Развитие вакуумной спинтроники: *от методов исследования к материаловедению и устройствам для установок мегасайенс*

Олег Е. Терещенко

Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН

ЦКП «СКИФ», ИК СО РАН

Новосибирский государственный университет

ЗАО «ЭКРАН-ФЭП»

Основные направления работ:

1. ***Создание новых инструментов и методов исследования спин-зависимых явлений, устройств и приборов вакуумной спинтроники:***

Вакуумный спин-диод, спин-триод;
Новый источник спин-поляризованных электронов;
Спин-детекторы свободных электронов с пространственным разрешением;
Spin-ARPES: новый эволюционный виток;

2. ***Физика спин-зависимых явлений:***

Эмиссия и инжекция спин поляризованных электронов;
Исследование спиновой текстуры и электронных свойств полупроводниковых материалов и структур: топологические изоляторы, низкоразмерные системы.

Краткая научно-исследовательская биография:

1996 - ФФ НГУ с отличием

1999 - защита кандидатской диссертации (в аспирантуре)

АТОМНАЯ СТРУКТУРА И ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА GaAs(100)-(Cs,O)

Руководитель д.ф.-м.н. Терехов А.С.

Tereshchenko O.E. *Structure and composition of chemically prepared and vacuum annealed InSb(001) surfaces.* Appl. Surf. Sci. – 2006. – Vol. 252. – p. 7684-7690.

Tereshchenko O.E. *Preparation of As-rich (2x4) – III-As (001) surfaces by wet chemical treatment and vacuum annealing*. Phys. Stat. Sol. C – 2010. – Vol. 1-4. – p. 264-267.

полупроводников химическим методом

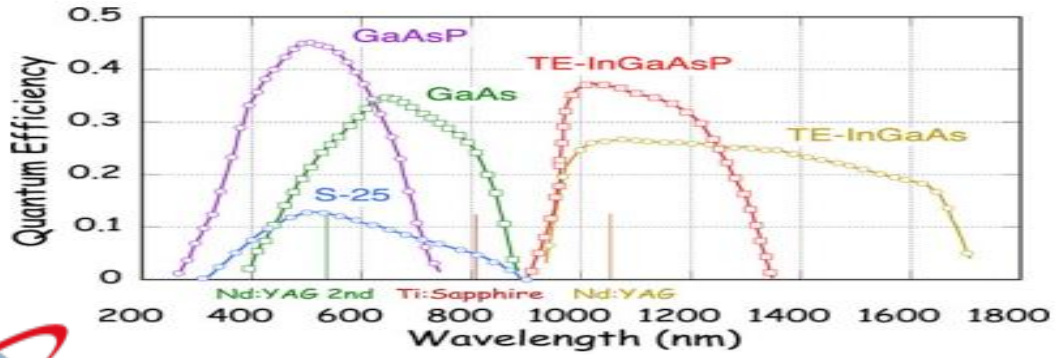
Более 50 статей

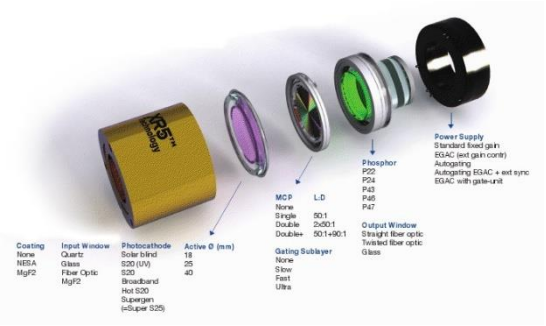
2013 - защита докторской диссертации:

АТОМНЫЕ РЕКОНСТРУКЦИИ И ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВ A^3B^5 С АДСОРБАТАМИ

- разработан универсальный метод контролируемого изменения физико-химических свойств поверхностей, заключающийся в управлении составом и сверхструктурами на поверхностях полупроводников.

Электронно-оптические преобразователи от X-диапазона до ТГц в режиме счета фотонов: безмультиплексорная оптоэлектроника





Спектр-УФ

X-ray

CsI

$Al_xGa_{1-x}N$

GaAs

$In_xGa_{1-x}As$

Пиромишень +ЭОП

УФ

CsTe

Na_2KSb

Полевой ЭОП

ТГц

0.2 0.36 0.9 1.7 15 (мкм)

Солнечно-слепые ЭОП

$(1.5\text{-}3)\cdot10^{-9}$ Вт/см^2·мкм

$(1.5\text{-}2)\cdot10^{-7}$ Вт/см^2·мкм

Пиро-ЭОП

космос
мониторинг

Ночное видение

Тепловидение

ФЭУ для нефтяников

Детектор заряженных частиц

SCIENTIFIC REPORTS

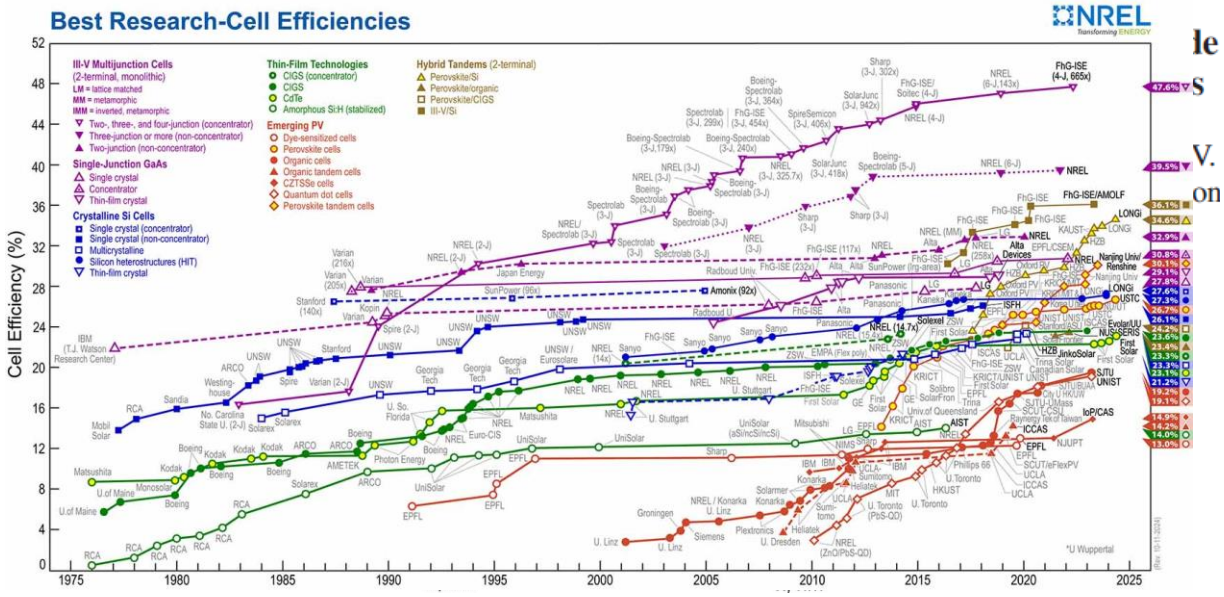
OPEN

Solar energy converters based on multi-junction photoemission solar cells

ved: 7 July 2017
pted: 13 November 2017

O. E. Tereshchenko[1,2], V. A. Golyashov[1], A. A. Rodionov[1], I. B. Chistokhin[1], N. V. Kislykh[3], A. V. Mironov[3] & V. V. Aksenov[3]

PHYSICAL REVIEW APPLIED 8, 034026 (2017)



le
s
V.
on

Наука в Сибири

ИЗДАНИЕ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

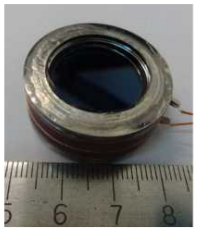
НОВОСТИ · СО РАН СЕГОДНЯ · КОНТАКТЫ · ПЕЧАТНАЯ ВЕРСИЯ · РЕКЛАМА · С

Наука для общества Образование Организация науки Просто о сложном Мнения Инфраструкту

Сибирские ученые сделали эффективный вакуумный фотодиод для солнечных батарей

23 ноября 2017

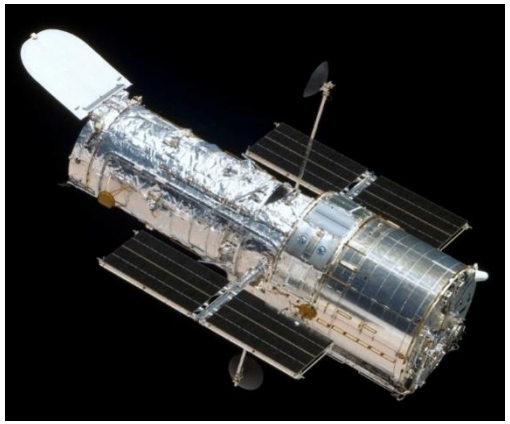
Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН совместно с ЗАО «Экран ФЭП» создали новый тип вакуумного фотодиода, который позволяет эффективно преобразовывать свет в электричество и перспективен для использования в солнечной энергетике, особенно при размещении устройств в космосе. Результаты этой работы опубликованы в журнале Scientific Reports.



При преобразовании света в электричество есть две проблемы: как выбить много электронов и как собрать и заставить их двигаться в определенном направлении (в противном случае, если электроны мечутся по полупроводнику бесцельно, он просто нагревается). В настоящее время наиболее эффективны многокаскадные полупроводниковые преобразователи. Сибирские ученые предложили использовать вакуумный фотодиод. Его отличие в том, что полупроводниковые электроды не соприкасаются, а находятся на определенном расстоянии друг от друга в вакууме, это позволяет взять анод независимо от катода, то есть сделать их структуру и состав, не ориентируясь на то, как они будут сочетаться

Создания высокоэффективных УФ фотокатодов для космических детекторов в диапазоне 100-200 нм и 150-320 нм на основе вакуумных электронно-оптических преобразователей

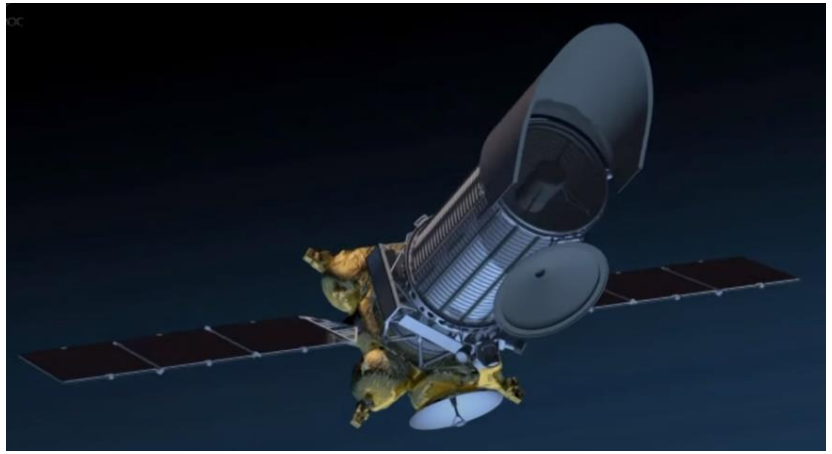
«Спектр-УФ» – единственный крупный УФ телескоп в период 2029-2039 гг.



Телескоп им. Хаббла (HST)
1990-202?? гг.
NASA/ESA

2009 г. – последний ремонт на орбите, дальнейшее обслуживание невозможно.

УФ телескоп NASA следующего поколения LUVOIR после 2035г (проект).



«Спектр-УФ» (РОСКОСМОС)
Запуск в 2029 г.

После 2029 г. **российская наука получит монопольный доступ** к наблюдениям высокого пространственного и спектрального разрешения в УФ диапазоне.

«Спектр-УФ» по многим параметрам превзойдёт телескоп им. Хаббла.

PHYSICAL REVIEW LETTERS **129,** 166802 (2022)

Editors' Suggestion

New Spin-Polarized Electron Source Based on Alkali Antimonide Photocathode

V. S. Rusetsky,[1,2] V. A. Golyashov,[1,3,4] S. V. Eremeev,[5] D. A. Kustov,[1] I. P. Rusinov,[6] T. S. Shamirzaev,[1,4] A. V. Mironov,[2] A. Yu. Demin,[2] and O. E. Tereshchenko[1,3,4,*]

[1]*Rzhanov Institute of Semiconductor Physics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk 630090, Russia*

[2]*CJSC "Ekran FEP", Novosibirsk 630060, Russia*

[3]*Synchrotron radiation facility SKIF, Boreskov Institute of Catalysis, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Kol'tsovo 630559, Russia*

[4]*Novosibirsk State University, Novosibirsk 630090 Russia*

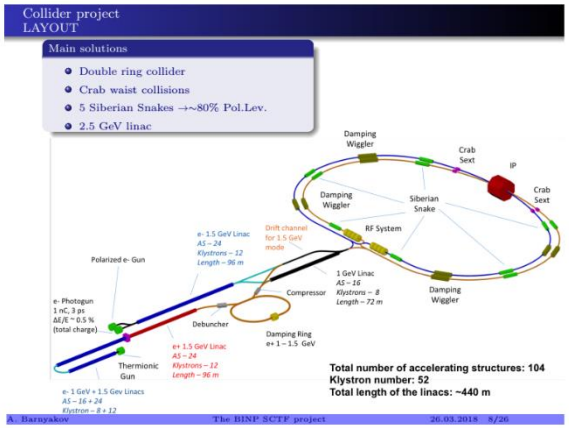
[5]*Institute of Strength Physics and Materials Science, Tomsk 634055, Russia*

[6]*Tomsk State University, Tomsk 634050, Russia*

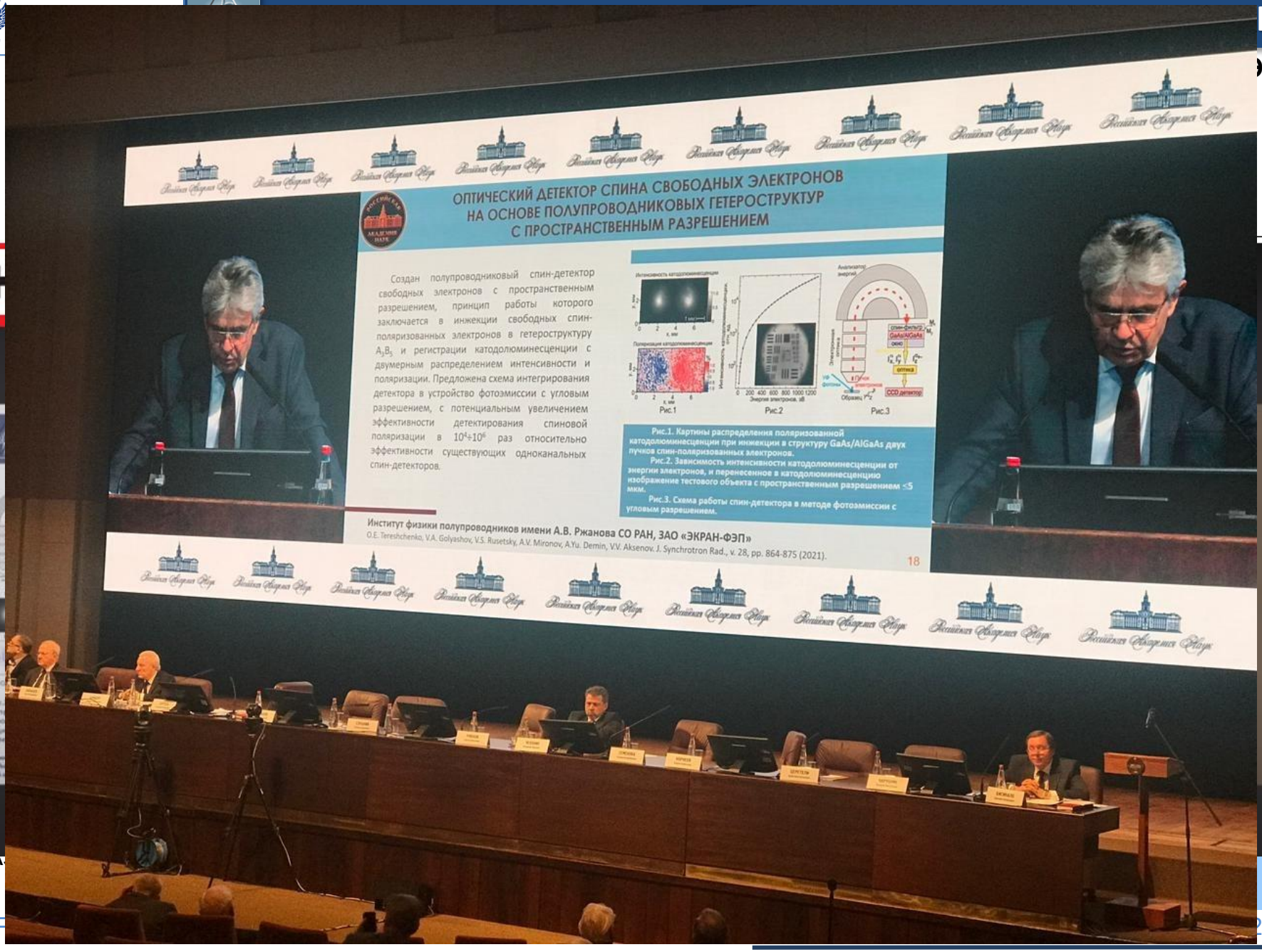
$P_e > 50\ \%$

$MTE \approx kT$

$I_e \sim 100$ mA



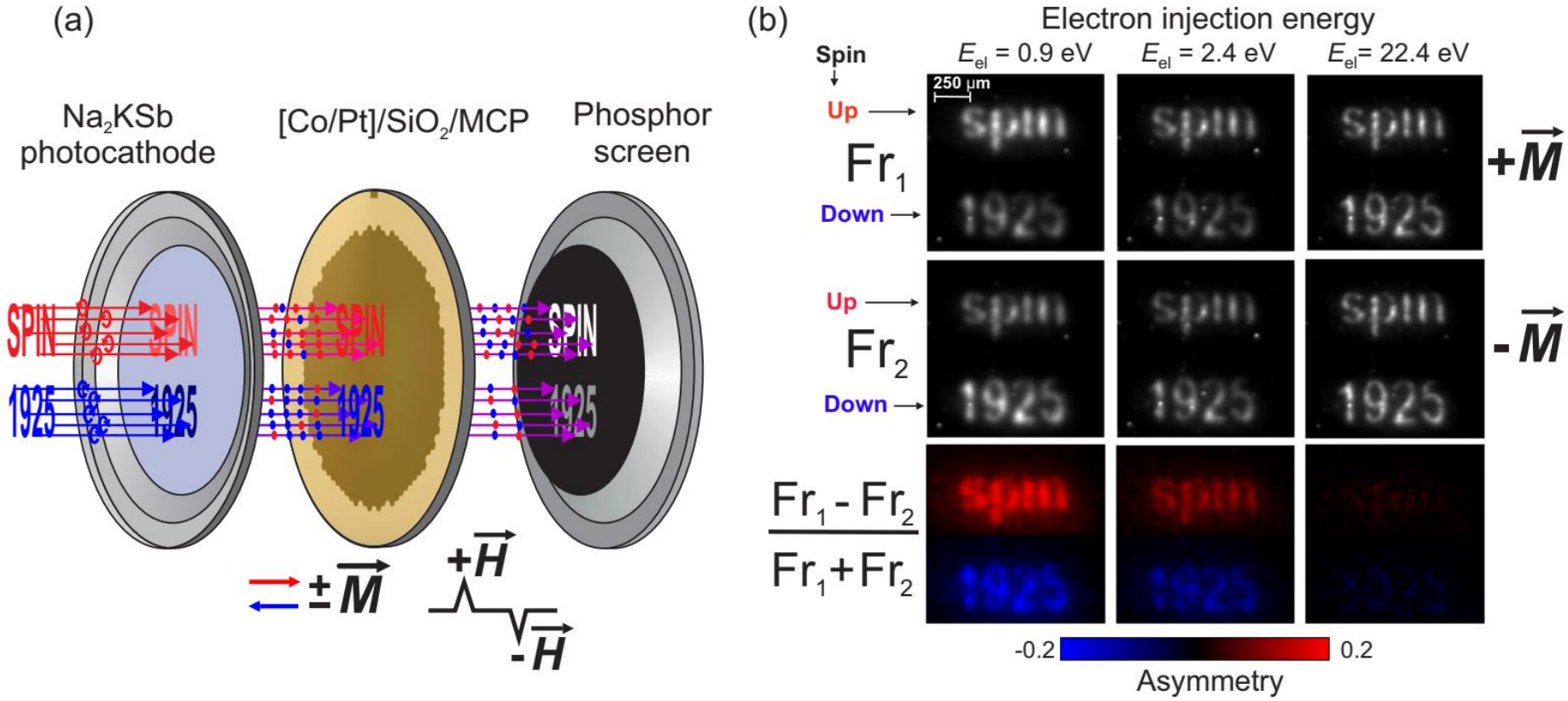
Сотрудничество науки (ИФП СО РАН), образования (НГУ, НГТУ) и производства ("Экран ФЭП")



J. Synchrotron Rad. (2021). 28, 864

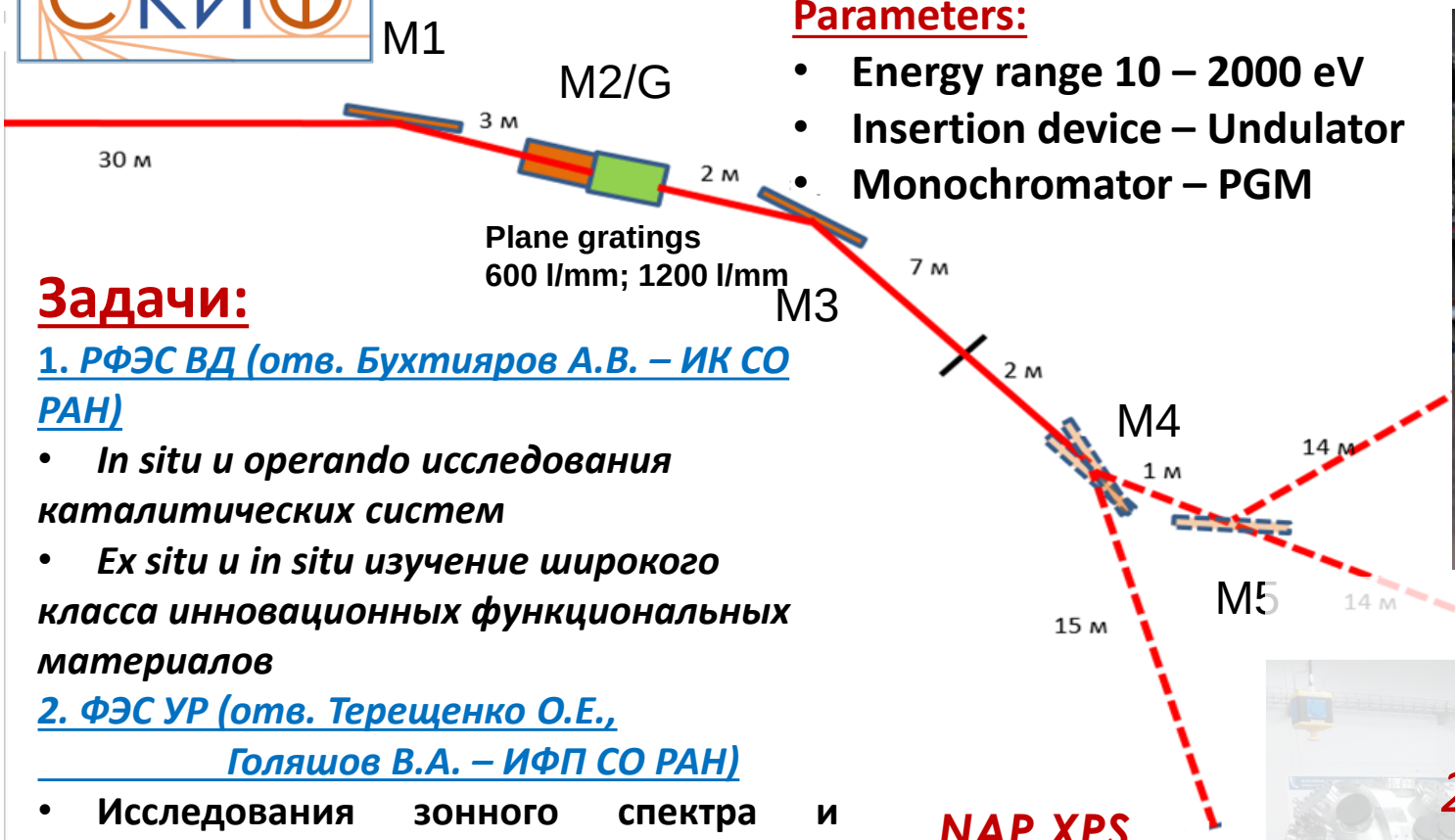
Direct spin imaging detector based on freestanding magnetic nanomembranes with electron optical amplification

O. E. Tereshchenko,[1,2,3,*] V. V. Bakin,[1] S. A. Stepanov,[3] V. A. Golyashov,[1,2,3] A. S. Mikaeva,[1] D. A. Kustov,[1] V. S. Rusetsky,[1,4] S. A. Rozhkov,[1,3] H. E. Scheibler,[1,3] and A. Yu. Demin[4]



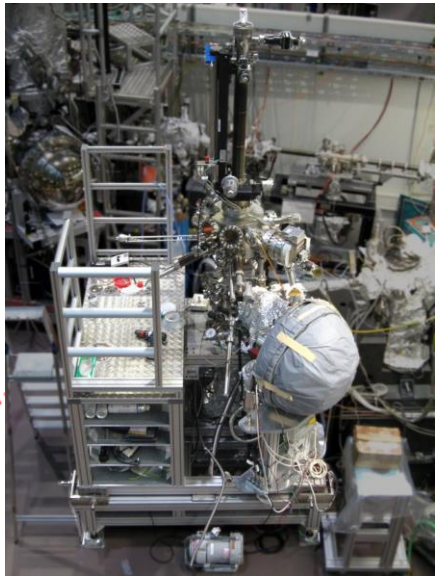
"While all principles and components of the detector are known, the combination of them makes it an innovative and promising imaging spin-polarization detector, which can be widely used, e.g., in electron spectroscopies. ***Congratulations to the authors on the realization of this promising instrument!*** Without question, I recommend publication of the manuscript."

Станция 1-6: «Электронная структура» Spin-ARPES



Parameters:

- **Energy range 10 – 2000 eV**
- **Insertion device – Undulator**
- **Monochromator – PGM**



Задачи:

1. РФЭС ВД (отв. Бухтияров А.В. – ИК СО РАН)

- ***In situ и operando исследования каталитических систем***
- ***Ex situ и in situ изучение широкого класса инновационных функциональных материалов***

2. ФЭС УР (отв. Терещенко О.Е., Голяшов В.А. – ИФП СО РАН)

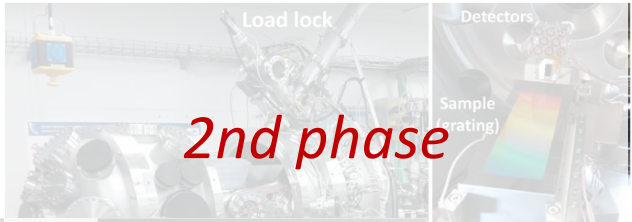
- **Исследования зонного спектра и спиновой структуры твердых тел для приложений наноэлектроники и спинтроники**

3. Рефлектометрия (отв. Николенко А.Д. – ИЯФ СО РАН)

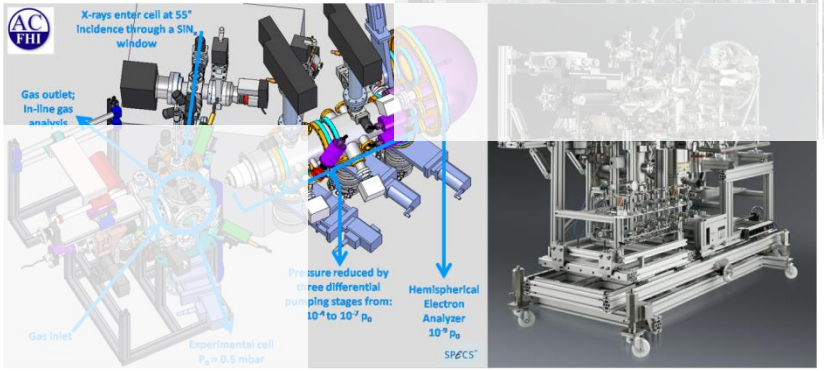
- **Аттестация спектральных оптических элементов,**

Reflectometer

2nd phase



NAP XPS



ОУС-2023 **Возникновение и дефазировка зон Флоке-Блоха на временных масштабах меньше периода волны**

Article

Build-up and dephasing of Floquet–Bloch bands on subcycle timescales

https://doi.org/10.1038/s41586-023-05850-x

Received: 21 March 2022

Accepted: 15 February 2023

S. Ito[1,7], M. Schüler[2,3,7], M. Meierhofer[4], S. Schlauderer[4], J. Freudenstein[4], J. Reimann[1], D. Afanasiev[4], K. A. Kokh[5], O. E. Tereshchenko[5], J. Güdde[1], M. A. Sentef[6]✉, U. Höfer[1,4]✉ & R. Huber[4]✉

Nature 616, 696 (2023)

Article

Tunable non-integer high-harmonic generation in a topological insulator

https://doi.org/10.1038/s41586-021-03466-7

Received: 28 August 2020

Accepted: 17 March 2021

C. P. Schmid[1], L. Weigl[1], P. Grössing[2], V. Junk[2], C. Gorini[2,7], S. Schlauderer[1], S. Ito[3], M. Meierhofer[1], N. Hofmann[1], D. Afanasiev[1], J. Crewse[2], K. A. Kokh[4,5], O. E. Tereshchenko[3,6], J. Güdde[3], F. Evers[2], J. Wilhelm[2✉], K. Richter[2✉], U. Höfer[3] & R. Huber[1✉]

Nature 593, 385 (2021)

LETTER

https://doi.org/10.1038/s41586-018-0544-x

Subcycle observation of lightwave-driven Dirac currents in a topological surface band

J. Reimann[1], S. Schlauderer[2], C. P. Schmid[2], F. Langer[2], S. Baierl[2], K. A. Kokh[3,4], O. E. Tereshchenko[4,5], A. Kimura[6], C. Lange[2], J. Güdde[1], U. Höfer[1]* & R. Huber[2]*

Nature 562, 396 (2018)

«Пионерские» работы

- **Универсальный химический метод приготовления структурно-упорядоченных поверхностей полупроводников: III-V, II-VI, IV-VI (разработан)**
- **Новый высокоэффективный источник спин-поляризованных электронов (открыт)**
- **Новые спин-детекторы с пространственным разрешением (созданы и работают)**

Oleg E. Tereshchenko

FOLLOWING

Other names

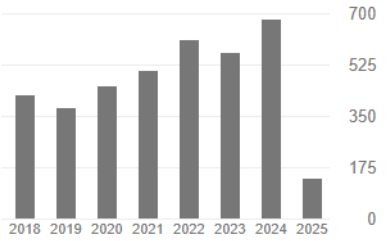
Rzhanov Institute of Semiconductor Physics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences
Verified email at isp.nsc.ru

semiconductors photocathodes spin-detectors topological insulators ARPES

TITLE	CITED BY	YEAR
Determination of the Verdet constant in the topological insulator Bi1. 1Sb0. 9Te2S YE Kovalenko, MV Yakushev, VI Grebennikov, M Orlita, KA Kokh, ... Materials Letters, 138325		2025
HgCdTe surface passivation with low-temperature plasma-enhanced atomic layer deposited HfO2 ER Zakirov, GY Sidorov, IA Krasnova, VA Golyashov, VI Vdovin, ... Applied Surface Science 684, 161973		2025
Microscopic mechanism of displacive excitation of coherent phonons in a bulk Rashba semiconductor P Fischer, J Bär, M Cimander, L Feuerer, V Wiechert, O Tereshchenko, ... Physical Review B 111 (8), L081201	1	2025
Splitting of the absorption edge in the topological insulator Bi1. 1Sb0. 9Te2S: mid-infrared magneto-optical study M Yakushev, TV Kuznetsova, DV Belyaev, VI Grebennikov, M Orlita, ... Journal of Physics D: Applied Physics		2025
Phase transitions, Dirac and Weyl semimetal states in $Mn_{1-x}Ge_xBi_2Te_4$ AM Shikin, NL Zaitsev, TP Estyunina, DA Estyunin, AG Rybkin, ... Scientific Reports 15 (1), 1741		2025
Chemical Composition Dependent Raman Scattering Spectroscopy of MBE Grown Manganese-Based Bismuth Telluride Topological Insulator Thin Films N Kumar, DV Ishchenko, IA Milekhin, ED Kyrova, EV Fedosenko, ... Journal of Raman Spectroscopy		2025

Cited by VIEW ALL

	All	Since 2020
Citations	5394	2955
h-index	36	24
i10-index	123	79



Public access VIEW ALL

8 articles not available

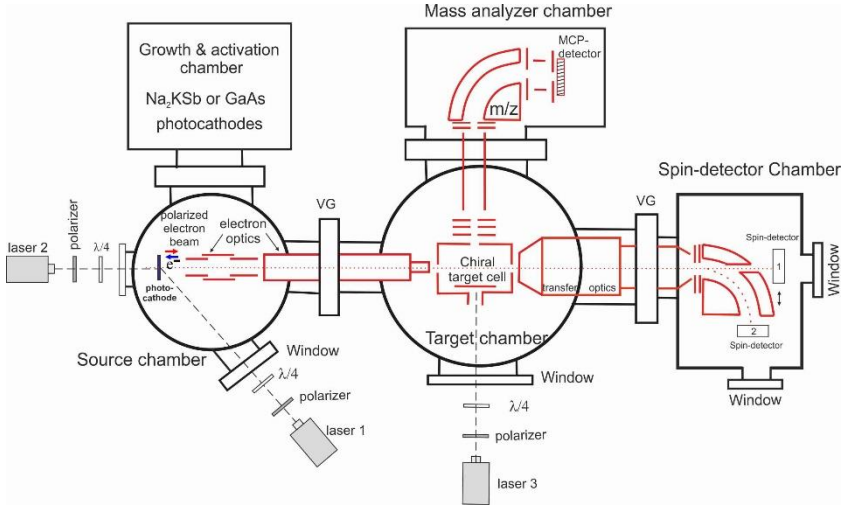
53 articles available

Based on funding mandates

За последние 5 лет опубликовано более 70 статей, около 50 в Q1

Планы: **Спин-поляризованные источники и детекторы электронов в исследованиях резонансного рассеяния электронов**

(I) Природа хиральной асимметрии на молекулярном уровне в исследованиях резонансного рассеяния спин-поляризованных электронов



Междисциплинарный РНФ с Институтом физики молекул и кристаллов, Уфа

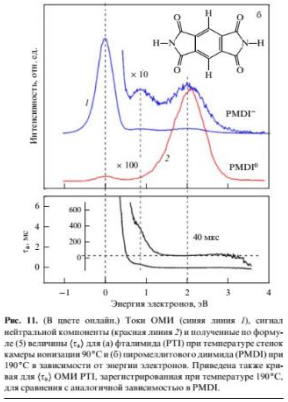
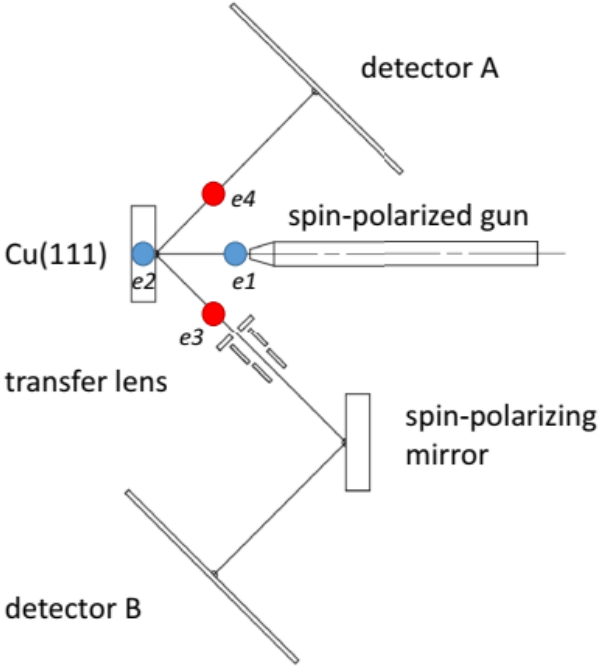


Рис. 11. (В цвете онлайн.) Токи ОМИ (синяя линия 1), сигнал нейтральной компоненты (красная линия 2) и полученные по формуле (5) величины (τ_a) для (а) фталимида (PTI) при температуре стенок камеры ионизации 90°C и (б) пиромеллитового диимида (PMDI) при 190°C в зависимости от энергии электронов. Приведена также кривая для (τ_a) ОМИ PTI, зарегистрированная при температуре 190°C, для сравнения с аналогичной зависимостью в PMDI.

Спектроскопия диссоциативного захвата спин-поляризованных электронов (позитронов)

(II) Квантовая запутанность на поляризованных электронах (неравенства Белла)

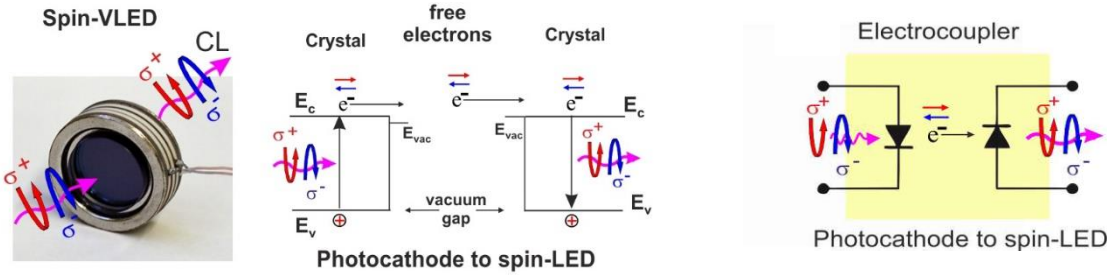


- **изучение углового орбитального момента электронов: возможна ли передача орбитального момента фотона электрону?**

Заключение

- ***Развитие научного направления происходит наиболее интенсивно, если знания рождают технологии, которые заканчиваются прибором, позволяющим изучать физику.***

- Развитие вакуумной спинтроники в области создания новых спин-детектируемых устройств способствует развитию твердотельной спинтроники. Интересной идей, кажется, реализация т.т. спин-зависимых устройств с вакуумным зазором.



- ✓ СКИФ: Задача построить современную фотоэмиссионную станцию с угловым и спиновым разрешением (SR ARPES) с предельными параметрами (разрешение (1 мэВ), поляризация, температура (< 4 К), размер пучка < 1 мкм).

- В планах:

- эксперимент по спин-зависимому рассеянию e- на хиральных молекулах;

- изучение углового орбитального момента электронов;

- квантовая запутанность на поляризованных электронах (неравенства Белла)