

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЛУЧЕНИЯ И ОХЛАЖДЕНИЯ КРЕМНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ НЕЙТРОННО-ТРАНСМУТАЦИОННОГО ЛЕГИРОВАНИЯ НА РЕАКТОРЕ ИРТ-Т

*Н.В. Смольников, И.И. Лебедев, М.Н. Аникин, А.Г. Наймушин
(г. Томск, Томский политехнический университет)
e-mail: nvs38@tpu.ru*

MODELING OF IRRADIATION PROCESS AND COOLING SILICON DURING OF NEUTRON-TRANSMUTATION DOPING ON THE REACTOR IRT-T

*N.V. Smolnikov, I.I. Lebedev, M.N. Anikin, A.G. Naymushin
(Tomsk, Tomsk Polytechnic University)
e-mail: nvs38@tpu.ru*

Annotation. Control of irradiation process and cooling silicon during of neutron-transmutation doping are important part of semiconductor obtaining, which realize due to neutron-physical calculation included neutron and gamma flux distribution into the experimental channel that shows unevenness of doping and quantity of energy release. Research was implemented with the help use of few computer model. One of these created to obtain neutron and gamma flux and another model allow obtaining temperature distribution in solid and liquid matter to assess cooling of natural circulation.

Key words NTD, neutron-transmutation doping, research reactor IRT-T, silicon doping, MCU-PTR

Введение

В связи с активным развитием технологий, связанных с компьютерным моделированием, разрабатывается множество программных обеспечений, с помощью которых возможно решать различные физические задачи путем создания компьютерной модели, что позволяет уменьшить количество ресурсов на решение той или иной задачи.

Особенно важно моделирование процессов в областях ядерной и реакторной физики, по причине ядерно-радиационной опасности и сложности проведения большинства экспериментов.

В данной работе представлены результаты нейтронно-физического и теплогидравлического расчетов нового вертикального экспериментального канала (ВЭКа) для нейтронно-трансмутационного легирования (НТЛ) кремния, произведенных с использованием программ, позволяющих моделировать условия проведения исследования с заданной точностью и геометрией.

Программное обеспечения исследования

Нейтронно-физический расчет исследовательского реактора ИРТ-Т производился с использованием пакета MCU-PTR, осуществляющего решение дифференциальных уравнений переноса излучения методом Монте-Карло. Погрешность полученных результатов зависит от точности создания геометрии и количества историй расчета.

Для проведения теплогидравлического расчета была выбран программный комплекс САПР Solidworks, предназначенный для автоматизации промышленного процесса за счет возможности моделирования протекания физических процессов в течение эксперимента.

Моделирование в пакете MCU-PTR

Как было сказано выше, погрешность расчетных данных напрямую зависит от точности создания геометрии модели. Так как исследование связано с облучением в активной зоне реактора, представленной на рисунке 1, помимо создания геометрии облучательного объема необходимо учесть геометрию тепловыделяющих элементов, отражателя, экспериментальных каналов, находящихся в непосредственной близости с расчетной областью.

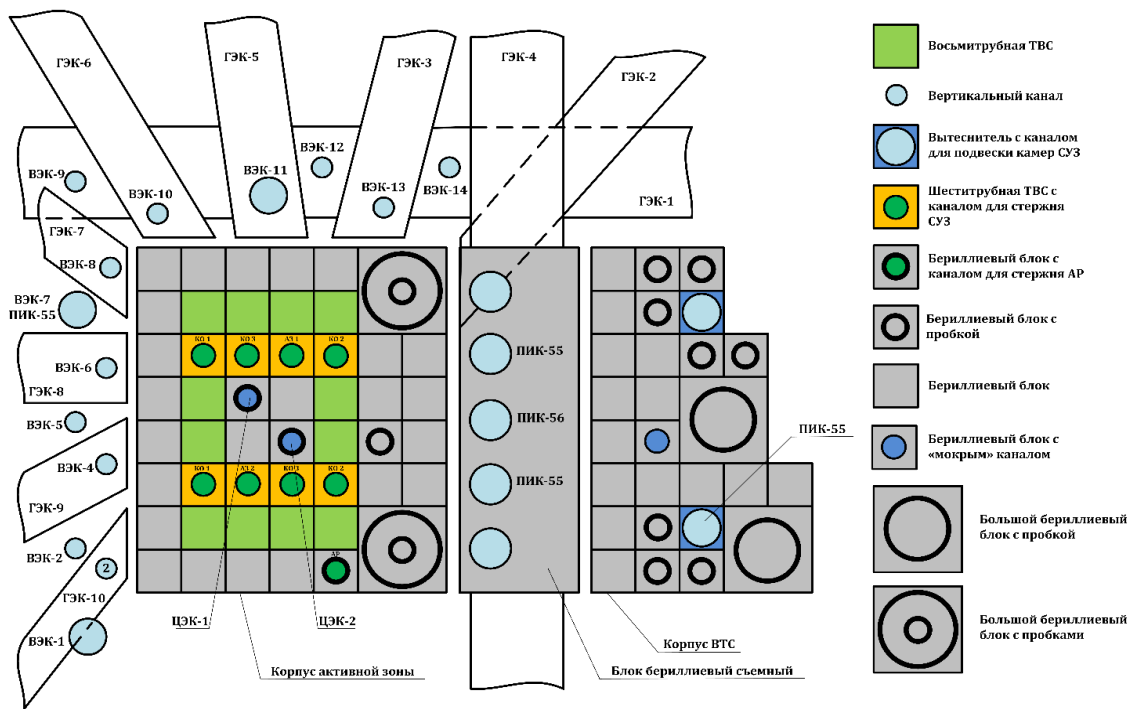


Рисунок 1 – Картограмма активной зоны реактора ИРТ-Т.

На рисунке 2 представлено сечение активной зоны реактора ИРТ-Т и нового ВЭКа, созданное в геометрическом модуле пакета MCU-PTR. Геометрические размеры, материальный состав канала, а также место размещения канала выбраны из цели получения в этой области наибольшей плотности потока тепловых нейтронов.

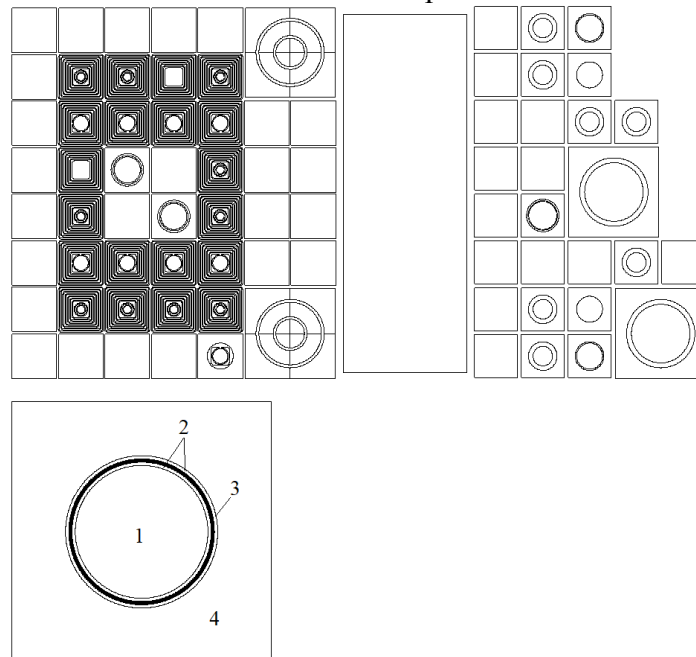


Рисунок 2 – Модель активной зоны с новым каналом: 1– кремний; 2 – вода; 3– алюминиевая оболочка; 4 – графит;

Нейтронно-физический расчет

Нейтронно-физический расчет является неотъемлемой части исследований, проводимых на базе реакторов, так как позволяет оценить плотность потока нейтронов, гамма-квантов. Для оценки качества проведения НТЛ кремния в новом канале были рассчитаны плотности потоков нейтронов для трех энергетических групп:

- Тепловые (0,025 – 0,625 эВ)
- Резонансные (0,625-10⁵ эВ)

– Быстрые (0,1 – 8 МэВ)

Ввиду того, что равномерность распределения легирующей примеси прямопропорционально плотности потока тепловых нейтронов, а количество дефектов, возникающих при взаимодействии быстрых нейтронов с ядрами кремния, числу быстрых нейтронов, можно сказать, что чем выше отношение плотности потока тепловых нейтронов к плотности потока быстрых, тем более высоким качеством обладает образец. На рисунке 3 представлено пространственное распределение плотностей потоков нейтронов по высоте образца.

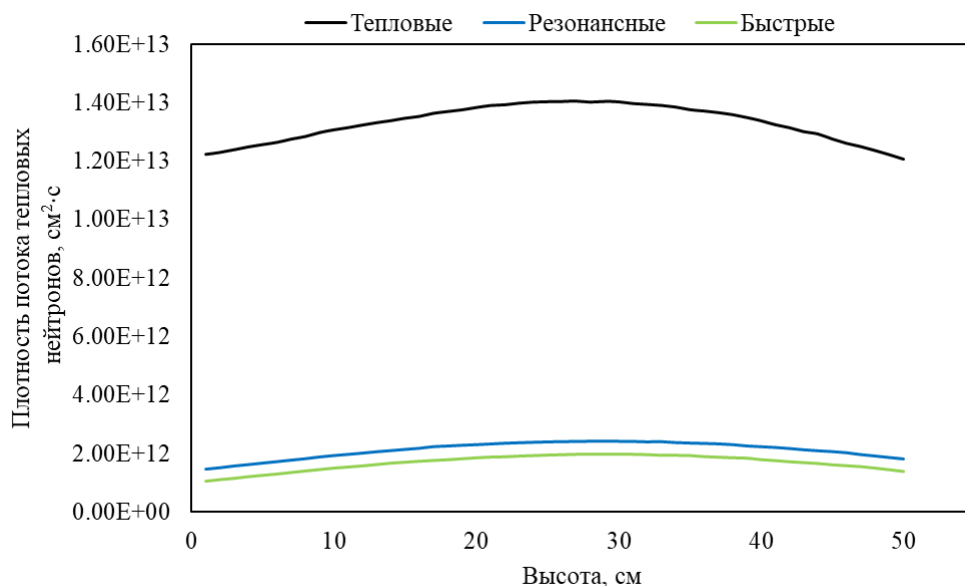


Рисунок 3 – Распределение нейтронов по высоте образца

Исходя из полученных данных было вычислено отношение плотности потока тепловых нейтронов к плотности потока быстрых равное 7,85, что не является достаточно хорошим результатом ввиду возможности образования большого количества дефектов при длительном облучении, однако, плотность потока тепловых нейтронов имеет среднее значение $1,33E+13 \text{ см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$, которое превышает плотность потока на действующей установке на базе ГЭК4 реактора ИРТ-Т в 3,3 раза, что позволит сократить время облучения образцов. Проблему с образованием большого количества дефектов возможно решить путем варьирования режима отжига кремния, что является отдельной задачей.

Расчет тепловыделения

Расчет величины энерговыделения позволяет оценить насколько много гамма-квантов взаимодействует с ядрами материалов канала, передавая им часть своей энергии. При этом гамма-кванты являются основным источником тепловыделения для материалов с низким значением микроскопического сечения взаимодействия нейтронов таких, как кремний, у которых на долю тепловыделения от нейтронов приходится меньше 2%, чем можно пренебречь. На рисунке 4 представлено распределение тепловыделения по высоте образца в процессе облучения.

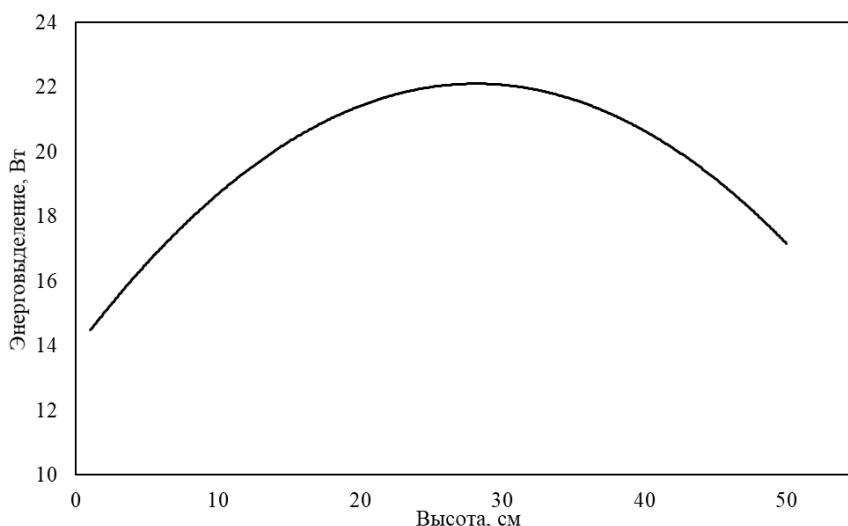


Рисунок 4 – Распределение энерговыделения по высоте образца

Суммарное энерговыделение составляет 994 Вт. Для определения возможности охлаждения канала за счет естественно конвекции был произведен расчет энерговыделения для остальных компонентов канала. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Тепловыделения остальным компонентам канала

	Энерговыделение от нейтронов, Вт	Энерговыделение от гамма-квантов, Вт	Суммарное Энерговыделение, Вт
Графитовая призма	8970	937	9907
Алюминиевая оболочка	360	1760	4244

Как можно заметить, основной вклад в тепловыделение на графите вносят нейтроны ввиду того, что материалы с небольшой атомной массой хорошо замедляют нейтроны за счет упругого рассеяния.

Оценка возможности охлаждения

Как и в случае с моделированием в MCU-PRT, для получения максимально точных данных необходимо создать трехмерную модель с реальными размерами и с сформированной сеткой моделирования. Помимо этого, важным аспектом является правильное задание граничных условий при решении физической задачи, таких как: давление, источник тепловыделения, температуры текучей и твердой сред. На рисунке 5 представлен градиент температур в твердых телах при охлаждении канала за счет естественной конвекции.

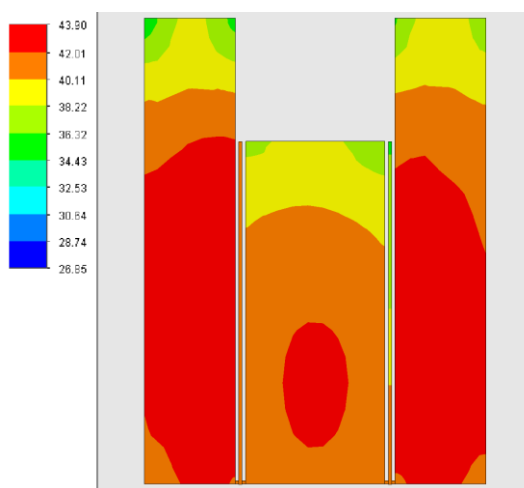


Рисунок 5 – Распределение температур в твердых телах

Как можно заметить, максимальная температура в твердых телах достигает 43,9 °С, при заданной начальной температуре текучей и твердых сред 30 °С. Температура текучей среды достигает максимальное значение равное 39 °С при максимальной скорости в зазоре 16 см/с.

Заключение

В результате проведенного исследования была продемонстрирована важность использования компьютерного моделирования в области ядерной физики. Полученные данные позволяют судить о качестве и скорости получаемых полупроводников и дают возможность рассмотреть дальнейшие пути повышения плотности тепловых нейтронов путем размещения фильтров, либо увеличения размеров графитовой призмы.

Теплогидравлический расчет позволяет оценивать величины температур теплоносителя и твердых тел, влияние давления на результат исследования, что также является неотъемлемой частью для успешного проведения исследования. Исходя из результатов проведенного расчета, охлаждение канала возможно за счет естественной конвекции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуревич М.И., Шкаровский Д.А. Расчет переноса нейтронов методом МонтеКарло по программе MCSU: Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ. – 154 с.
2. Алямовский А.А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи. — СПб.: БХВ-Петербург, 2012. — 448

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТА “ЗАСТРЕВАНИЯ” МАЯТНИКА НА ВРАЩАЮЩЕМСЯ ВАЛУ

О.Ю. Суменков

(г. Томск, Томский политехнический университет)

e-mail: oys5@tpu.ru

MODELING THE EFFECT OF “STICKING” OF A PENDULUM ON A ROTATING SHAFT

O.Y. Sumenkov

(Tomsk, Tomsk Polytechnic University)

Abstract. The authors carried out the modeling of the motion of a pendulum mounted with the possibility of free rotation on the rotor shaft of an electric motor fixed in a housing on elastic supports. The peculiarities of the motion of the pendulum within the range from zero to a given value of the angular velocity of the rotor of the electric motor with the presence in this range of natural frequencies of oscillations of the mechanical system are revealed. It is established that when changing the inertia moment of a pendulum, there is possible mode of movement when the rotor rotates with a given angular velocity, and the angular velocity of the pendulum rotation is equal to one of the natural frequencies of the mechanical system. The results of a numerical experiment conducted for the first time in modeling of the motion of a pendulum on a rotating shaft confirmed the results of a previous experiment on the possible emergence of a pendulum “sticking” effect for mechanical systems of a general form.

Keywords: mechanical system, natural oscillation frequency, pendulum, angular velocity, motor shaft, the effect of “sticking”

Введение. Одним из самых известных объектов исследований в механике является маятник. Первыми движение маятника изучали Галилей, Ньютон [1], Гюйгенс [2].

Исследования движения маятника с малыми углами отклонения положили начало линейной теории колебаний механических систем, а с большими углами отклонений – созданию нелинейной теории колебаний *ms*.

В настоящее время имеется два направления исследований движения маятников. Это исследования движения маятника на вибрирующем основании [3–10], и исследования, в ко-