



РОССИЙСКИЙ ФОРУМ
МИКРОЭЛЕКТРОНИКА
10 ЛЕТ

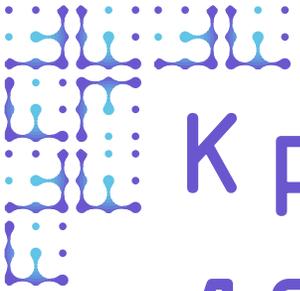


ФЕДЕРАЛЬНАЯ
ТЕРРИТОРИЯ
«СИРИУС»

24 - 27
сентября
2024

10 лет
вместе!

Кремниевые фотодиоды и лавинные
фотодиоды для литографических
установок на длинах
волн 11.2 и 13.5 нм



Кремниевые фотодиоды и лавинные фотодиоды для литографических установок на длинах волн 11.2 и 13.5 нм



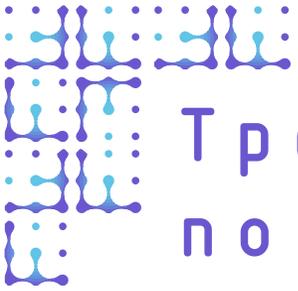
В.В. Забродский, П.Н. Аруев, А.В. Николаев,
Е.В. Шерстнев

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе
Санкт-Петербург



Мотивация

- ▶ Развитие конкурентоспособной микроэлектронной промышленности невозможно без литографических машин с современными топологическими нормами [1]
- ▶ Несколько десятков лет в мире идёт активное освоение длины волны 13.5 нм, как перспективной платформы для процессов литографии
- ▶ Потенциальной альтернативой длине волны 13.5 нм является длина волны 11.2 нм с менее "грязным" источником излучения
- ▶ Любые работы по созданию установок литографии нового поколения требуют фундаментальных работ по поиску компактных, надёжных источников излучения
- ▶ Для всех установок литографии нужны стабильные датчики для измерения дозы засветки фоторезиста
- ▶ Доступность эффективных детекторов и систем для регистрации длин волн 11.2 и 13.5 нм – необходимое условие для развития конкурентоспособной микроэлектронной промышленности

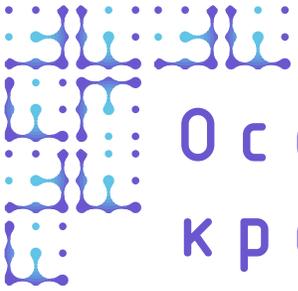


Требования к детекторам для работ по литографическим машинам

- ▶ Эффективная регистрация излучения на длинах волн 11.2 и 13.5 нм
- ▶ Фронты нарастания и спада ~ 1 нс (для исследования плазмы)
- ▶ Стойкость к излучению длин волн 11.2, 13.5 нм на уровне десятков и сотен кДж/см²
- ▶ Возможность массового изготовления детекторов с активными областями до 1 см²
- ▶ Селективность чувствительности в области рабочей длины волны
- ▶ Возможность создания детекторов с лавинным умножением
востребована в работах по исследованию источников излучения

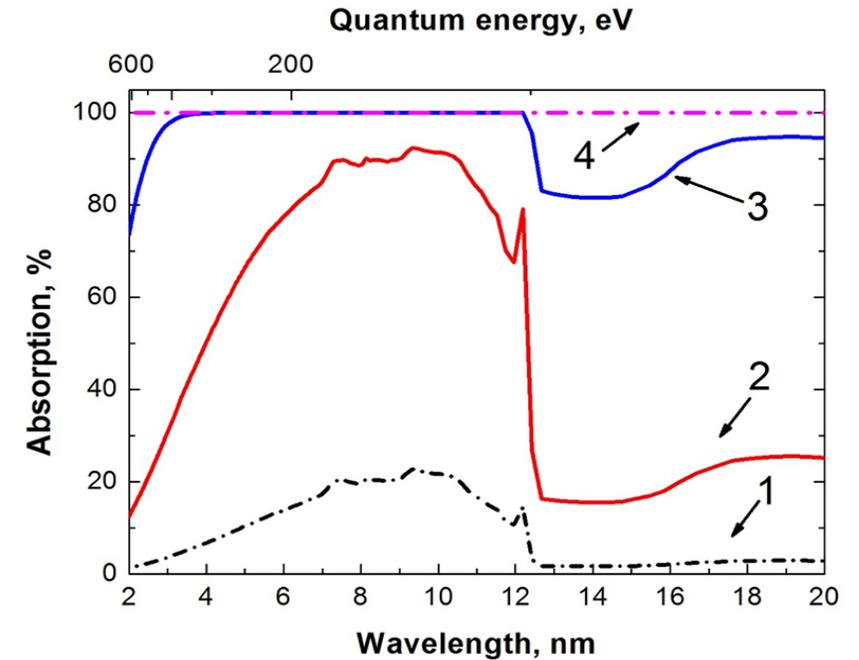
Состояние дел в мире

- ▶ Основным инструментом для регистрации излучения на длинах волн 11.2 и 13.5 нм являются AXUV и SXUV кремниевые фотодиоды (Ortodiode, USA)
- ▶ В РФ данным направлением занимается ФТИ им. Иоффе больше 18 лет

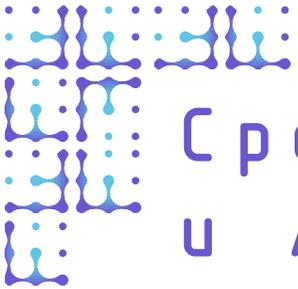


Особенности поглощения излучения в кремнии, диапазон длин волн 2–20 нм

- ▶ 1 – слой кремния толщиной 0.01 мкм
- ▶ 2 – слой кремния толщиной 0.1 мкм
- ▶ 3 – слой кремния толщиной 1 мкм
- ▶ 4 – слой кремния толщиной 10 мкм

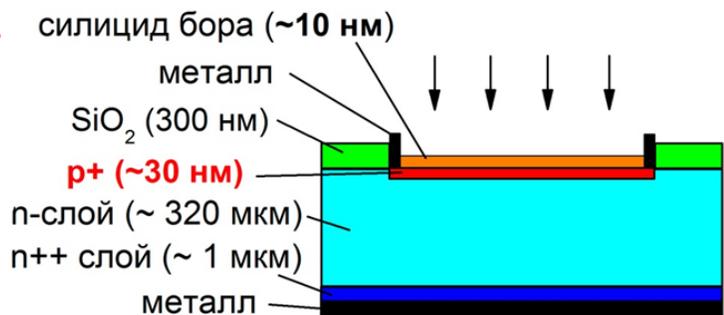


- ▶ Для 100% поглощения излучения на длинах волн 11.2 и 13.5 нм достаточно иметь толщину активной области кремниевого фотодиода 10 мкм
- ▶ “Мертвый” слой на поверхности активной области детектора должен быть не больше 0.01 мкм для обеспечения эффективной регистрации длин волн 11.2 и 13.5 нм

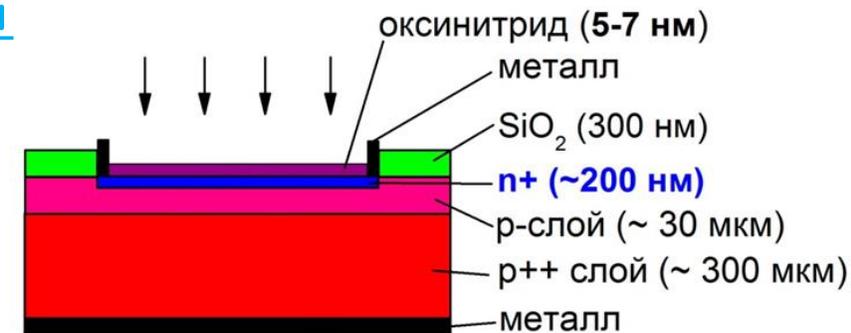
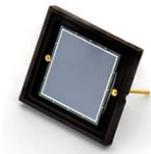


Сравнение фотодиодов SPD (ФТИ Иоффе) и AXUV (Optodiode, США) (вариант front illuminated)

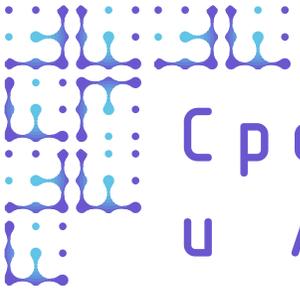
- ▶ SPD **p+** активная область
- ▶ **фотоны** в поверхностных 30 нм конвертируются **в электроны**



- ▶ AXUV **n+** активная область
- ▶ **фотоны** в поверхностных 200 нм конвертируются **в дырки**



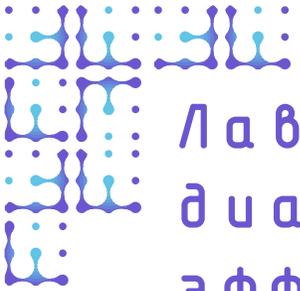
Фотодиод	Внутренний квантовый выход ($\lambda=121$ нм)	Однородность чувствительности (10x10 мм, $\lambda=121$ нм)	Дegradация чувствительности на 5% ($\lambda=121$ нм)	Условия хранения
SPD	~ 60 %	~ 3 - 6 %	~ 10 мВт/см ²	Лабораторные
AXUV	~ 100 %	~ 1 - 2 %	~ 10 мВт/см ²	Азот, вакуум



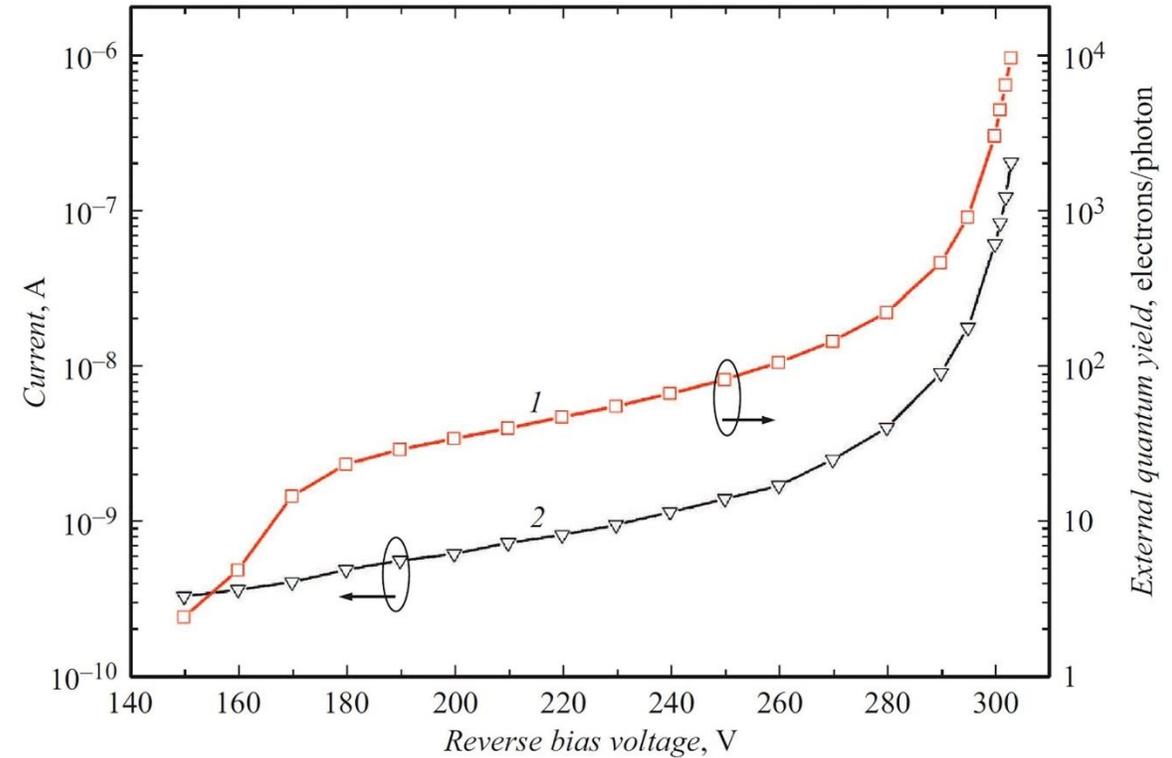
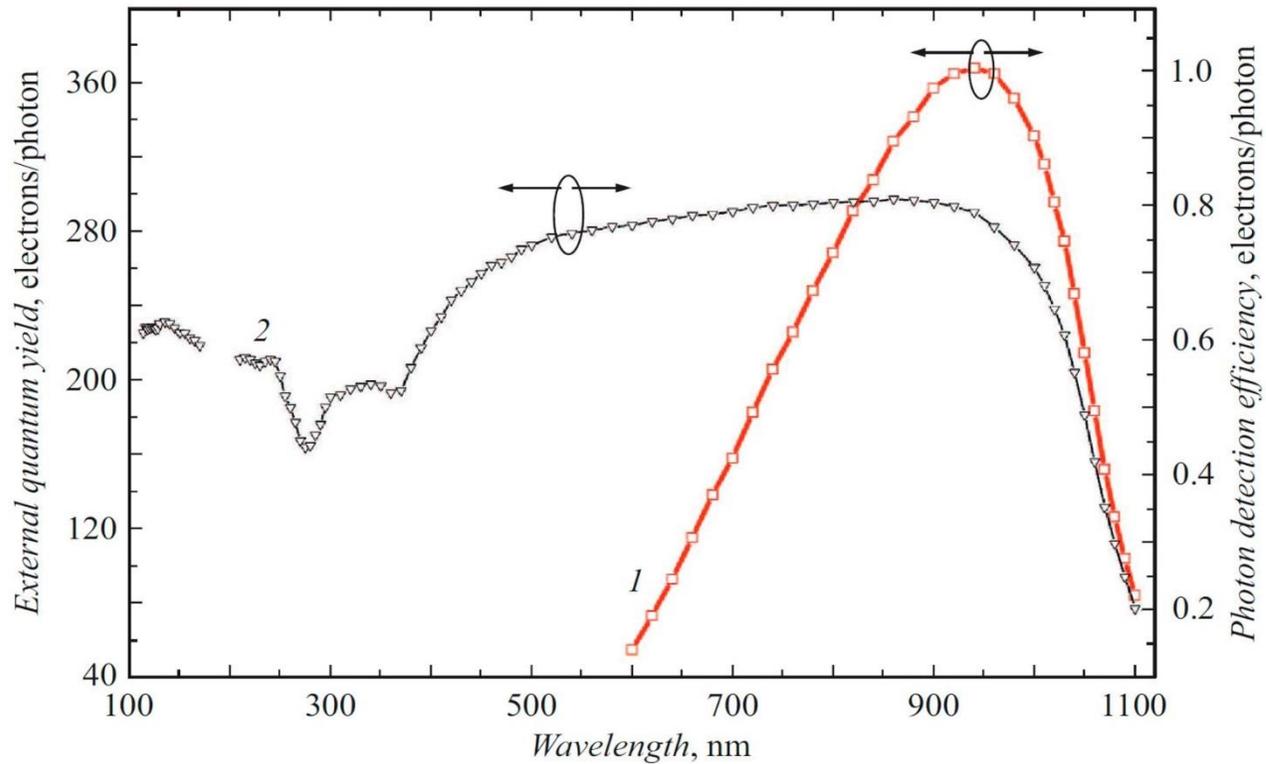
Сравнение фотодиодов SPD (ФТИ Иоффе) и AXUV (Optodiode, США)

потенциал архитектур и его реализация

	Front illuminated	Back illuminated	Avalanche
SPD р+ активная область	 существует	 существует	 существует
AXUV п+ активная область	 существует	 не реализовано	 невозможно

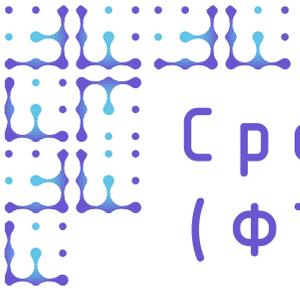


Лавинный фотодиод ASPD с активной областью диаметр 1.0 мм демонстрирует высокую эффективность в самом сложном для регистрации спектре - длина волны 121 нм



- ▶ 1 - ASPD front illuminated
- ▶ 2 - ASPD back illuminated

- ▶ 1 - ASPD back illuminated
 $\lambda = 116 \text{ нм}$
- ▶ 2 - ASPD мемновой мок



Сравнение чувствительности SPD (ФТИ Иоффе) и AXUV (Optodiode, США)

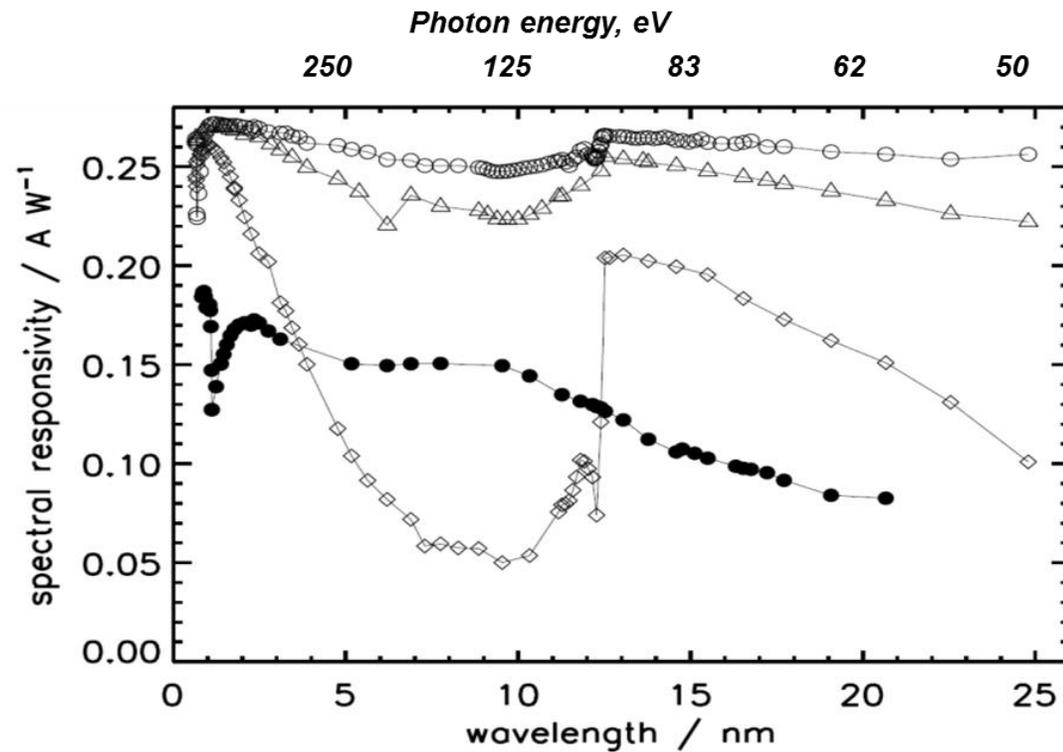
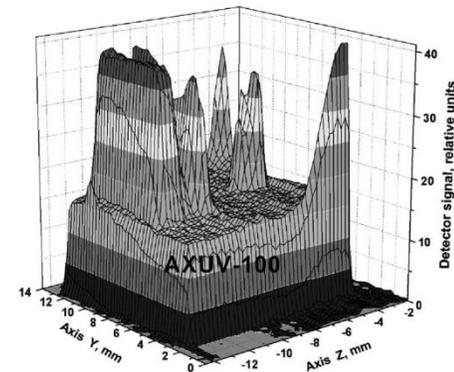
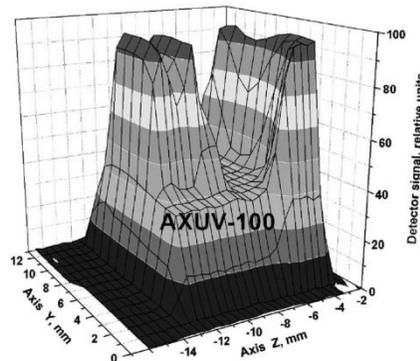
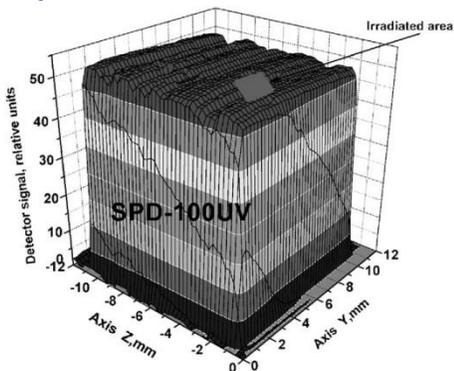


Figure 1. Spectral responsivity of EUV photodiodes. Data for an AXUV-type (○), an SXUV-type diode (◇), for a GaAsP/Au Schottky diode (●) and for an SPD diode (△) are shown (for details)



Примеры деградации кремниевых фотодиодов

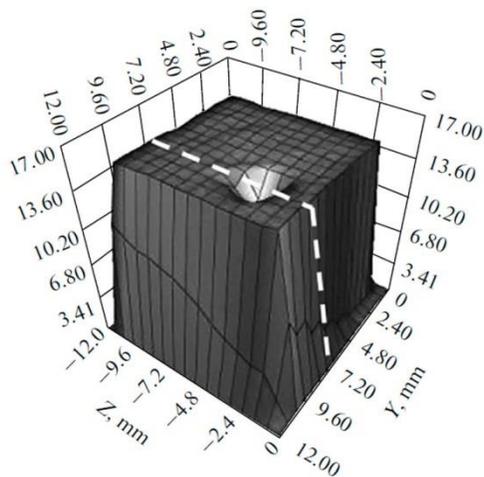
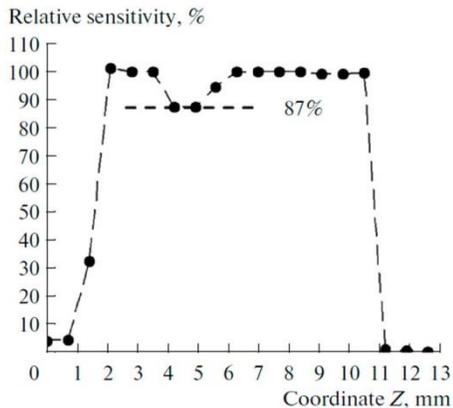


▶ $h\nu = 205$ эВ 75 Дж/см²
 $\lambda = 6.05$ нм

▶ $h\nu = 205$ эВ 2.7 Дж/см²
 $\lambda = 6.05$ нм

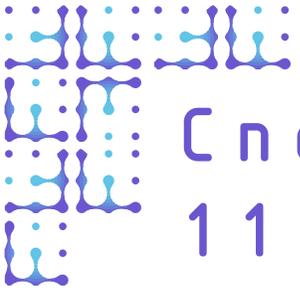
▶ $h\nu = 205$ эВ 3.5 Дж/см²
 $\lambda = 6.05$ нм

P.N. Aruev, et al., Nucl. Instr. and Meth. A (2009)



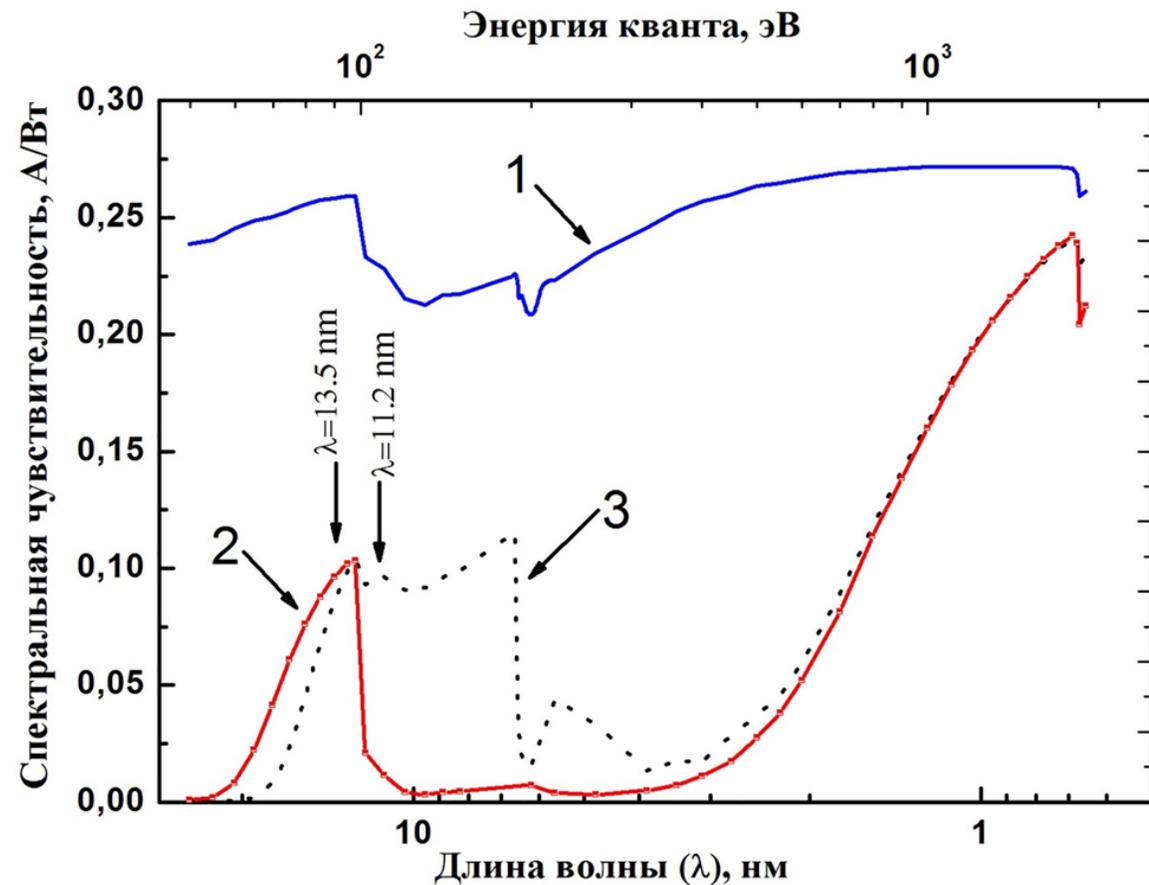
▶ SPD-100UV сканирование
 $h\nu = 100$ эВ $\lambda = 12.4$ нм
Доза 120 Дж/см² ($h\nu = 81-167$ eV)

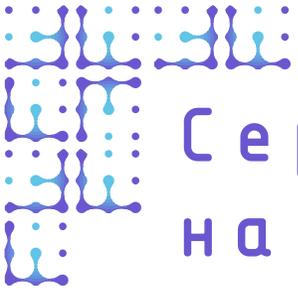
Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics, 2014, Vol. 78, No. 12, pp. 1388-1391



Спектральная зависимость в области 11.2, 13.5 нм

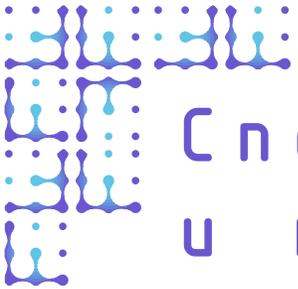
- ▶ 1 - фотодиод SPD без интегрированного фильтра
- ▶ 2 - фотодиод SPD с интегрированным фильтром тип 1
- ▶ 3 - фотодиод SPD с интегрированным фильтром тип 2





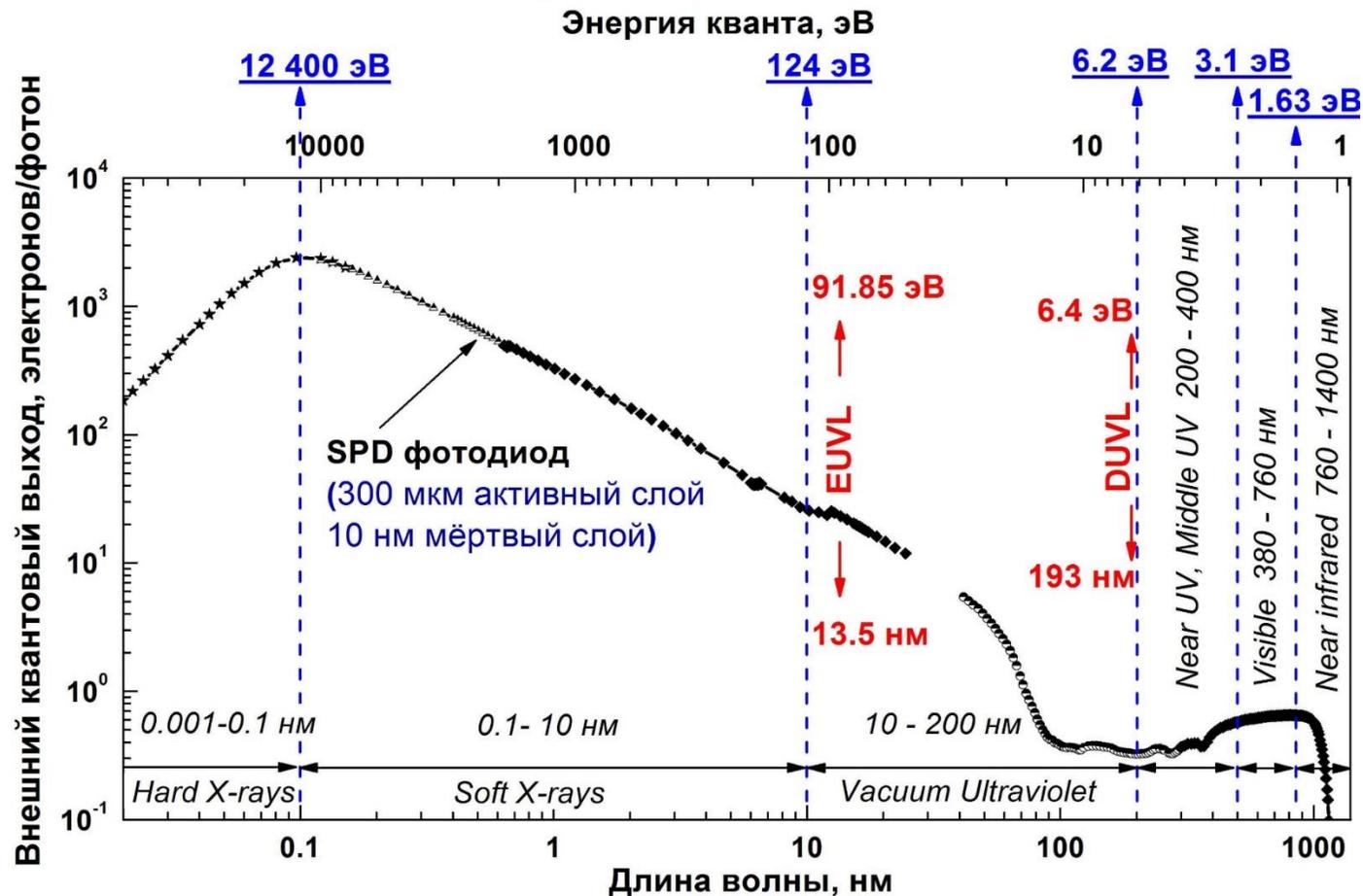
Сертификаты калибровок SPD фотодиодов на синхротроне MLS (Германия)

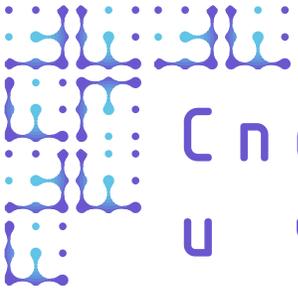




Спектральный диапазон 0.02 - 1400 нм и квантовый выход кремниевого SPD фотодиода

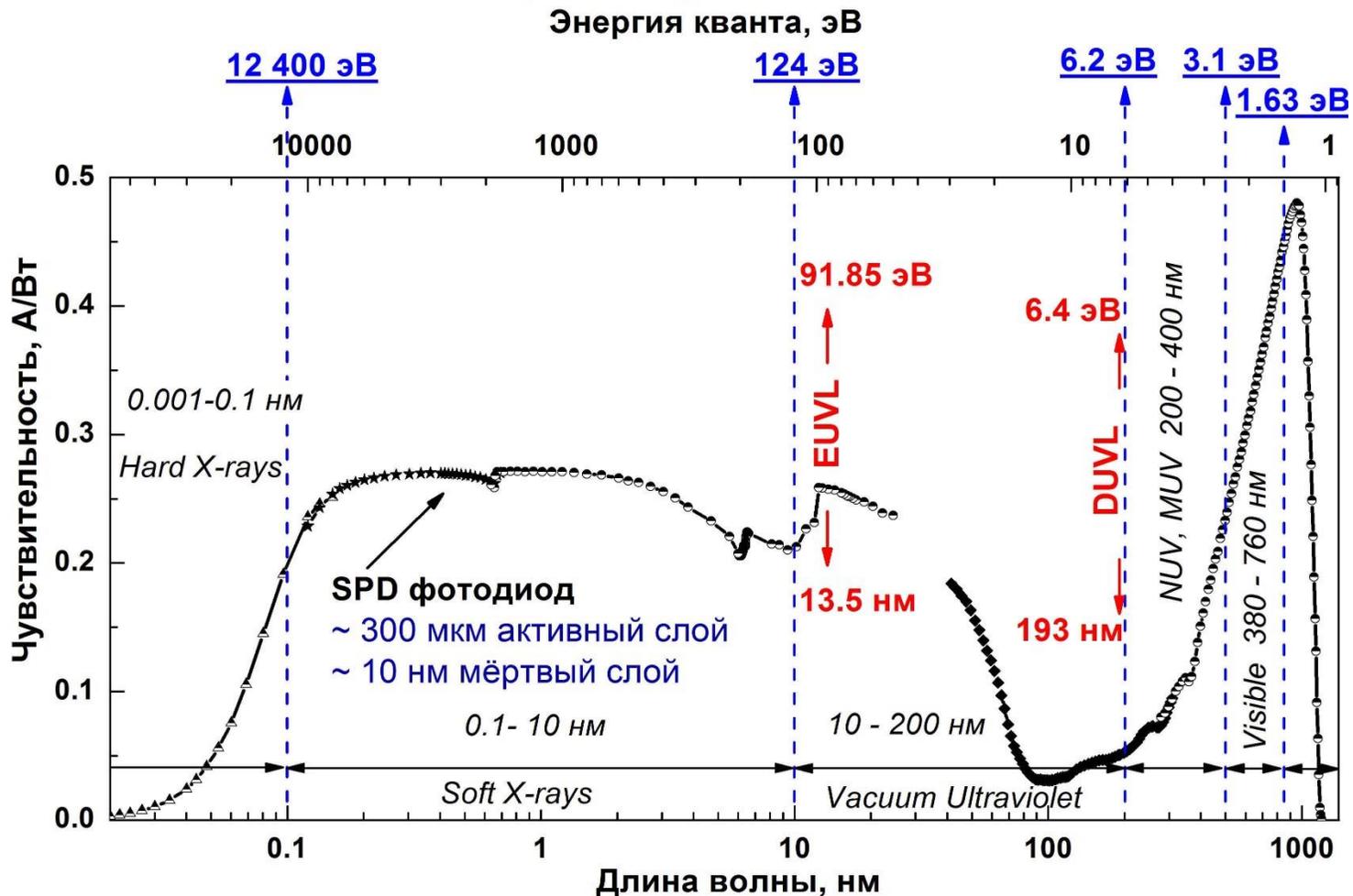
ISO 21348 Definitions of Solar Irradiance Spectral Categories

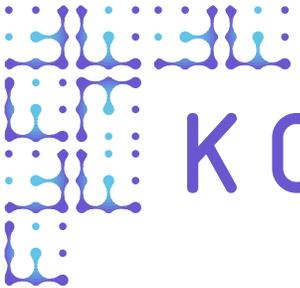




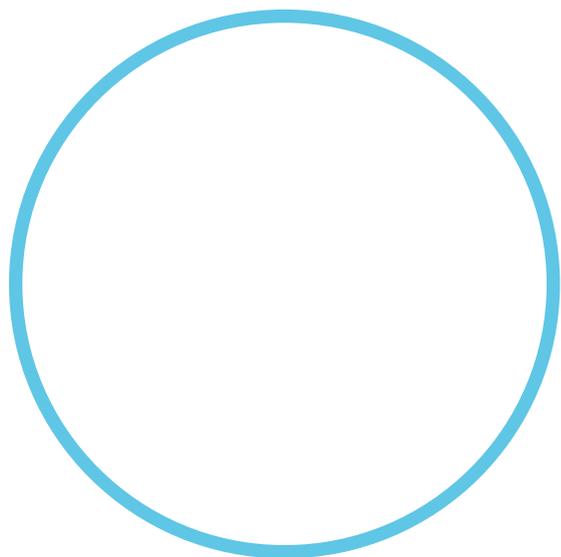
Спектральный диапазон 0.02 - 1400 нм и чувствительность кремниевого SPD фотодиода

ISO 21348 Definitions of Solar Irradiance Spectral Categories



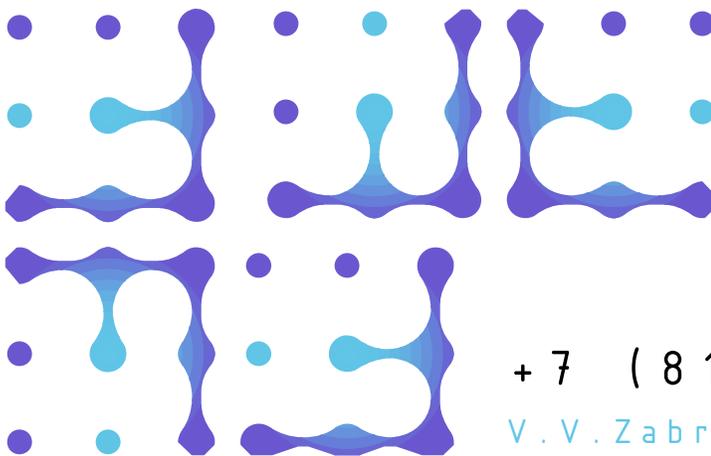


КОНТАКТЫ



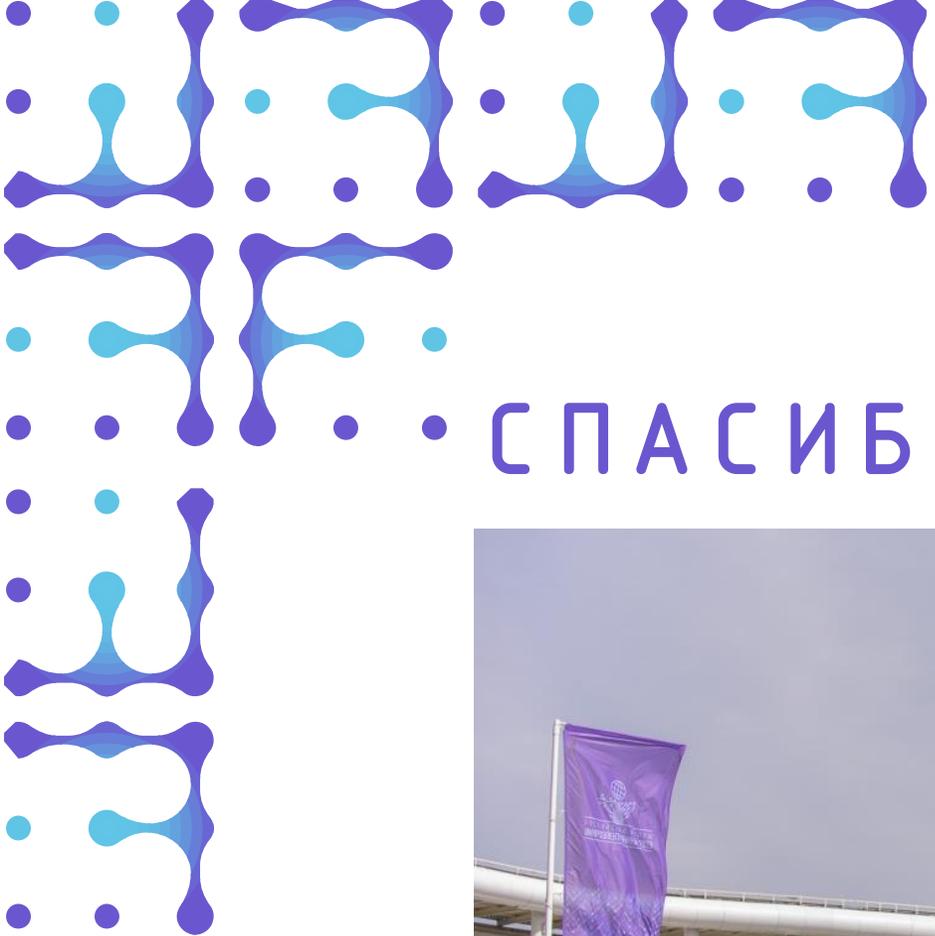
Забродский В.В.

Физик



+7 (812) 292-73-63

V.V.Zabrodskij@mail.ioffe.ru



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ



РОССИЙСКИЙ ФОРУМ
МИКРОЭЛЕКТРОНИКА
10 ЛЕТ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ
ТЕРРИТОРИЯ
«СИРИУС»

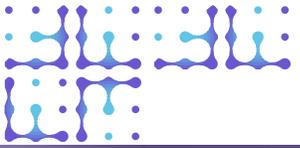
23 –
сентября
2024



microelectronica.ru



Подписывайтесь на нас
в телеграм-канале
и будьте в курсе всех
последних новостей!



10 ЛЕТ – КАК ОДИН МИГ

2015 Алшма



2016 Алшма



2017 Алшма



2018 Алшма

2019 Алшма



2020 Ялта

2021 Алшма



2022 Роза Хутор



2023 Федеральная территория «Сириус»

