

Аттестация прикомандированных в Дубну сотрудников

**Садыгов Зираддин Ягуб-оглы,
доктор физика-математических наук**

E-mail: zsadygov@gmail.com
sadygov@jinr.ru

**Моб.т.: +7 903 571 97 00
+994 50 534 26 46**

Направление научной деятельности

**Разработка и применение инновационных
полупроводниковых детекторов в экспериментах
физики высоких энергий и ядерной физики**

Содержание доклада

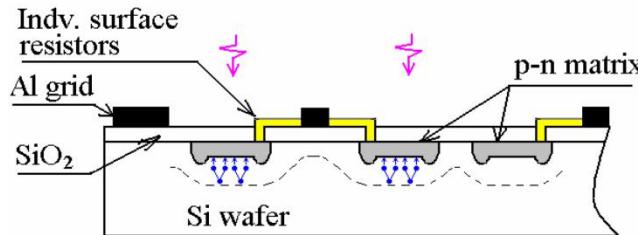
- 1. Краткая история темы. Твердотельные ФЭУ**
- 2. Современное состояние и перспективы**
- 3. Результаты за отчетный период**
- 4. Научно-педагогическая деятельность**
- 5. Ближайшие планы**

Целью работы являлась создание физических основ работы твердотельных аналогов вакуумных фото-электронных умножителей (ФЭУ)



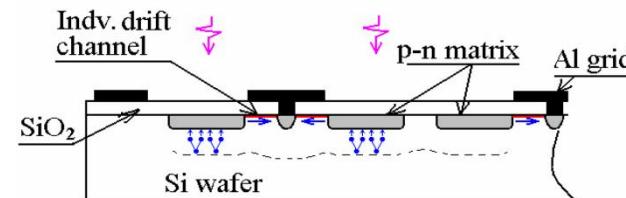
Нами разработаны и запатентованы три типа полупроводниковых аналогов ФЭУ

The three advanced versions of AMPDs



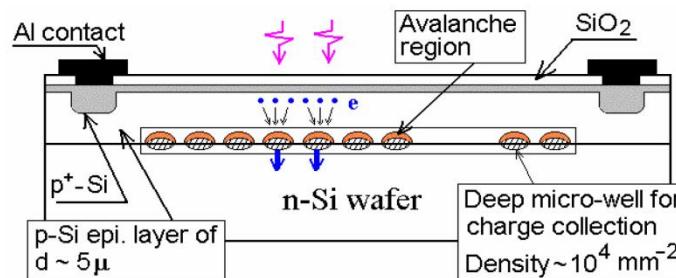
AMPD with individual surface resistors

Patent #2102820 from 10.10.1996.



AMPD with surface drift channel.

Patent #2086047 from 30.05.1996.



AMPD with deep micro-wells

Patent application #2005108324 from 24.03.2005.

**4th International Conference on “New Developments in Photodetection”.
Beaune, France - June 19-24, 2005..**

<http://ndip.in2p3.fr/beaune05/cdrom/Sessions/Sadygov.pdf>

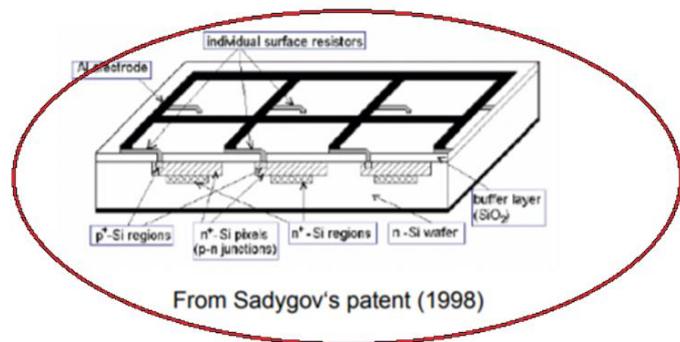
Наши научные результаты и разработки признаны во всем мире. Это – микро-пиксельные лавинные фотодиоды (МЛФД). За рубежом их часто называют как кремниевый фотоумножитель (по-английски SiPMs) или микро-пиксельный счетчик фотонов (по-английски MPPC)

History of Solid State Single Photon Detectors

The next step was logical:

Subdivide the MRS structure into many cells and connect them all in parallel via an individual limiting resistor. The **SiPM** is born.

Key personalities in this development are V. Golovin and Z. Sadygov.



France, Beaune 2005

D.Renker, PSI

<http://ndip.in2p3.fr/beaune05/cdrom/Sessions/renker.pdf>

The Strip Silicon Photo-Multiplier: An innovation for enhanced time and position measurement

K. Doroud^{a,*}, M.C.S. Williams^{a,b}, K. Yamamoto^c

^a CERN, Geneva, Switzerland

^b INFN, Bologna, Italy

^c Solid State Division, Hamamatsu Photonics K.K., Hamamatsu, Japan

1. Introduction

The Silicon PhotoMultiplier (SiPM), a solid-state photon counting detector, has been developed through the pioneering work of Golovin [1] and Sadygov [2]. The device consists of an array of small avalanche photo diodes run in Geiger mode. A single photo electron can cause a Geiger breakdown in an individual photo diode and create a detectable signal, thus these photo diodes are known as single photon avalanche diodes (SPAD).

Основные производители МЛФД



Карта взята из источника: W. Ootani ICEPP, University of Tokyo. Special Workshop on Photon Detection with MPGDs. June 10th, 2015 CERN

“МЛФД” приборы, впервые разработанные нами, выпускаются более, чем в 10-и странах, в том числе в США, Канаде, Японии, Германии, Италии, Ирландии и в других.

В настоящее время “МЛФД” приборы, называемые также “SiPMs” или “MPPC” широко применяются в таких Международных экспериментах как CMS LHC, NICA, JUNO, NA61, COMPASS и другие.

Как видно, в мире существует жесткая конкуренция в области разработки и изготовления новых МЛФД с улучшенными параметрами.

Для изготовления экспериментальных образцов и реализации научных результатов нами созданы Международная коллаборация – МЛФД коллаборация.

Участники “МЛФД коллаборации”:

- **ОИЯИ, завод «Микрон» (Россия)**
- **Zecotek Photonics (Канада) и завод «MIMOS» (Малайзия)**
- **ИФ и ИРП НАНА, ЗАО НЦЯИ (Азербайджан)**

A G R E E M E N T # 11/18
of collaboration on joint scientific,
technological and innovative activity on
development and application of micro-pixel
avalanche photo diodes (MAPD
collaboration).

April, 11, 2018.

The research organizations:
Joint Institute for Nuclear Research - JINR
(Joliot-Curie St, 6, 141980, Dubna, Moscow
Region, Russia),

**National Nuclear Research Center under
Ministry of Communications and High
Technologies – NNRC MCHT**
(Inshaatchilar Avenue, 4, AZ1073, Baku,
Azerbaijan),

**Institute of Radiation Problems of National
Academy of Sciences – IRP ANAS**
(B.Vahabzade str., 9, AZ1143, Baku,
Azerbaijan Republic)

and

Companies — manufacturers of innovative
product:

**Company “Zecotek Imaging Systems Pte.
Ltd” – Zecotek** (21, Kallang Avenue, #03-
177, Singapore 339412),

Company “Dubna-Detectors Ltd.” (Joliot-
Curie St, 11, 141980, Dubna, Moscow
Region, Russia)
hereafter collectively mentioned Parties have
agreed to create a collaboration for joint
scientific, technological, and innovative
activities on development and application of
micro-pixel avalanche photo diodes (MAPD).

**1. Goal and Subject of MAPD
collaboration.**

1.1. The goals of the collaboration are carry
out professional trainings of young staff and
to provide as soon as possible the fabrication
of new high-tech products based on the latest
achievements of science and technology.

1.2. The subject of the present Agreement is
the development and fabrication of new types
of micropixel avalanche photodiodes
(MAPD) and others avalanche devices for

С О Г Л А Ш Е Н И Е № 11/18
о совместной научной, технологической и
инновационной деятельности по разработке и
применению микропиксельных лавинных
фотодиодов (МЛФД-коллаборация).

“11” Апреля 2018 г.

Научно-исследовательские организации:

**Объединенный институт ядерных исследований -
ОИЯИ** (Улица Жолио-Кюри, д.6 , 141980, г.
Дубна Московской области, Россия),

**Национальный Центр Ядерных Исследований
Министерства Связи и Высоких Технологий –
НЦЯИ МСВТ** (Проспект Иншаатчилар, д.4,
AZ1073, Баку, Азербайджанская Республика),

Институт Радиационных Проблем

Национальной Академии Наук – ИРП НАН
(Ул. Б.Вахабзаде, 9, AZ1143, Баку,
Азербайджанская Республика)

и

фирмы-производители инновационной
продукции:

**Компания “Zecotek Imaging Systems Pte. Ltd” –
Zecotek** (21, Kallang Avenue, #03-177, Singapore
339412).

**ООО “Научно-производственное объединение
Дубна-Детекторы” – НПО “Дубна-Детекторы”** (Улица Жолио-Кюри, д.11 , 141980, г. Дубна
Московской области, Россия), вместе упомянутые
в дальнейшем как Стороны договорились о
сотрудничестве для совместной научной,
технологической и инновационной деятельности
по разработке и применению микропиксельных
лавинных фотодиодов (МЛФД).

1. Цели и предметы МЛФД-коллaborации.

1.1. Целями сотрудничества являются подготовка
молодых профессиональных кадров и
обеспечение скорейшего выпуска новых
наукоемких продукции, основанных на
передовых достижениях науки и технологии.

1.2. Предметом соглашения является разработка и
производство новых типов МЛФД и других
лавинных приборов для практического
применения. Планируемым результатом
соглашения является серийный выпуск

and technological projects.

3.4. All Parties agree to exchange members of their staff for participation in experiments, for processing and analysis of experimental data, as well as for rendering paid research and technological services.

3.4. Results of joint studies may only be published in research journals or other mass media upon mutual agreement of the Parties.

4. Representatives of the Parties responsible for coordination and execution of works.

4.1. The collaboration is coordinated by Z. Ya. Sadygov (zsadygov@gmail.com), S. I. Tyutyunnikov (tsi@sunse.jinr.ru) and F. I. Ahmadov (farid-akhmedov@yandex.ru).

5. Term of the Agreement

5.1. This Agreement takes effect of the date when it is signed by duly authorised representatives of the Parties and remains in full force until the 31st of December 2023.

Signed by:

Director of JINR



V. A. Matveev

Chairman of NNRC MCST

A. A. Garibov

3.4. Стороны соглашаются обмениваться сотрудниками для участия в экспериментах, обработки и анализа экспериментальных данных, а также для оказания оплачиваемых научных и технологических услуг.

3.4. Результаты совместных исследований могут быть опубликованы в научных журналах или иных средствах массовой информации только по согласию Сторон.

4. Лица, ответственные за координацию выполнения работ.

4.1. Координаторами Коллаборации являются З. Я. Садыгов (zsadygov@gmail.com), С. И. Тютюнников (tsi@sunse.jinr.ru) и Ф. И. Ахмедов (farid-akhmedov@yandex.ru).

5. Срок действия Соглашения.

5.1. Данное Соглашение вступает в силу с момента подписания полномочными представителями Сторон и остается в силе до 31 декабря 2023 года.

Подписи Сторон:

Директор ОИЯИ



В. А. Матвеев

Председатель НИЯИ МСВТ

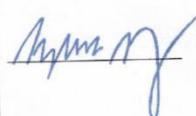


А. А. Гарифов

Director of IRP ANAS

O. A. Samedov

Chief Operations Officer of Zecotek Imaging
Systems Pte. Ltd



Executive Director of "Dubna-Detectors Ltd".

T. Yu. Bokova

Директор ИРИ РАН

О. А. Самедов

Исполнительный директор
Компании Zecotek Imaging Systems Pte. Ltd

A.Azman

Исполнительный директор
“НПО Дубна-Детекторы”

Т. Ю. Бокова



MAPD Device Fabrication #1/2

- Partner: MIMOS Semiconductor (Malaysia)
- Features :
 - Industry standard 8-inch CMOS Fab : Class 10, 1200 m²
 - Minimum feature size : 0.35 μm
 - Wafer-level testing and failure analysis capabilities
 - ISO 9001 certified



MAPD Device Fabrication #2/2

Diced 8-inch MAPD device



Основные результаты и план работ З. Я. Садыгова на 2016-2020 годы

Название задачи в рамках темы MPD NICA.

«Разработка методов повышения предела линейности и вероятности детектирования фотонов кремниевых фотоэлектронных умножителей, используемых в проекте MPD NICA»

Результаты.

- Разработан и изготовлен новый кремниевый фотоумножитель (SiPM), имеющий в 4 раза меньшую удельную емкость по сравнению с аналогами при рабочем напряжении 53В. Новый детектор имеет 35% вероятность детектирования фотонов при размерах пикселей 15 мкм. Чувствительная площадь – 3,7мм*3,7мм.
- Подготовка к защите диссертаций двух аспирантов от Азербайджана (Сабухи Мусаев и Рамиль Акберов).

План работ на 2021-2023 годы.

Разработка кремниевых фотоумножителей (SiPM) с высоким быстродействием и радиационной стойкостью.

Завершение кандидатских работ двух аспирантов Азербайджана (Сабухи Мусаев и Рамиль Акберов) в 2021 году.

Статьи 3.Я. Садыгова, опубликованные за 2016-20120

1. A. Sadigov, F. Ahmadov, S. Suleymanov, N.Heydarov, R.Valiyev, M.Nazarov, R. Akbarov, G. Ahmadov, Z. Sadygov, R. Madatov, R. Mechtiyeva, R. Mukhtarov , S. Khorev, F. Zerrouk. An Iterative Model of Performance of Micropixel Avalanche Photodiodes // International Journal of Advanced Research in Physical Science (IJARPS) Volume 3, Issue 2, February 2016, PP. 9-18: <https://www.arcjournals.org/pdfs/ijarps/v3-i2/3.pdf>.
2. A.Sadigov, F.Ahmadov, G.Ahmadov, A.Ariffin, S.Khorev, Z.Sadygov, S.Suleymanov, F.Zerrouk. A new detector concept for silicon photomultipliers // **Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A**, 2016, V.824, №1, p.135. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168900215013753>
3. Z.Sadygov, F.Ahmadov, S.Khorev, A.Sadigov, S.Suleymanov, R.Madatov, R.Mehdiyeva, F.Zerrouk. A new method to improve multiplication factor in micro-pixel avalanche photodiodes with high pixel density // **Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A** 2016, № 1, V.824, p.137, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168900215013704> .
4. F. Ahmadov, G. Ahmadov, E. Guliyev, R. Madatov, A. Sadigov, Z. Sadygov, S. Suleymanov, R. Akberov, S. Nuriyev and F. Zerrouk. New gamma detector modules based on micropixel avalanche photodiode // **Journal of Instrumentation**, Volume12, January, 2017. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-0221/12/01/C01003/pdf>
5. F.Ahmadov, F.Abdullayev, ^{G.}Ahmadov, A.Sadigov, Z.Sadygov, S.Suleymanov. New phoswich detector based on LFS and p-terphenyl scintillators coupled to Micro Pixel Avalanche Photodiode // **Functional Materials**, 2017, V.24, No.2, P.341-344. <http://dspace.nbuu.gov.ua/handle/123456789/136750> .
6. A.Sadigov, F.Ahmadov, G.Ahmadov, A.Ariffin, S.Khorev, Z.Sadygov, S.Suleymanov, F.Zerrouk. A micropixel avalanche phototransistor for time of flight measurements. // **Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A** 2017, V.845, P.621-622.
7. F. Ahmadov, F. Abdullayev, R. Akberov, G. Ahmadov, S. Khorev, S. Nuriyev, Z. Sadygov, A. Sadigov, S. Suleymanov. On iterative model of performance of micropixel avalanche photodiodes // **Nuclear Inst. and Methods in Physics Research A**, 2018, V.912, P.287–289. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168900217313335>
8. S. Nuriyev, F. Ahmadov, Z. Sadygov, R. Akberov, G. Ahmadov, I. Abbasov. Performance of a new generation of micropixel avalanche photodiodes with high pixel density and high photon detection efficiency// **Nuclear Inst. and Methods in Physics Research A**, 2018, V.912, P.320–322. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168900217313608>
9. R Akbarov, S Nuriyev, F Ahmadov, G Ahmadov, A Sadigov, and S Suleymanov, (2018), “Scintillation light detection with MAPD-3NK and MPPC-S12572-010P readout” KnE Energy & Physics, P. 357–362. <https://knepublishing.com/index.php/KnE-Energy/article/view/1767/4080>
10. F. Ahmadov, F. Abdullayev, G. Ahmadov, R. Akbarov, R. Mukhtarov, S. Nuriyev, A. Sadigov, Z. Sadygov and S. Suleymanov. A new physical model of Geiger-mode avalanche photodiodes.// **Journal of Instrumentation**, (2020), 15, C01009, P. 1-6. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-0221/15/01/C01009/pdf>
11. M. Holik, F. Ahmadov, G. Ahmadov, R. Akbarov, D. Berikov, Y. Mora, S. Nuruyev, P. Pridal, A. Sadigov, Z. Sadygov, J. Zich. Miniaturized read-out interface “Spectrig MAPD” dedicated for silicon photomultipliers// **Nuclear Inst. and Methods in Physics Research**, A 978 (2020) 164440. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2020.164440>
12. Z. Sadygov, A. Sadigov, and S. Khorev. Silicon Photomultipliers: Status and Prospects // **Physics of Particles and Nuclei Letters**, 2020, Vol. 17, No. 2, pp. 160–176. <https://link.springer.com/article/10.1134/S154747712002017X>

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!