

М. В. Булавин, С. А. Куликов

Установка для исследования радиационных повреждений в материалах и электронных компонентах

Установка для радиационных исследований на пучке №3 реактора ИБР-2 в Лаборатории нейтронной физики им. И.М.Франка имеет уникальные характеристики. Она позволяет проводить облучение образцов быстрыми нейтронами и гамма-квантами всего в нескольких десятках сантиметров от активной зоны реактора, что дает возможность за короткое время получать на исследуемом образце большой флюенс нейтронов в широком энергетическом диапазоне и проводить онлайн-измерения отказоустойчивости электронных компонентов. Размещение образцов для получения больших флюенсов осуществляется на головной части установки в экспериментальном зале перед циклом работы реактора, затем вся установка вместе с образцами перемещается по рельсовому пути сквозь биологическую защиту к активной зоне реак-

тора. Для получения меньших флюенсов в установке предусмотрены дополнительные позиции, в которые можно вставлять и снимать образцы в процессе работы реактора без перемещения всей конструкции. При необходимости установка может быть доукомплектована криогенными системами для получения низких температур на образце (до ~ 20 К).

Плотность потока нейтронов с энергией 25 мэВ ÷ 10 МэВ составляет от $5 \cdot 10^5$ до $2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, что обеспечивает флюенс нейтронов на образце за один стандартный цикл работы реактора (11 суток) от $5 \cdot 10^{11}$ до $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$. При этом температура на образце во время облучения в самой ближней к активной зоне точке не превышает 50 °С.

На установке проводятся исследования радиационной стойкости широкого круга материалов, которые

M. V. Bulavin, S. A. Kulikov

Facility for Radiation Damage Studies in Materials and Electronic Components

The facility for radiation research installed at beam No.3 of the IBR-2 reactor at the Frank Laboratory of Neutron Physics possesses unique parameters. It allows one to carry out irradiation of samples with fast neutrons and gamma quants at a distance of a few dozen centimeters from the reactor core, which will make it possible to achieve a large neutron fluence on the sample tested in a wide energy range for a short period of time and implement online measurements on fault tolerance of electronic components. The arrangement of samples for obtaining large fluences is realized on the head part of the facility in the experimental hall before the reactor operation cycle; afterwards the facility with samples is moved along track through the biological shield to the reactor core. For achieving smaller fluences, additional positions are pro-

vided in the facility in which samples can be installed or removed during the reactor operation without displacing the whole structure. If needed, the facility may be resupplied with cryogenic systems for reaching low temperature on the sample (up to ~ 20 K).

The neutron flux density with an energy of 25 meV – 10 MeV is from $5 \cdot 10^5$ to $2 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, which provides the neutron fluence on the sample in one standard reactor operation cycle (11 days) from $5 \cdot 10^{11}$ to $2 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-2}$. At the same time, the temperature on the sample during irradiation at the point closest to the core is below 50°C.

Radiation resistance research of a wide range of materials is carried out at the facility which are either intended to be used or in the process of using at the facilities of the world's major scientific centres: magnetic field sensors

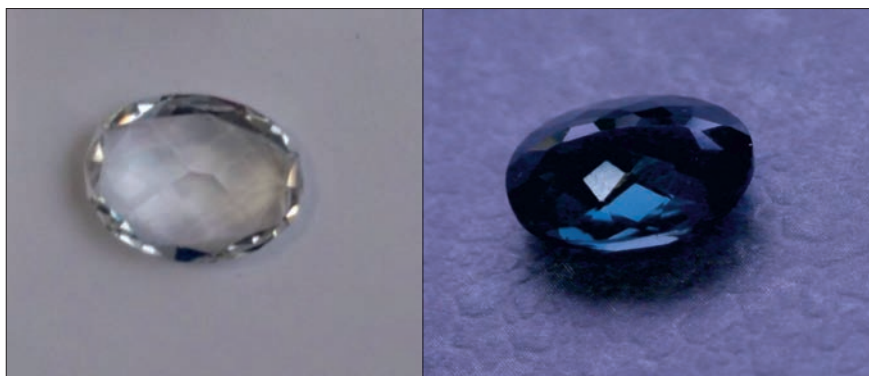
планируются к использованию либо уже используются на установках в крупных мировых научных центрах: сенсоров магнитного поля для токамаков ITER и DEMO, элементов детекторов и электроники для экспериментальных установок коллайдера LHC (ЦЕРН), нейтронных прерывателей (для проекта European spallation source), материалов для холодных замедлителей нейтронов ИБР-2 (ОИЯИ) и др.

Недавно на установке были выполнены модельные эксперименты по радиационному окрашиванию топазов и получению медицинских радионуклидов ^{99m}Tc , ^{99}Mo и ^{131}I .

В совместных исследованиях, проводимых на установке, принимают участие ученые из многих российских и зарубежных научных и научно-образовательных центров: Троицкого института инновационных и термоядерных исследований ГК «Росатом» (Москва), Национального исследовательского ядерного университета МИФИ (Москва), Физического института им. П. Н. Лебедева Российской академии наук (Москва), Уральского федерального университета (Екатеринбург, Россия), Лаборатории магнитных

сенсоров Национального университета «Львовская политехника» (Львов, Украина), Белорусского государственного технологического университета (Минск), Института ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан (Ташкент), Ускорительного центра TRIUMF (Ванкувер, Канада), физического департамента Нанкинского университета (Нанкин, Китай), European spallation source (Лунд, Швеция), МАГАТЭ (Вена) и др. Много исследований проводится также в сотрудничестве с учеными и инженерами других лабораторий ОИЯИ: ЛФВЭ, ЛЯП и ЛЯР.

Повышение интереса к проведению экспериментов на установке привело к увеличению количества исследуемых образцов и потребовало проведения работ по автоматизации процесса их установки (снятия) для минимизации дозы ионизирующего излучения, получаемой персоналом при работе с радиоактивными образцами. С этой целью в ЛНФ был разработан проект по внедрению роботизированного манипулятора в технологическую среду установки. Использование робота позволяет дистанционно устанавливать (снимать) образцы в различных точках головной части установки



Пример изменения цвета топаза после облучения на реакторе ИБР-2

Colour change of topaz after irradiation at the IBR-2 reactor

for tokamaks ITER and DEMO, elements of detectors and electronics for experimental facilities of the collider LHC (CERN), neutron choppers (for the European spallation source project), materials for the IBR-2 cold neutron moderators (JINR) and others.

Model experiments on radiation colouring of topazes and producing medical radionuclides ^{99m}Tc , ^{99}Mo and ^{131}I have recently been carried out at the facility.

A large number of Russian and foreign scientific and scientific-educational centres participate in collaborative studies carried out at the facility: the Troitsk Institute of Innovative and Thermonuclear Research of the State Corporation “Rosatom” (Moscow), the National Research Nuclear University MEPhI (Moscow), the Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences (LPI RAS) (Moscow), the Urals Federal University (Yekaterinburg, Russia), the Laboratory of Magnetic Sensors of the Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine),

the Belarussian State Technological University (Minsk, the Republic of Belarus), the Institute of Nuclear Physics of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan (Tashkent), the Accelerator Centre TRIUMF (Vancouver, Canada), the Physics Department of Nanjing University (Nanjing, China), the European Spallation Source (Lund, Sweden), IAEA (Vienna) and others. Much research is implemented as well in collaboration with scientists and engineers of the JINR Laboratories: VBLHEP, DLNP and FLNR.

Growing interest in carrying out experiments at the facility led to an increase in the number of samples tested and required the realization of activities on the process automation of their installation (removal) for minimizing the dose of ionizing radiation obtained by the staff during the work with radioactive samples. For this purpose a project for the implementation of a robotic arm in the technological environment of the facility has been developed at



Роботизированная система
перемещения образцов

The robotic system of moving
samples

FLNP. The use of the robot allows remote installing (removal) of samples in various points of the head part of the facility without a direct contact of the personnel with radioactive samples and structural elements before and after the irradiation.

Accuracy of the samples' location in the space is achieved by precise positioning of the facility by means of setting the required coordinates in the programme according to which the robotic system operates. In relation with possibility of independent and rapid change of samples, in conditions of high ionizing radiation fields, it will be available to carry out new kinds of experiments which will increase the productivity of the facility (the number of samples tested).

без прямого контакта персонала с радиоактивными образцами и элементами конструкции до и после облучения.

Точность расположения образцов в пространстве достигается прецизионным позиционированием установки путем задания требуемых координат в программе, по которой действует роботизированная система. В связи с появлением возможности независимой и быстрой смены образцов в условиях высоких полей ионизирующего излучения становится доступным проведение новых типов экспериментов и возрастает производительность установки (количество исследуемых образцов).

Список литературы / References

1. *Cheplakov A. et al.* Irradiation Facility at the IBR-2 Reactor for Investigating Material Radiation Hardness // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res., Sect. B. Nov. 2014. V. 12. P. 2.
2. *Afanasiev S. et al.* Investigation of SCSN-81 Scintillator Irradiated by Neutrons // CMS Internal Note. 2013. V. 2. P. 1–4.
3. *Bolshakova I.* Experimental Evaluation of Stable Long Term Operation of Semiconductor Magnetic Sensors at ITER Relevant Environment // Nucl. Fusion. Aug. 2015. V. 55, No. 8. P. 083006.
4. *Bolshakova I. et al.* Metal Hall Sensors for the New Generation Fusion Reactors of DEMO Scale // Nucl. Fusion. June 2017. V. 57, No. 11.
5. *Bulavin M., Kulikov S.* Current Experiments at the Irradiation Facility of the IBR-2 Reactor // J. Phys.: Conf. Ser. 2018. V. 1021, No. 012041. P. 1–4.