

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-3-9-14>

УДК 612.039

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КАДМИЯ В КАЧЕСТВЕ НЕЙТРОННО-ПОГЛОЩАЮЩЕГО ЭКРАНА ПРИ ЛЕГИРОВАНИИ КРЕМНИЯ В ЯДЕРНОМ РЕАКТОРЕ

Шаймерденов А.А., Романова Н.К., Сайранбаев Д.С., Гизатулин Ш.Х.

РГП «Институт ядерной физики» МЭ РК, Алматы, Казахстан

E-mail для контактов: ashaimerdenov@inp.kz

Наличие градиента нейтронного поля в ядерном реакторе и требований по допустимому разбросу удельного электрического сопротивления по объему слитка кремния делает необходимым разработку облучательного устройства. Особенно, это актуально для слитков кремния большого размера. Одним из вариантов снижения градиента потока нейтронов по высоте слитка является применение нейтронно-поглощающих экранов в конструкции облучательного устройства. На реакторе ВВР-К в качестве нейтронно-поглощающего материала экрана применяется кадмий с природным изотопным составом. В работе приведены результаты исследования облучательного устройства с кадмиевым экраном. Показано влияние экрана из кадмия на нейтронно-физические характеристики облучательного устройства для легирования кремния.

Ключевые слова: нейтронно-трансмутационное легирование, ядерный реактор, кадмий, плотность потока нейтронов, неравномерность легирования.

ВВЕДЕНИЕ

Нейтронно-трансмутационное легирование кремния на базе ядерных реакторов имеет ряд преимуществ по сравнению с другими промышленными методами легирования, но одной из главных научно-технических задач, которую нужно решить при облучении кремния в ядерном реакторе – это обеспечение объемной однородности легирования. Любому ядерному реактору характерен градиент плотности потока нейтронов, как по высоте, так и по диаметру активной зоны, что связано с утечкой нейтронов с боковых поверхностей реактора, поэтому разработка научно-обоснованных технологических способов для равномерного легирования слитков кремния является востребованной задачей. Требуемые условия облучения, как правило, формируются за счет конструкции облучательного устройства, где одним из методов снижения высотной неравномерности плотности потока нейтронов является применение нейтронно-поглощающих экранов (статичный метод), а для снижения радиальной неравномерности плотности потока нейтронов применяется вращение слитка кремния вокруг центральной оси. Вторым методом снижения высотной неравномерности плотности потока нейтронов является реверсивный метод. Суть второго метода заключается в перемещении (изменении) положения слитка кремния относительно зоны облучения [1, 2].

Формирование однородного нейтронного поля при облучении кремния является обязательным условием при его легировании. При выборе статичного метода, в качестве нейтронно-поглощающих экранов используются материалы с большим сечением поглощения тепловых нейтронов, так как трансмутация кремния протекает на тепловых нейтронах. Например, для профилирования потока тепловых нейтронов используются следующие материалы: кадмий, карбид бора, гадолиний, европий, титан и др. [2–4].

В реакторе ВВР-К для профилирования потока тепловых нейтронов по высоте облучательного устройства при нейтронно-трансмутационном легировании кремния планируется использовать кадмий [5–7]. С точки зрения физико-технических и экономических показателей, кадмий хорошо себя зарекомендовал как материал экрана. Однако применение кадмия в качестве нейтронно-поглощающего экрана имеет свои особенности, которые и рассмотрены в настоящей работе. Исследование нейтронно-физических характеристик облучательного устройства проводилось на критическом стенде. Целью настоящей работы является описание особенностей применения кадмия в качестве нейтронно-поглощающего материала при легировании кремния в ядерном реакторе, с учетом опыта, полученного на критическом стенде и реакторе ВВР-К.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе рассмотрено облучательное устройство, предназначенное для нейтронно-трансмутационного легирования слитков монокристаллического кремния диаметром до 6 дюймов в реакторе ВВР-К. В устройстве используется нейтронно-поглощающий экран для профилирования плотности потока нейтронов по высоте. В качестве материала экрана выбран кадмий с природным изотопным составом. Легирование кремния протекает по следующей ядерной реакции: $^{30}\text{Si}(n,\gamma)^{31}\text{Si} \rightarrow ^{31}\text{P}$. Сечение ядерной реакции радиационного захвата кремния показано на рисунке 1 [8]. Из рисунка 1 видно, что чем меньше энергия налетающего нейтрона, тем эффективнее будет протекать ядерная реакция. Однако, данная ядерная реакция имеет два больших резонанса в эпитепловой области. Первый резонанс соответствует энергии нейтронов 2235 эВ при котором сечение поглощения нейтрона составляет 506 барн. Второй резонанс соответствует энергии нейтронов 4977 эВ, при котором сечение поглощения нейтрона составляет 126,9 барн [8].

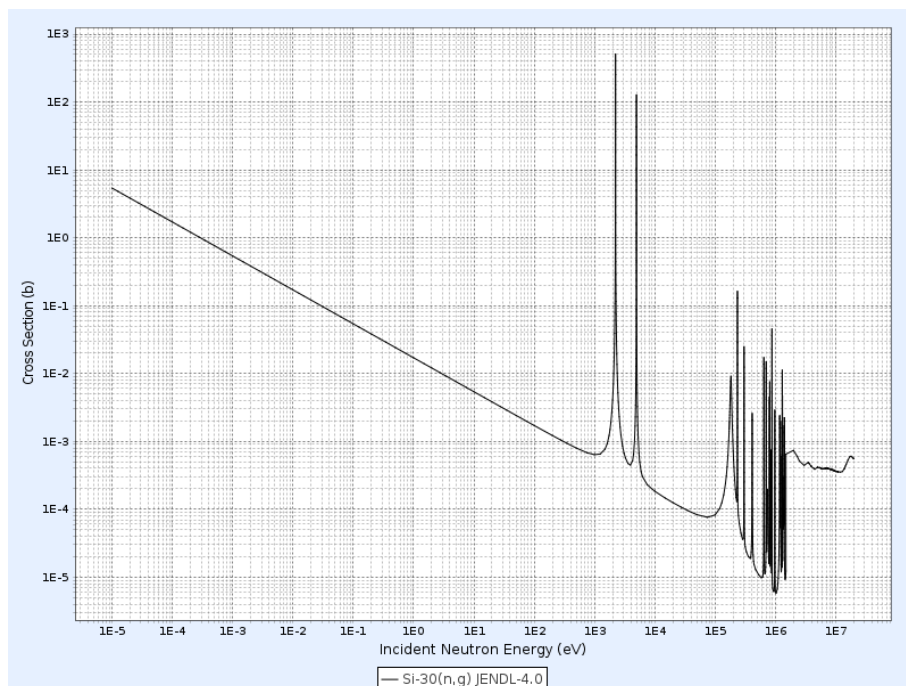


Рисунок 1. Микроскопическое сечение ^{30}Si

На внешнюю поверхность облучательного устройства устанавливаются кадмиевые кольца толщиной 0,5 мм и высотой от 3 до 5 мм. Регулирование распределения плотности потока тепловых нейтронов по высоте устройства достигается изменением шага расположения и ширины кадмиевых колец. Облучательное устройство изготовлено из сплава алюминия А1070. Внешний вид облучательного устройства показан на рисунке 2.



Рисунок 2. Внешний вид облучательного устройства

Исследование пространственно-энергетического распределения нейтронов в облучательном устройстве проводилось экспериментальным методом. В качестве метода экспериментального исследования нейтронного поля внутри облучательного устройства был выбран нейтронно-активационный метод как наиболее полно удовлетворяющий специфике реакторных измерений. К преимуществам данного метода можно отнести: малые размеры детекторов; пассивный метод измерений нейтронного потока, не требующий громоздкой аппаратуры; энергетическое разбиение измеряемой величины; простота и удобство в обращении; приемлемая точность измерения. Плотность потока тепловых нейтронов измерялась с

помощью фольг из диспрозия. Экспериментальные исследования проводились на критическом стенде, где были смоделированы условия облучения, близкие к условиям в реакторе ВВР-К [9–11].

Критический стенд запущен в эксплуатацию в 1972 году и является реактором малой мощности на тепловых нейтронах с легководным замедлителем и отражателем из воды или бериллия. Критическая сборка критстенда позволяет создавать и исследовать активные зоны водо-водяных реакторов различной конфигурации [12]. Так как облучение слитка кремния диаметром 6 дюймов планируется в вертикальном канале реактора ВВР-К, то на критическом стенде были созданы аналогичные условия облучения (расстояние от центра активной зоны, расположение по высоте поглощающих стержней, конфигурация активной зоны и т.д.).

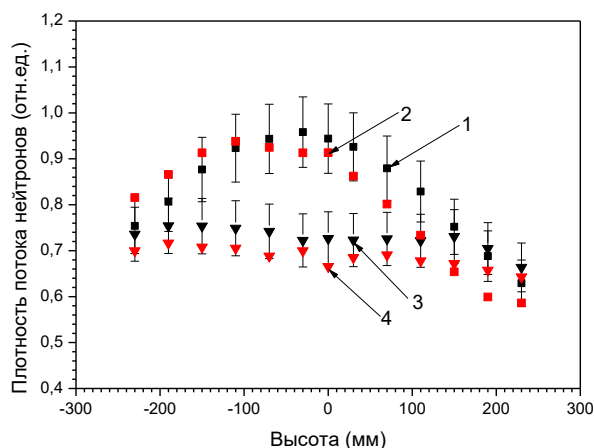
Расчетные исследования выгорания кадмия проведены с применением программного средства MCUREA, где уравнение переноса нейтронов решается методом Монте-Карло [13]. В расчетах использовалась библиотека ядерных данных DLC/MCUDAT 2.1 [14]. Метод крайне полезен при решении сложных задач, которые невозможно смоделировать программой, основанной на детерминистском методе. Для каждой частицы моделируются случайные события. Совокупность отдельных событий, носящих статистический характер, составляет полную картину происходящего процесса. Точность расчетов методом Монте-Карло зависит от точности описанной модели (геометрия и материальный состав), а также от количества смоделированных историй взаимодействия частиц с веществом. Статистическая погрешность

метода Монте-Карло пропорциональна $1/\sqrt{N}$, где N – количество рассматриваемых историй.

В расчетной модели, все элементы активной зоны реактора ВВР-К были смоделированы как гетерогенная среда, за исключением ТВС, которая описана как гомогенная среда из уран-алюминий-водного материала. В расчетах учитывалось выгорание топлива, фактический материальный состав ТВС (около 200 изотопов) и отравление бериллия (наработка ядер-поглотителей). В расчетах не учитывалось влияние стержней компенсации реактивности на высотное распределение плотности потока нейтронов. При моделировании было рассмотрено более 10^9 историй взаимодействия нейтронов со средой. Статистическая погрешность расчетов не превышала 3% [15].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Измерено распределение плотности потока тепловых нейтронов по высоте облучательного устройства с имитатором слитка кремния. В качестве имитатора кремния использовался чистый алюминий. Имитатор представлял собой слиток диаметром 152,4 мм и высотой 500 мм, с 5 сквозными отверстиями для размещения в них детекторов нейтронного излучения. Имитатор помещался в облучательное устройство, которое представляло собой алюминиевую трубу с заваренным дном и далее загружался в облучательный канал. Экспериментальное значение неоднородности нейтронного поля по высоте слитка (имитатора) составило 18% (см. рисунок 3), что обуславливает необходимость разработки дополнительных мер для выравнивания профиля нейтронов.



1 – экспериментальные данные, без кадмиевого экрана; 2 – расчетные данные, без кадмиевого экрана; 3 – экспериментальные данные, с кадмиевым экраном; 4 – расчетные данные, с кадмиевым экраном

Рисунок 3. Высотная неоднородность плотности потока нейтронов в облучательном устройстве

Формирование равномерного профиля плотности потока тепловых нейтронов осуществлено с применением кадмиевого экрана. Экспериментальным путем были подобраны ширина кадмиевых колец и расстояния между ними, что позволило минимизировать

высотную неоднородность. Полученный профиль тепловых нейтронов в облучательном устройстве с кадмиевым экраном показан на рисунке 3. Неоднородность нейтронного поля менее 4%.

Из рисунка 3 также видно, что применение кадмиевого экрана приводит к снижению интенсивности потока тепловых нейтронов в облучательном устройстве и соответственно к увеличению времени облучения слитка кремния для достижения необходимого удельного электрического сопротивления. В нашем случае, максимальное снижение плотности потока нейтронов составило 33%.

Погрешность экспериментальных данных, приведенных на рисунке 3, не превышает 8%. Следует отметить, что согласование экспериментальных результатов с расчетными находится в пределах измеренной погрешности. Расхождение между экспериментальными и расчетными результатами, по всей видимости, связано с неточностью расчетной модели облучательного устройства и имеющейся погрешности ядерно-физических данных, используемых в расчетах.

Проведенные эксперименты и опыт применения кадмиевого экрана показал, что кадмий в процессе облучения истощается (выгорает), что вызывает серьезную озабоченность. Проведенные оценки показали, что Cd^{113} будет истощен на 2,3% в течение одного года облучения на полной мощности (6000 кВт) при облучении плотностью потока нейтронов $10^{12} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$ [15]. Конечно же, такая оценка является консервативной и не учитывает периоды останова реактора между облучательными кампаниями и высотную неравномерность плотности потока нейтронов. Из-за наличия высотного градиента плотности потока нейтронов, истощение кадмия по высоте неравномерно и на центральных кольцах истощение кадмия выше, чем на периферийных. Неравномерное истощение кадмия будет влиять на эффективность экрана, что повлечет за собой неравномерность легирования слитков кремния. Такой эффект возможен только при длительном использовании кадмиевого экрана в интенсивных нейтронных полях.

В работе [3] показано, что кадмий склонен к нагреванию и деформации из-за поглощения основной части потока тепловых нейтронов. Нагревание кадмия будет вносить свой вклад в температурное поле вокруг слитка кремния, поэтому после разработки конструкции облучательного устройства требуется проведение теплофизических расчетов для определения необходимости дополнительных мер по охлаждению кремния. Деформация кадмия зависит от толщины используемого кадмия, нейтронного потока, которому он подвергается, и окружающей среды, в которой он находится. В связи с этим, требуется использование дополнительных конструктивных материалов для сохранения целостности экрана.

ВЫВОДЫ

Кадмий широко применяется в качестве нейтронно-поглощающего экрана в конструкциях облучательных устройств при нейтронно-трансмутационном легировании кремния, но необходимо учитывать некоторые особенности его использования, такие как:

- происходит снижение интенсивности плотности потока тепловых нейтронов, что приведет к увеличению времени облучения слитка кремния;
- в процессе нейтронного облучения кадмий испаряется, что будет оказывать влияние на эффективность экрана;
- склонен к нагреванию и деформации, что будет оказывать влияние на целостность конструкции, поэтому требуются проведения дополнительных теплофизических и прочностных расчетов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках программы целевого финансирования научных и научно-технических программ № BR09158958.

ЛИТЕРАТУРА

1. Романова Н.К., Шаймерденов А.А., Гизатулин Ш.Х., Накипов Д.А., Чакров П.В., Кенжин Е.А. Обзор нейтронно-трансмутационного легирования кремния на исследовательских реакторах // Вестник НЯЦ РК. – 2017. – № 4(72). – С. 95–101.
2. Masao Komeda, Kozo Kawasaki, Toru Obara A new irradiation method with a neutron filter for silicon neutron transmutation doping at the Japan research reactor no.3 (JRR-3) // Applied Radiation and Isotopes. – 2013. – No. 74. – P. 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2013.01.005>
3. L. Desgranges, J. Esclaine, P. Bienvenu, I. Roure, D. Gosset, et al.. A new methodology for studying neutron absorber materials first results with boron carbide // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2017. – No. 432. – P. 42–47.
4. B.A. De Luna, D.A. Haas, D.C. Barron, E.J. Artnak, Design of an in-core fission-spectrum neutron irradiation facility with pneumatic sample transfer at a research reactor // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2020. – No. 957. – P. 163292. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2019.163292>
5. N. Romanova, Sh. Gizatulin, D. Dyussambayev, A. Shaimerdenov, M. Aitkulov and Ye. Kenzhin Calculated and experimental studies at critical facility in view of development of a technology for neutron transmutation doping of a large size silicon specimen in WWR-K reactor // Journal of Physics: Conf. Series. – 2018. – No. 1115. – P. 1–6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1115/3/032052>
6. Ota A., Aitkulov M., Dyussambayev D., Gizatulin Sh., Kenzhin Ye., Kanazawa H., Romanova N., Shaimerdenov A., Kawamura H. Study of the axial neutron flux distribution in the irradiation device with a cadmium-screen // Proceedings of International forum “Nuclear Science and

Technologies”, 24–27 June, 2019, Almaty, Kazakhstan, p. 136.

7. А. Ота, М. Айткулов, Д. Дюсамбаев, Ш. Гизатулин, Е. Кенжин, Х. Каназава, Н. Романова, А. Шаймерденов, Х. Кавамура Исследование высотного распределения плотности потока нейтронов в облучательном устройстве с кадмиевым экраном // Вестник НЯЦ РК. – 2019. – № 4. – С. 34–37.
8. Nuclear Data Center of KAERI, 2020. <http://atom.kaeri.re.kr/> (accessed 23 August 2021).
9. Аринкин Ф.М., Шаймерденов А.А., Гизатулин Ш.Х., Дюсамбаев Д.С., Колточник С.Н., Чакров П.В., Чекушина Л.В. Конверсия активной зоны исследовательского реактора ВВР-К // Атомная энергия. – 2017. – № 123. – С. 15–20. <https://doi.org/10.1007/s10512-017-0294-0>
10. Шаймерденов А.А., Накипов Д.А., Аринкин Ф.М., Гизатулин Ш.Х., Чакров П.В., Кенжин Е.А. 50 лет исследовательскому реактору ВВР-К // Ядерная физика и инжиниринг. – 2017. – № 5. – С. 413–418.
11. A. A. Shaimerdenov, D. A. Nakipov, F. M. Arinkin, Sh. Kh. Gizatulin, P. V. Chakrov, and Ye. A. Kenzhin The 50th Anniversary of the WWR-K Research Reactor // Physics of Atomic Nuclei. – 2018. – No. 81. – P. 1408–1411. <https://doi.org/10.1134/S1063778818100162>
12. А. А. Шаймерденов, Ф.М. Аринкин, Ш.Х. Гизатулин, Д.С. Дюсамбаев, С.Н. Колточник, П.В. Чакров, Л.В. Чекушина, И.В. Шаманин Пуск и нейтронно-физические характеристики критического стенда РГП «Институт ядерной физики» РК с низкообогащенной активной зоной // Альтернативная энергетика и экология, № 23 (187), стр. 51–59, – Саров, Россия – 2015.
13. Гуревич М.И., Шкаровский Д.А. Расчет переноса нейтронов методом Монте-Карло по программе MCU: Учебное пособие. Москва: Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ; 2012. 154 с.
14. Abagyan L.P., Glushkov A.E., Yudkevich M.S. The MCU-REA program with the DLC/MCUDAT 2.1. Nuclear data library DLC/MCUDAT 2.1: report RNC “Kurchatov Institute” Moscow, Russia, 1998. – 1–24 p. – Inv. No. 36/5-98.
15. Романова Н.К., Д. С. Сайранбаев, А. Ота, Х. Кавамура, Х. Каназава Расчётные исследования выгорания экрана из кадмия при его длительном использовании для нейтронного легирования кремния // Анищик В.М., Материалы 13-й Межд. конф. ВИТТ-2019, Минск: Издательский центр БГУ, 2019, С. 548–551

REFERENCES

1. Romanova N.K., Shaymerdenov A.A., Gizatulin Sh.Kh., Nakipov D.A., Chakrov P.V., Kenzhin E.A. Obzor neytronno-transmutatsionnogo legirovaniya kremniya na issledovatel'skikh reaktorakh // Vestnik NYaTs RK. – 2017. – No. 4(72). – P. 95–101.
2. Masao Komeda, Kozo Kawasaki, Toru Obara A new irradiation method with a neutron filter for silicon neutron transmutation doping at the Japan research reactor no.3 (JRR-3) // Applied Radiation and Isotopes. – 2013. – No. 74. – P. 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2013.01.005>
3. L. Desgranges, J. Esclaine, P. Bienvenu, I. Roure, D. Gosset, et al.. A new methodology for studying neutron absorber materials first results with boron carbide // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research

- Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2017. – No. 432. – P. 42–47.
4. B.A. De Luna, D.A. Haas, D.C. Barron, E.J. Artnak, Design of an in-core fission-spectrum neutron irradiation facility with pneumatic sample transfer at a research reactor // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2020. – No. 957. – P. 163292. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2019.163292>
 5. N. Romanova, Sh. Gizatulin, D. Dyussambayev, A. Shaimerdenov, M. Aitkulov and Ye. Kenzhin Calculated and experimental studies at critical facility in view of development of a technology for neutron transmutation doping of a large size silicon specimen in WWR-K reactor // Journal of Physics: Conf. Series. – 2018. – No. 1115. – P. 1–6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1115/3/032052>
 6. Ota A., Aitkulov M., Dyussambayev D., Gizatulin Sh., Kenzhin Ye., Kanazawa H., Romanova N., Shaimerdenov A., Kawamura H. Study of the axial neutron flux distribution in the irradiation device with a cadmium-screen // Proceedings of International forum “Nuclear Science and Technologies”, 24–27 June, 2019, Almaty, Kazakhstan, p. 136.
 7. A. Ota, M. Aitkulov, D. Dyusambayev, Sh. Gizatulin, E. Kenzhin, Kh. Kanazawa, N. Romanova, A. Shaimerdenov, Kh. Kawamura Issledovanie vysotnogo raspredeleniya plotnosti potoka neytronov v obluchatel'nom ustroystve s kadmievym ekranom // Vestnik NYaTs RK. – 2019. – No. 4. – P. 34–37.
 8. Nuclear Data Center of KAERI, 2020. <http://atom.kaeri.re.kr/> (accessed 23 August 2021).
 9. Arinkin F.M., Shaymerdenov A.A., Gizatulin Sh.Kh., Dyusambayev D.S., Koltsochnik S.N., Chakrov P.V., Chekushina L.V. Konversiya aktivnoy zony issledovatel'skogo reaktora VVR-K // Atomnaya energiya. – 2017. – No. 123. – P. 15–20. <https://doi.org/10.1007/s10512-017-0294-0>
 10. Shaymerdenov A.A., Nakipov D.A., Arinkin F.M., Gizatulin Sh.Kh., Chakrov P.V., Kenzhin E.A. 50 let issledovatel'skomu reaktoru VVR-K // Yadernaya fizika i inzhiniring. – 2017. – No. 5. – P. 413–418.
 11. A. A. Shaimerdenov, D. A. Nakipov, F. M. Arinkin, Sh. Kh. Gizatulin, P. V. Chakrov, and Ye. A. Kenzhin The 50th Anniversary of the WWR-K Research Reactor // Physics of Atomic Nuclei. – 2018. – No. 81. – P. 1408–1411. <https://doi.org/10.1134/S1063778818100162>
 12. A. A. Shajmerdenov, F.M. Arinkin, Sh.H. Gizatulin, D.S. Djusambayev, S.N. Koltsochnik, P.V. Chakrov, L.V. Chekushina, I.V. Shamanin Pusk i nejtronno-fizicheskie harakteristiki kriticheskogo stenda RGP “Institut jadernoj fiziki” RK s nizkoobogashhennoj aktivnoj zonoj // Al'ternativnaâ énergetika i ékologiya, №23 (187), pp. 51–59, – Sarov, Russia – 2015.
 13. Gurevich M.I., Shkarovskij D.A. Raschet perenosa nejtronov metodom Monte-Karlo po programme MCU: Uchebnoe posobie. Moscow: National research nuclear university; 2012. 154 p.
 14. Abagyan L.P., Glushkov A.E., Yudkevich M.S. The MCU-REA program with the DLC/MCUDAT 2.1. Nuclear data library DLC/MCUDAT 2.1: report RNC “Kurchatov Institute” Moscow, Russia, 1998. – 1–24 p. – Inv. No. 36/5-98.
 15. Romanova N.K., D. C. Sajranbaev, A. Ota, H. Kawamura, H. Kanazawa Raschjotnye issledovaniya vygoraniya jekrana iz kadmija pri ego dlitel'nom ispol'zovanii dlja nejtron-nogo legirovaniya kremniya // Anishhik V.M., Materialy 13-j Mezhdunarodnoj konferencii VITT-2019, Minsk: BSU, 2019, P. 548–551

ЯДРОЛЫҚ РЕАКТОРДА КРЕМНИЙДЫ ҚОСПАЛАУҒАНДА КАДМИЙДІ НЕЙТРОН СІНІРЕТІН ЭКРАН РЕТІНДЕ ҚОЛДАНУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

А.А. Шаймерденов, Н.К. Романова, Д.С. Сайранбаев, Ш.Х. Гизатулин

РМК «Ядролық физика институты» ҚР ЭМ, Алматы, Қазақстан

Ядролық реакторда нейтрон өрісінің градиентінің болуы және кремний құймасының көлеміне меншікті электрлік қарсылықтың рұқсат етілген таралуына қойылатын талаптар сәулелендіру қондырғысын жасауды қажет етеді. Бұл әсіресе үлкен кремний құймаларына қатысты. Құйманың биіктігі бойынша нейтрон ағынының градиентін төмендету нұсқаларының бірі-сәулелендіру қондырғысының конструкциясында нейтронды сіңіретін экрандарды қолдану. ССР-Қ реакторында нейтронды сіңіретін экран материалы ретінде табиғи изотоптық құрамы бар кадмий қолданылады. Мақалада кадмий қалқаны бар сәулелендіру қондырғысының зерттеу нәтижелері берілген. Кадмий экранының кремнийлі допингке арналған сәулелендіру қондырғысының нейтронды-физикалық сипаттамаларына әсері көрсетілген.

Түйін сөздер: нейтрондық трансмутациялық қоспалау, ядролық реактор, кадмий, нейтрон ағынының тығыздығы, әркелкілік қоспалар.

**SPECIFIC FEATURES OF APPLICATION OF CADMIUM AS A NEUTRON-ABSORBING SCREEN
WHILE DOPING SILICON IN A NUCLEAR REACTOR**

A.A. Shaimerdenov, N.K. Romanova, D.S. Sairanbayev, Sh.Kh. Gizatulin

RSE "Institute of Nuclear Physics" ME RK, Almaty, Kazakhstan

The gradient of the neutron field in a nuclear reactor and the requirements for the permissible spread of the specific electrical resistance over the volume of the silicon ingot makes it necessary to develop an irradiation device. This is especially true for large silicon ingots. One of the options for reducing the gradient of the neutron flux along the height of the ingot is the use of neutron-absorbing screens in the design of the irradiation device. At the WWR-K reactor, cadmium with a natural isotopic composition is used as a neutron-absorbing screen material. The paper presents the results of a study of an irradiation device with a cadmium screen. The effect of a cadmium screen on the neutron-physical characteristics of an irradiation device for silicon doping is shown.

Keywords: *doping, nuclear reactor, cadmium, neutron flux, irregularity of doping.*