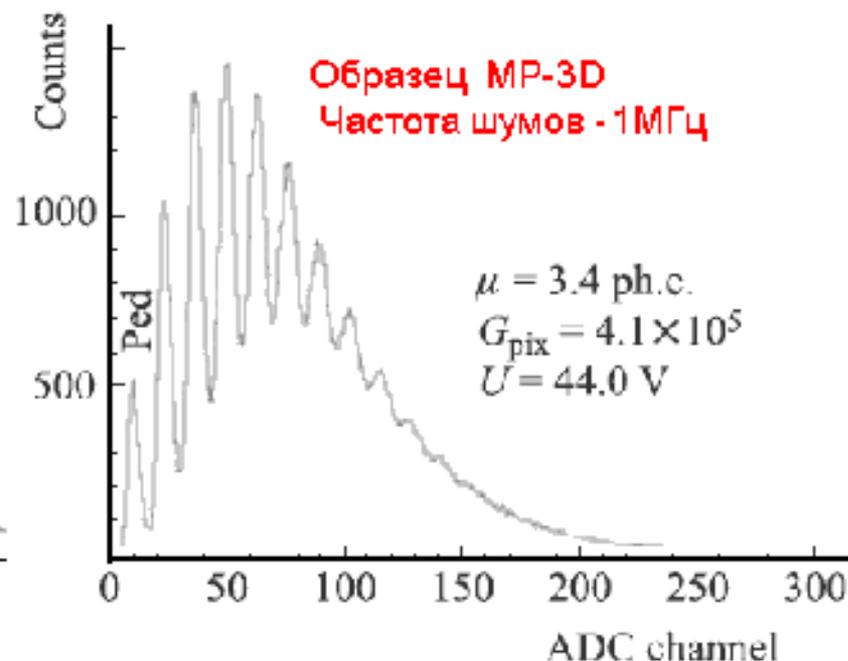
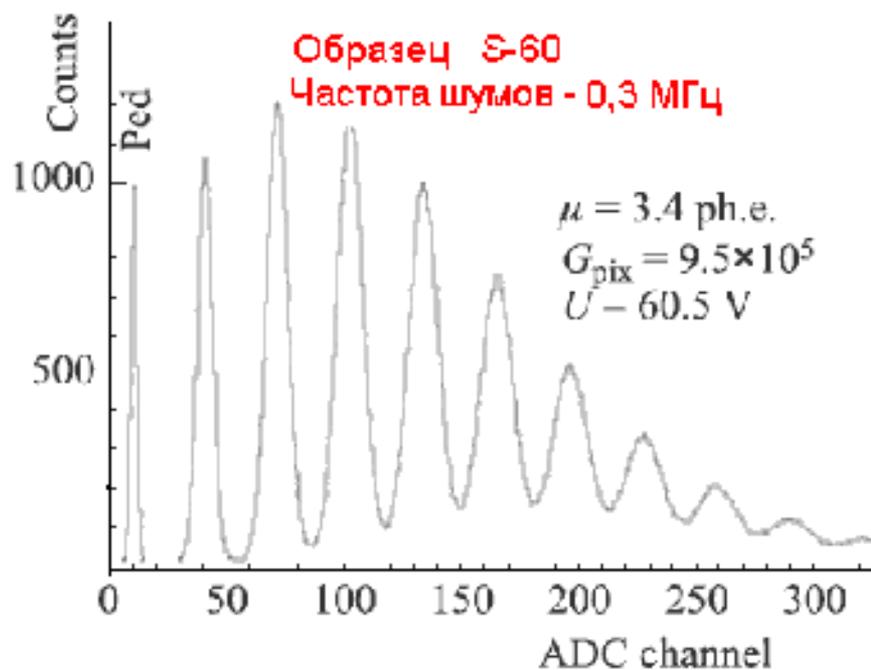


Конструкция прибора содержит два эпитаксиальных слоя, выращенных на Si-подложке. Между эпи.слоями выполнена матрица из  $n^+$  областей.

З.Садыгов. Патент России № 2316848, приоритет 01.06.2006.

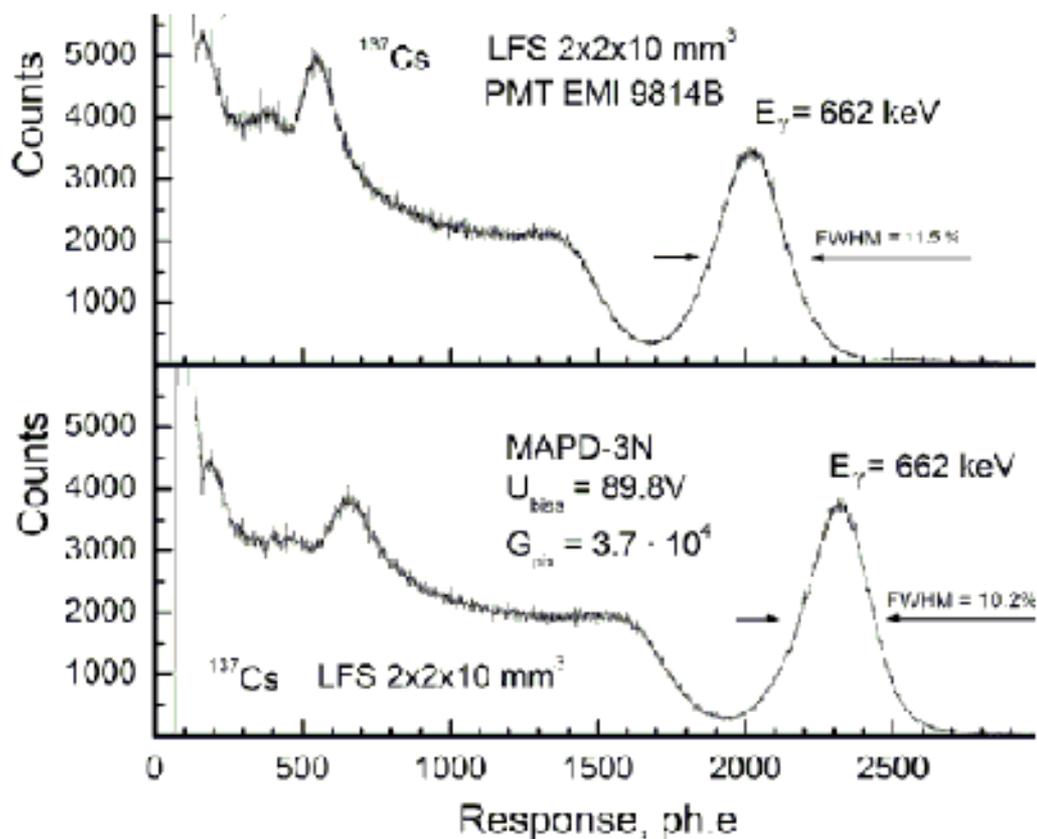


## Амплитудное распределения выходных импульсов МЛФД при освещении излучением светодиода



Н. Анфимов, И. Чириков-Зорин, ОИЯИ, Дубна

## Амплитудное распределения выходных импульсов ФЭУ и МЛФД при регистрации гамма квантов от Cs-137.



Н. Анфимов, И. Чириков-Зорин, ОИЯИ, Дубна

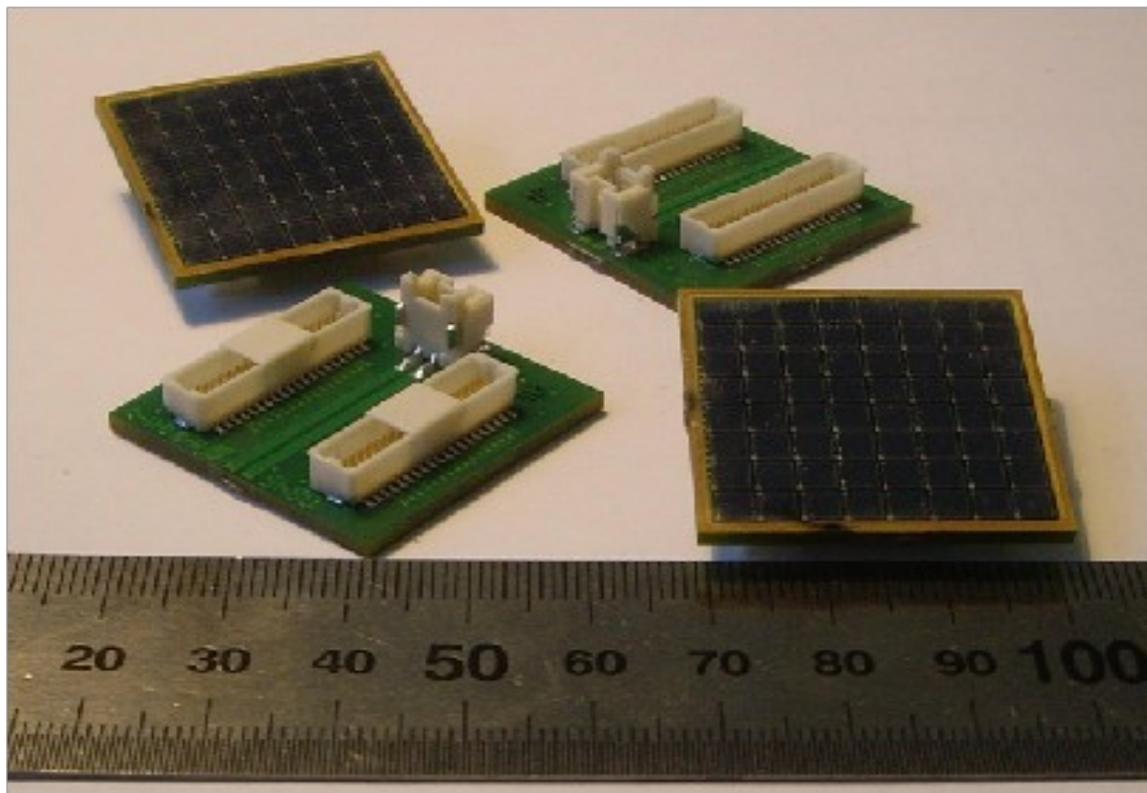
# МЛФД на кремниевых 200 мм пластинах: Завод «Микрон», Москва; Zecotek Photonics, Singapore



ИСМАРТ-2010, Харьков, Украина

З.Садыгов

## 64-элементная матрица МЛФД от «Zecotek Photonics», Singapore



ИСМАРТ-2010, Харьков, Украина

З.Садыгов

## Параметры разработанных МЛФД

- Плотность пикселей в приборе .....до 40 тыс./мм<sup>2</sup>;
- Чувствительная площадь элементов..... 1мм<sup>2</sup>, 9мм<sup>2</sup>;
- Спектральная область чувствительности ..... 400-900 нм.;
- Квантовая эффективность в максимуме ..... 75%;
- Коэффициент усиления фототока .....10<sup>4</sup> -10<sup>6</sup>;
- Темновой ток утечки .....4 нА;
- Порог чувствительности .....1 фотоэлектрон;
- Эффективность регистрации фотона ..... 15 -30%;
- Рабочее напряжение .....40-90 В.

## Планы на будущее

- Уменьшение темнового счета до 200кГц/кв.мм;
- Увеличение эффективности регистрации фотона до 45%;
- Уменьшение времени восстановления пикселей до 200 нс;
- Реализация массового выпуска МЛФД в России и в Сингапуре;
- Реализация модуля матричного сцинтилляционного детектора на базе МЛФД для применения медицинских ПЭТ сканерах, а также в физике высоких энергий и устройствах обнаружения...