



Исследование МЛФД сканирующим лазерным пучком

Анфимов Н.В.¹, Кодыш П.², Ковалев Ю.С.^{1,3}, Крумштейн З.В.¹,
Лейтнер Р.², Ольшевский А. Г.¹, Чириков-Зорин И.Е.¹

¹ОИЯИ, г. Дубна

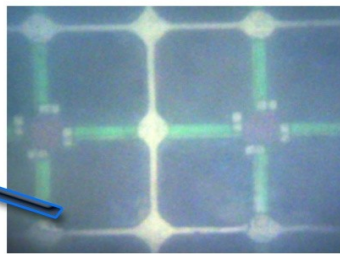
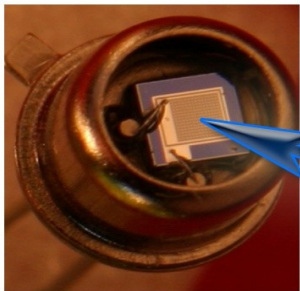
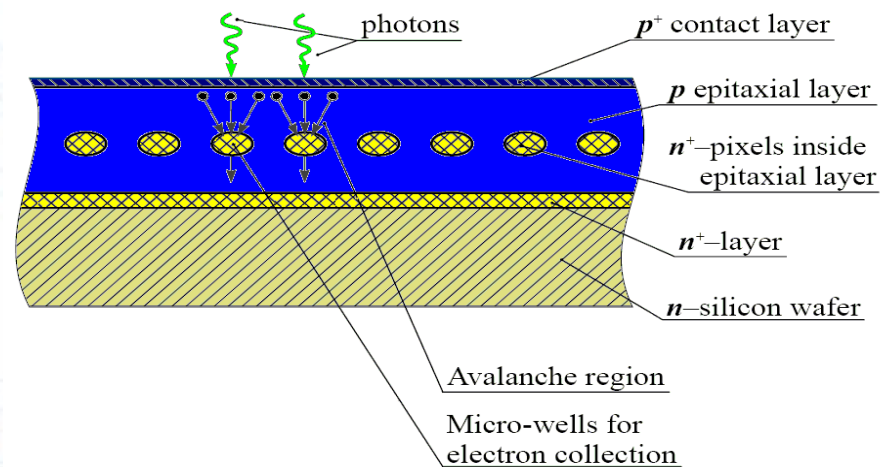
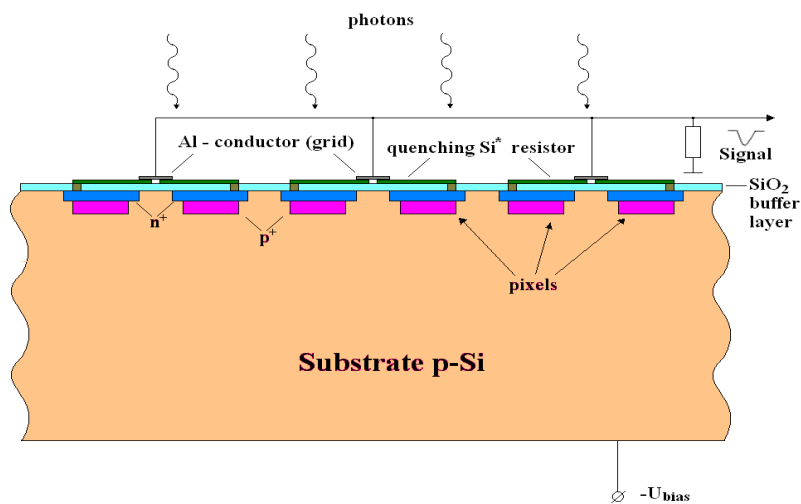
²Карлов Университет, г. Прага.

³Филиал НИИЯФ (г. Дубна) МГУ им. М.В. Ломоносова

Различные названия МЛФД

- SiPM – кремниевый фотоумножитель
- MAPD – Микропиксельный лавинный фотодиод
- MPPC – Микропиксельный счетчик фотонов
- APDg – Лавинный фотодиод работающий в "гейгеровском" режиме.
- SSPM – Твердотельный фотоумножитель
- MRS APD – Металл-Резистор-Полупроводник ЛФД.
- и др...

Микропиксельные лавинные фотодиоды.



Основные характеристики МЛФД: эффективность регистрации фотона.

- Эффективность регистрации фотона – $PDE[1,2]$:

$$PDE = QE \cdot \varepsilon_g \cdot P_{tr}$$

где: QE – квантовая эффективность материала (кремний), ε_g – геометрический фактор заполнения, P_{tr} – вероятность триггерования (зависит от напряженности электрического поля, поэтому PDE – зависит от приложенного напряжения).

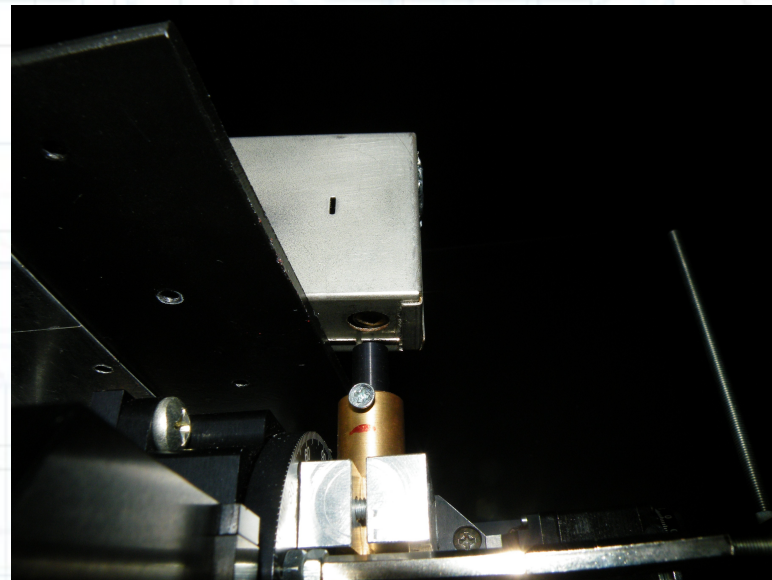
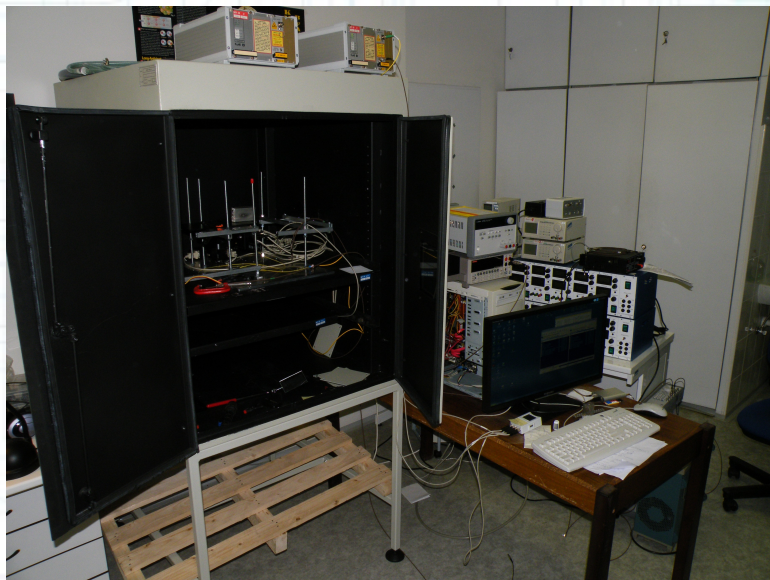
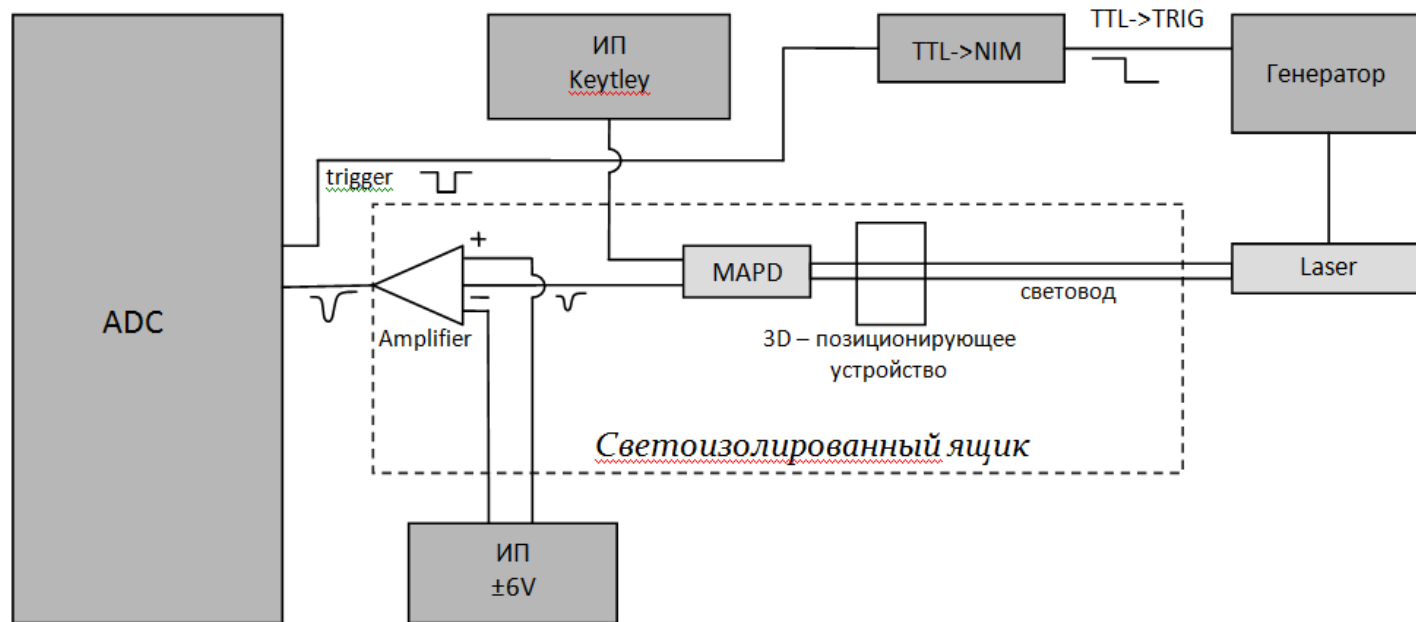
- В поверхностно-пиксельных МЛФД обычно фактор ε_g колеблется от 0.3 (1600 pix/mm²) до 0.78 (100 pix/mm²)[3]. У глубинных МЛФД – достоверно неизвестно. Считается, что $\varepsilon_g = 1$.
- Вероятность триггерования пикселя $P_{tr} < 1$.
- Характерная эффективность регистрации фотона для МЛФД (в максимуме спектральной чувствительности) от 5% до 40%.

¹ D. Renker. Geiger-mode avalanche photodiodes, history, properties and problems. NIM A 567(2006) 48-56.

² N. Anfimov, et al. Test of micropixel avalanche photodiodes. 572(2007)413-415

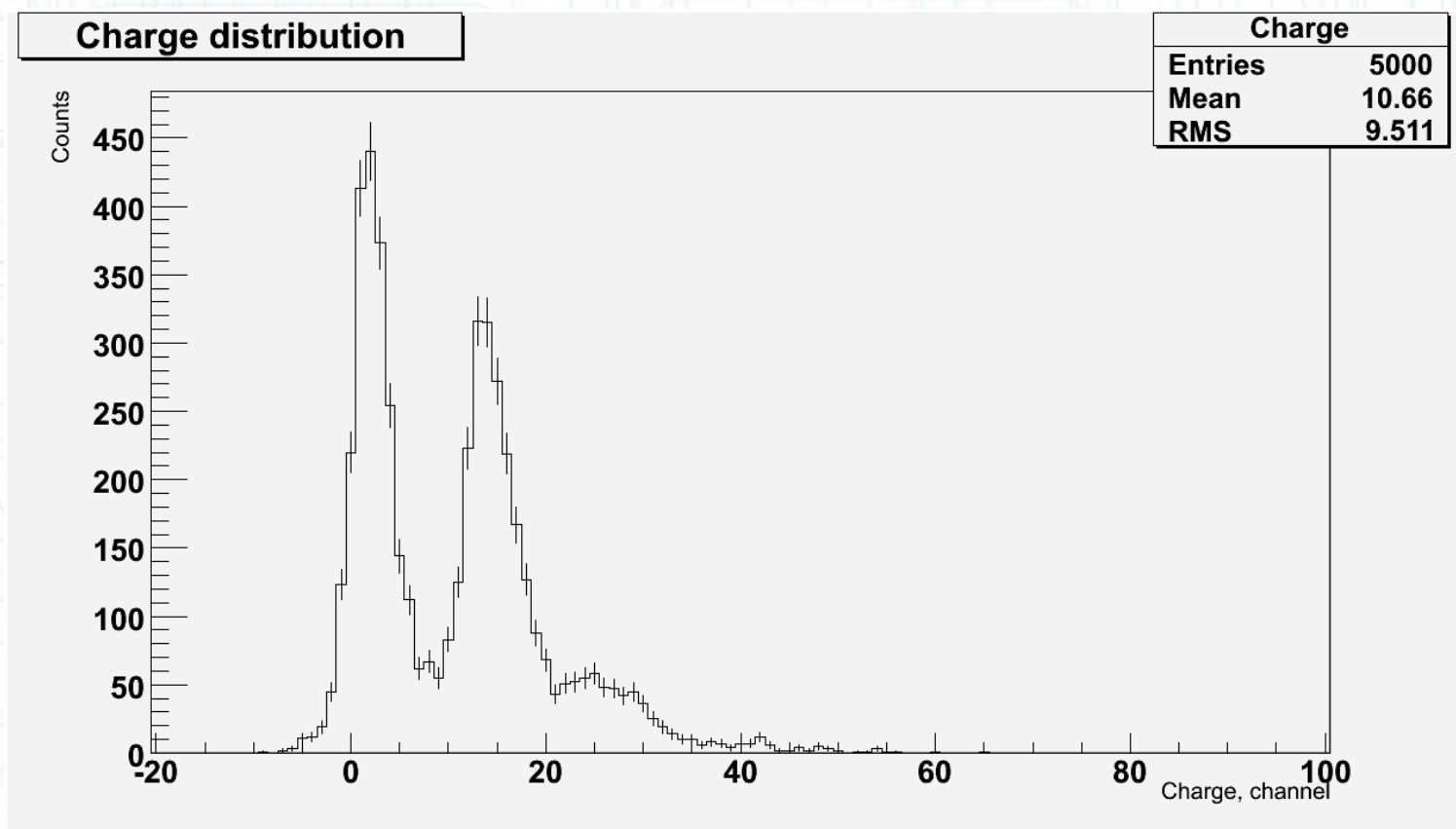
• ³ <http://sales.hamamatsu.com/en/products/solid-state-division/si-photodiode-series/mppc.php>

Экспериментальная установка



"Однопиксельные" спектры MAPD-2

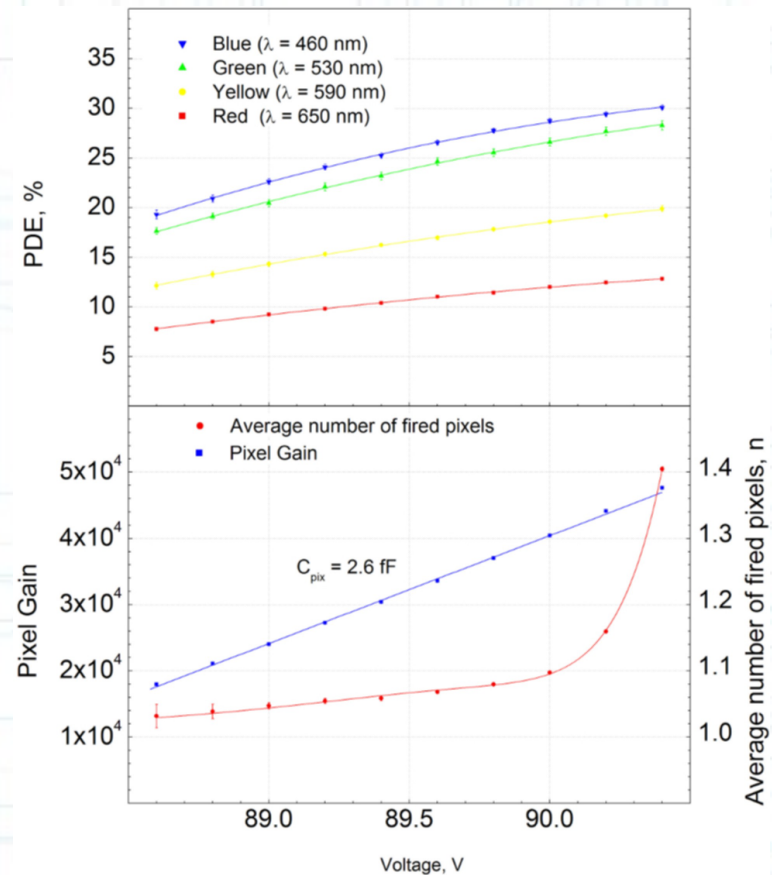
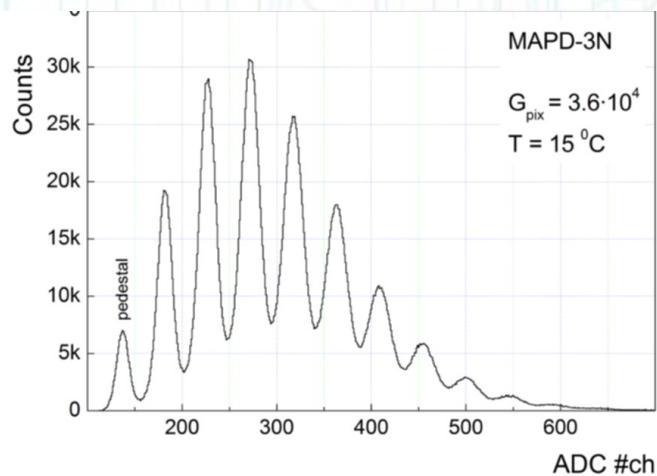
- Размер пятна лазера ($\sigma \approx 1$ мкм). Размер пикселя = 41 мкм.
- При попадании в центр пикселя должны быть видны исключительно однопиксельные амплитуды. Однако, из-за эффекта перекрестных наводок видны и большие амплитуды.



Однородность пикселей по усилению < 9%

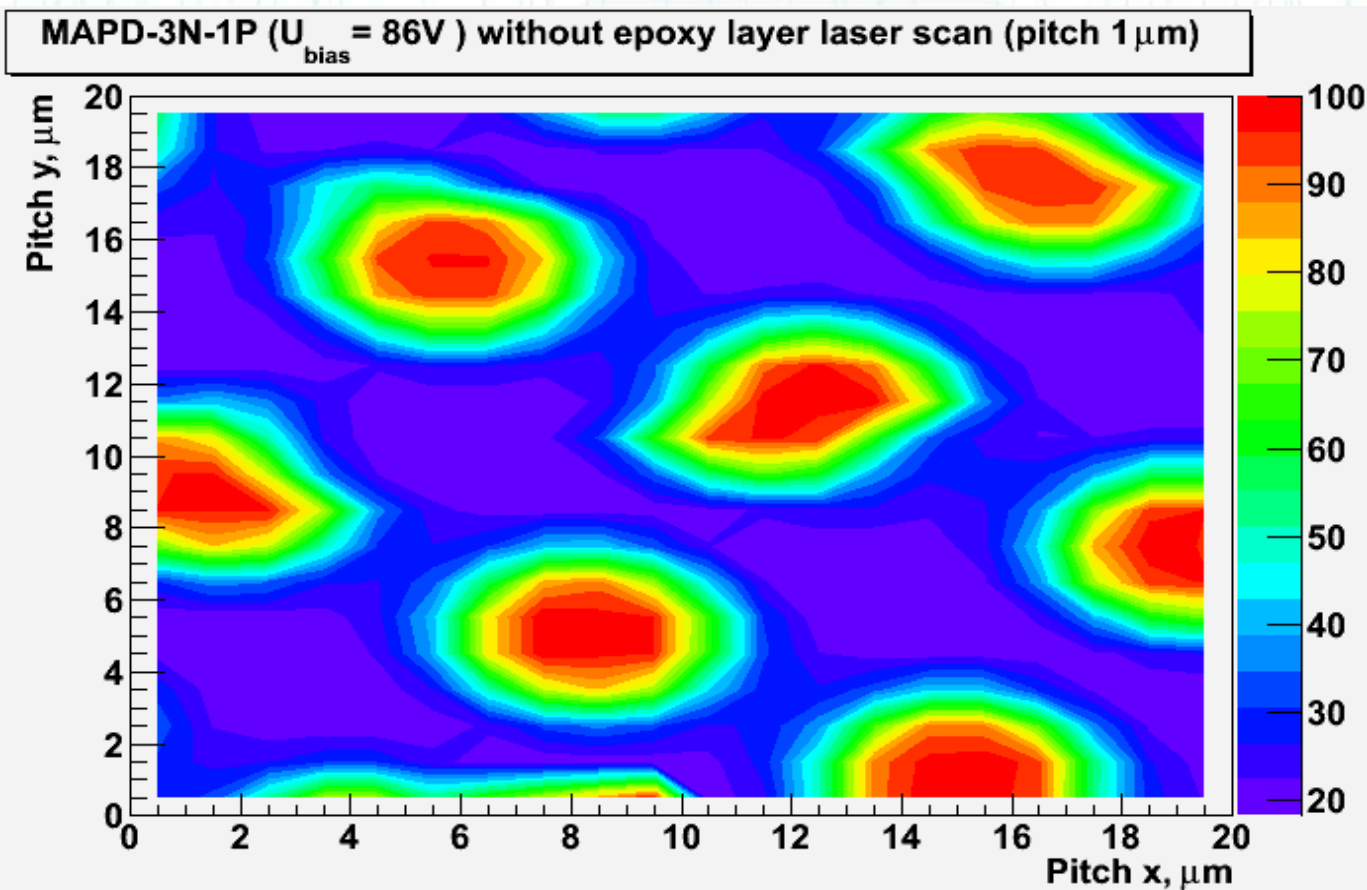
Сканирование глубинного фотодиода MAPD-3N

- Размер пикселя $d = 5$ мкм.
- Шаг между пикселями $h = 8$ мкм.
- Плотность пикселей $15\,000\text{ мм}^{-2}$.
- Рабочее напряжение 89 – 95 В
- Квадратная упаковка пикселей.



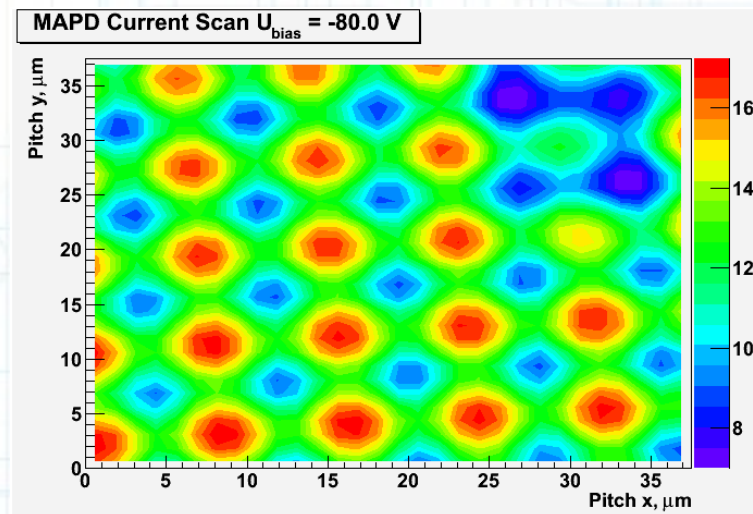
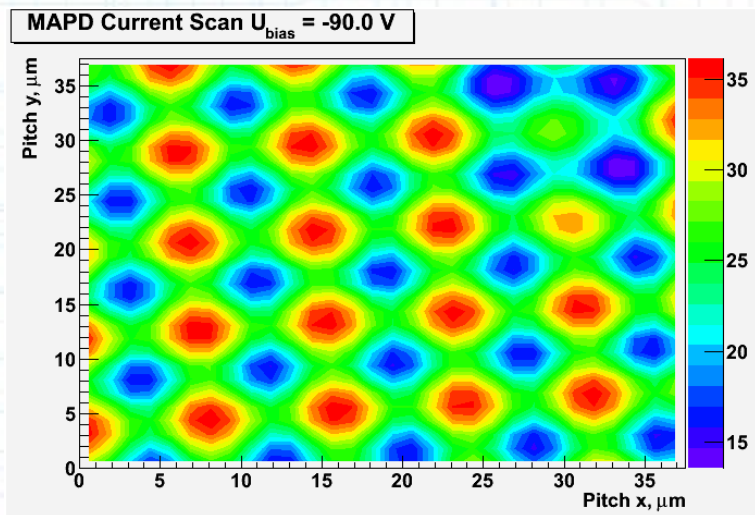
Первые измерения в токовом режиме (филиал НИИЯФ МГУ лето 2011 г)

- Использовался голубой ($\lambda=442$ нм) лазер конфокального микроскопа в филиале НИИЯФ МГУ), размер пятна ($\sigma < 0.8$ мкм)
- Шаг позиционирования (X-Y) лазера от 50 нм.
- Измерялся фототок при помощи пикоамперметра Keithley.
- Фотодиод без эпоксидного слоя.



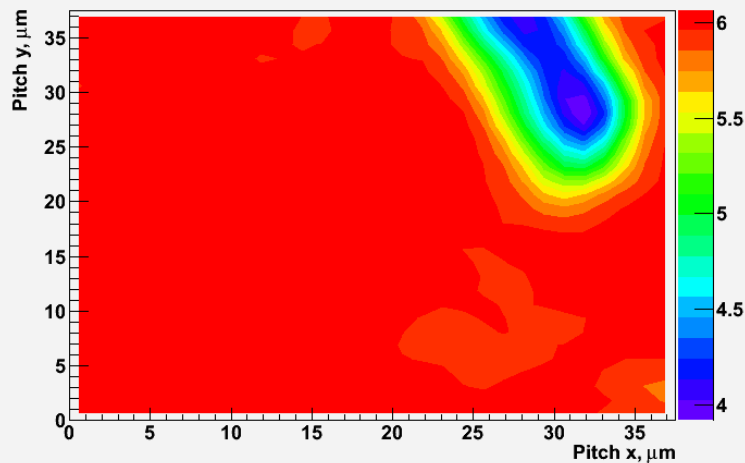
Измерения в токовом режиме (Прага, КУ зима 2012 г)

- Использовались образцы MAPD-3N без эпоксидного слоя.
- Схема измерений как и в предыдущем случае
- Использовался красный ($\lambda=660$ нм) лазер. Размер пятна ($\sigma \approx 1$ мкм).

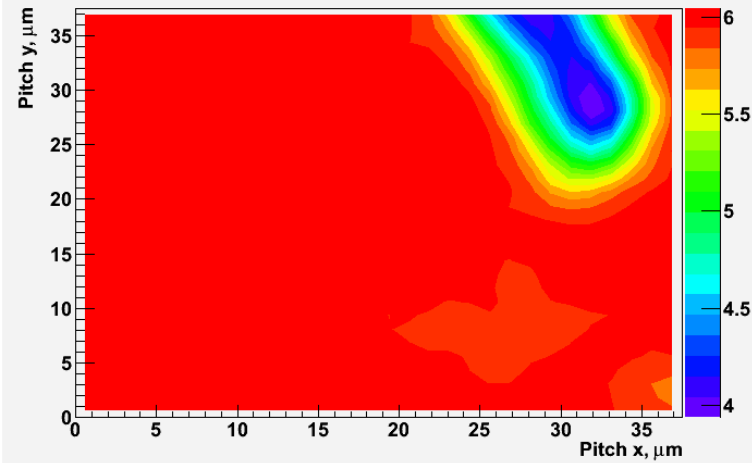


Измерения в токовом режиме (Прага, КУ зима 2012 г): различные напряжения

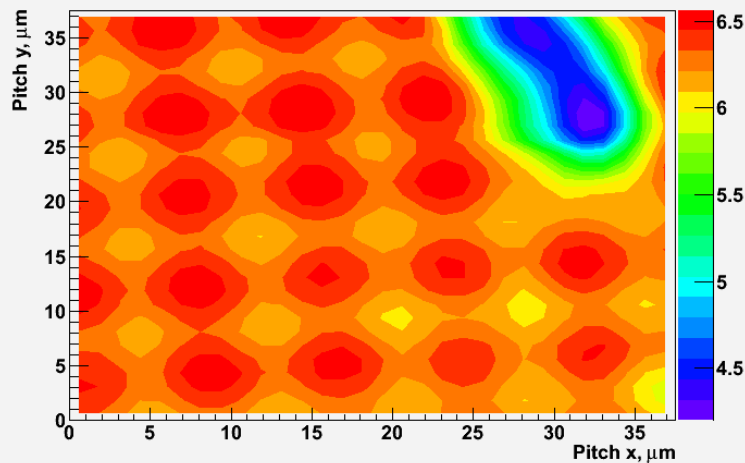
MAPD Current Scan $U_{\text{bias}} = -10.0 \text{ V}$



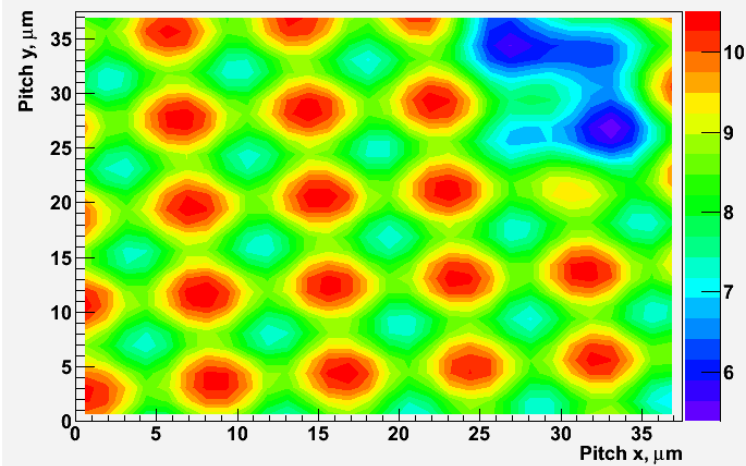
MAPD Current Scan $U_{\text{bias}} = -30.0 \text{ V}$



MAPD Current Scan $U_{\text{bias}} = -50.0 \text{ V}$

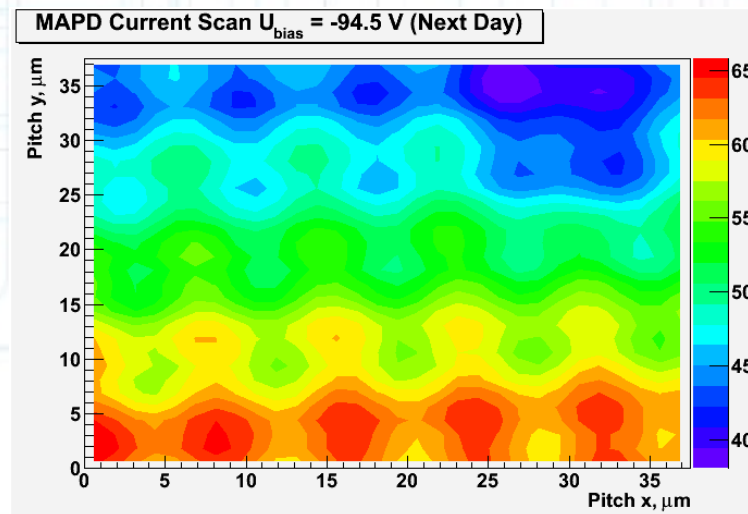
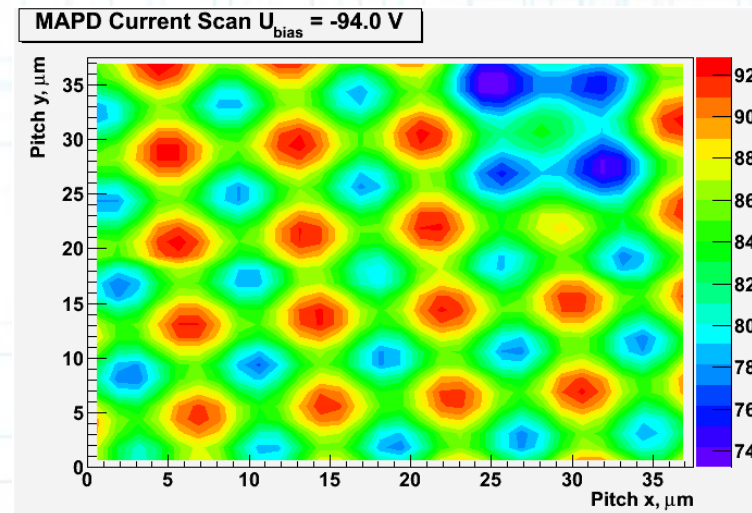
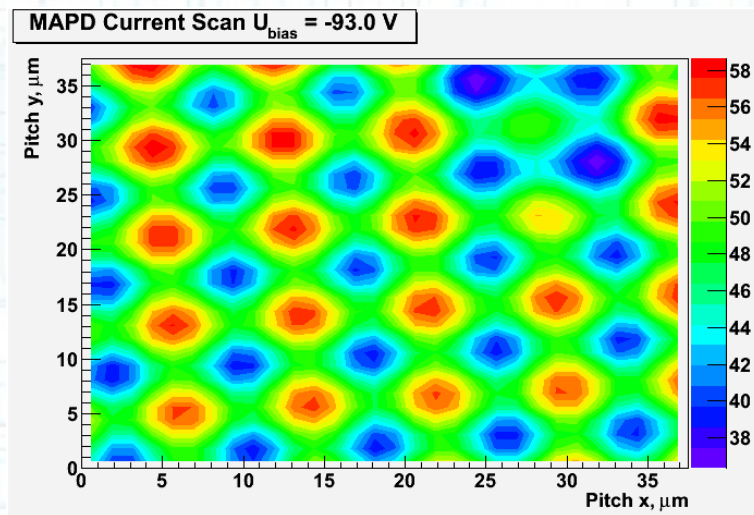


MAPD Current Scan $U_{\text{bias}} = -70.0 \text{ V}$



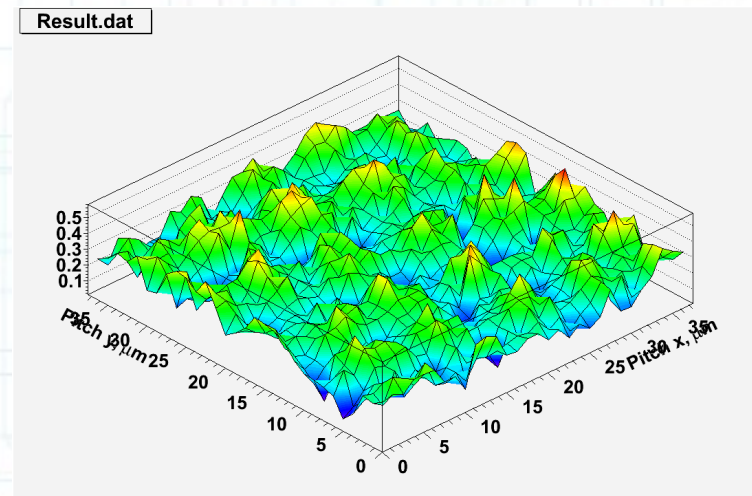
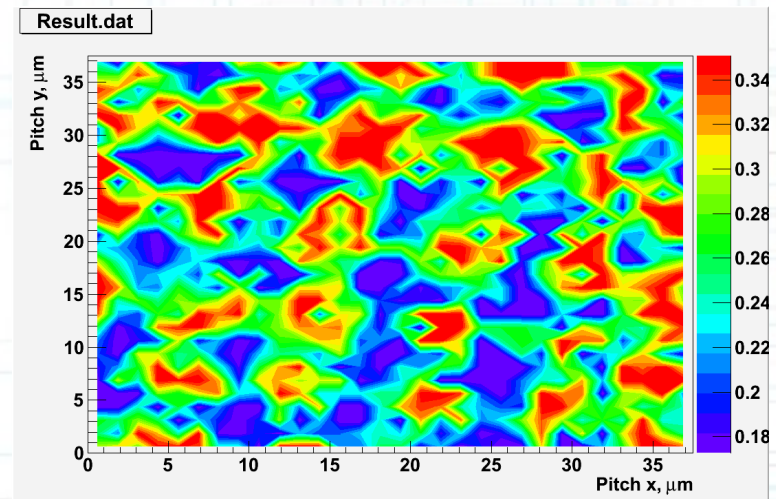
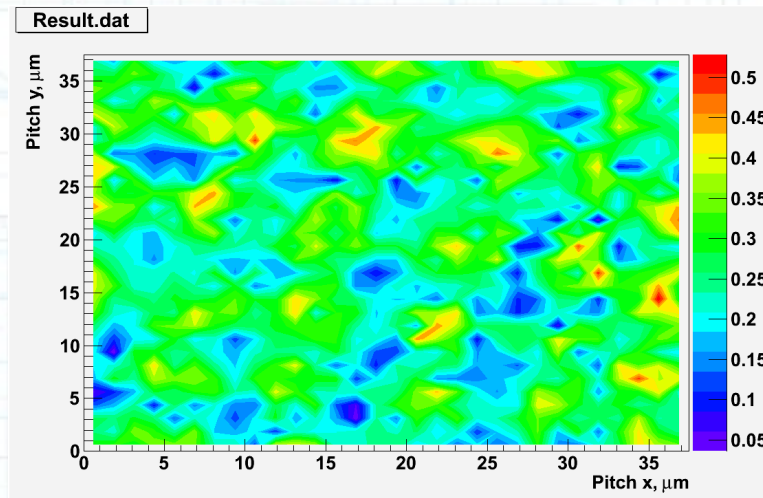
Измерения в токовом режиме (Прага, КУ зима 2012 г): проблема "гейгеровского" режима

- При рабочем напряжении возникает подозрение, что эффективность регистрации становится более однородной



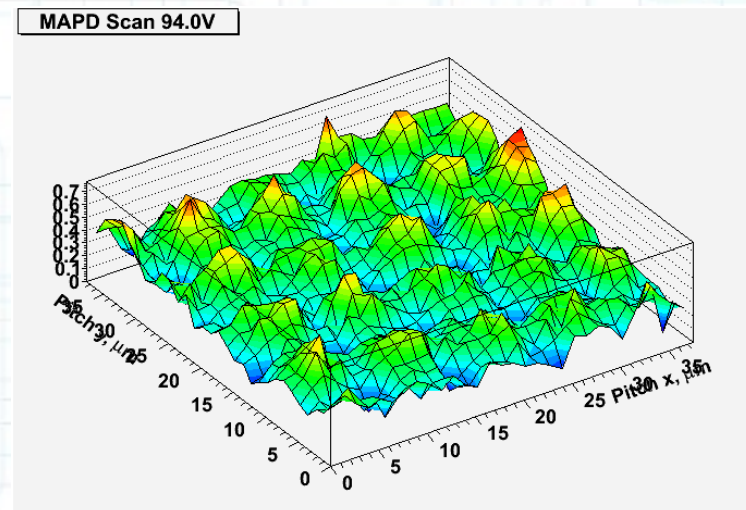
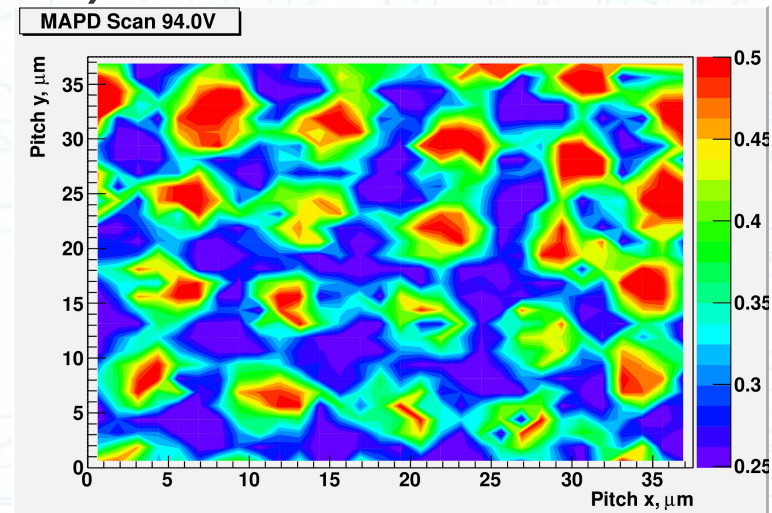
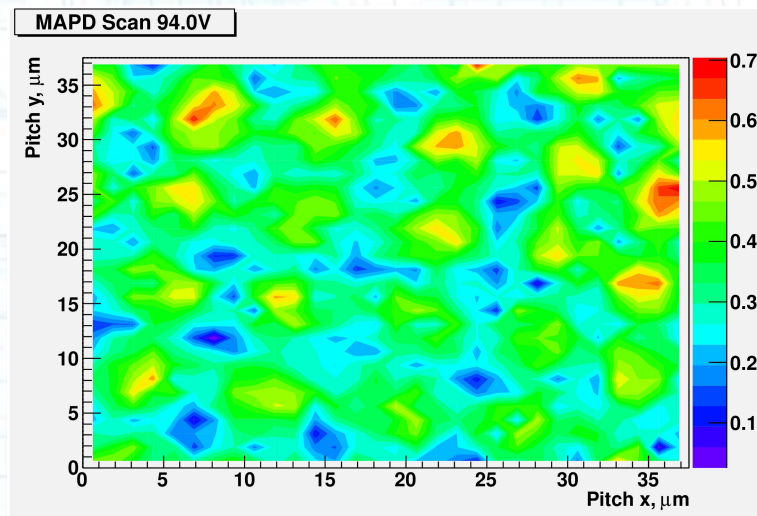
Измерения в однофотозлектронном режиме

- MAPD-3N ($U = 93.5$ В)



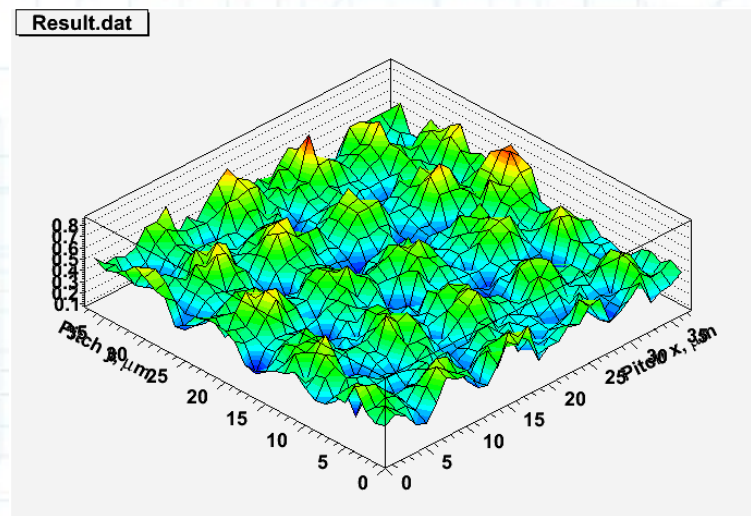
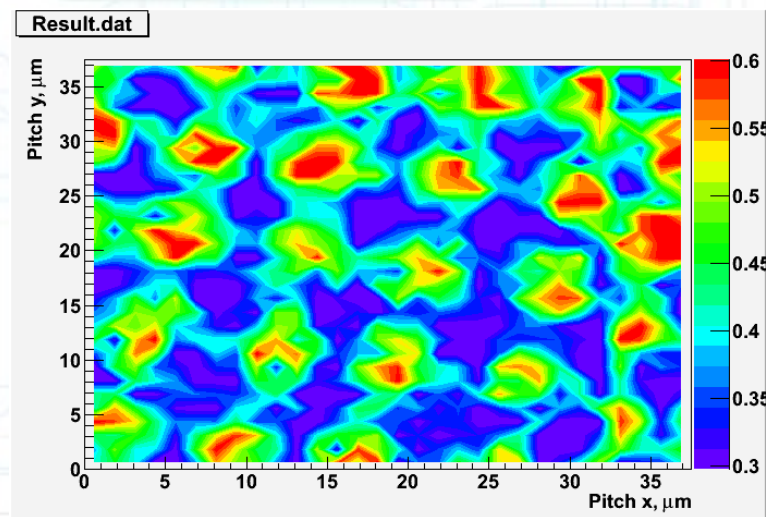
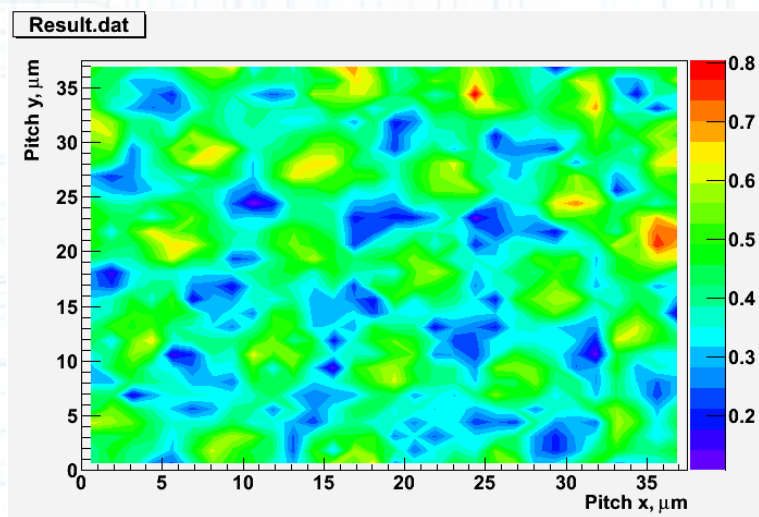
Измерения в однофотозлектронном режиме

- MAPD-3N ($U = 94.0$ В)



Измерения в однофотозлектронном режиме

- MAPD-3N ($U = 94.5$ В)



Выводы:

- Разработана методика сканирования МЛФД лазерным пятном в токовом и однофотозлектронном режимах.
- Глубинные фотодиоды на красном свете имеют не 100% коэффициент сбора заряда (геометрический фактор).
- Необходимо произвести измерения в однофотозлектронном режиме на голубом свете для глубинных МЛФД. С этой целью нами приобретен голубой (440 нм) импульсный лазер (длительность 35 пс), который в ближайшее время планируется установить в систему конфокального микроскопа в филиале НИИЯФ МГУ.