

УДК 539.1

ИССЛЕДОВАНИЕ НАСЫЩЕНИЯ ДЕЙТЕРИЕМ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ АЛМАЗНОЙ МИШЕНИ НА ИОННОМ УСКОРИТЕЛЕ ГЕЛИС

© 2025 г. М. А. Кирсанов^{а, *}, С. Г. Климанов^а, М. А. Негодаев^б, С. А. Мовчун^б

^аНациональный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Москва, 115409 Россия

^бФизический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, 119991 Россия

*e-mail: makirsanov@mephi.ru

Поступила в редакцию 21.02.2025 г.

После доработки 25.03.2025 г.

Принято к публикации 25.03.2025 г.

Представлены результаты исследования насыщения ионами дейтерия текстурированной поликристаллической алмазной мишени. Имплантацию дейтерия в поликристаллическую алмазную мишень проводили пучком ионов дейтерия на ускорителе ГЕЛИС (ФИАН) при энергии ионов дейтерия 25 кэВ и токе пучка 30–35 мкА. Детектировали быстрые нейтроны, образующиеся в реакции синтеза ядер дейтерия в мишени. Регистрацию нейтронов проводили сцинтилляционными детекторами с органическими кристаллами. Калибровка сцинтилляционных детекторов была выполнена с использованием нейтронного генератора ИНГ-061. В ходе экспериментов проведено несколько сеансов облучения поликристаллической алмазной мишени пучком ионов дейтерия. Регистрировали выход нейтронов из мишени в зависимости от времени облучения и времени между сеансами облучения. Проведено моделирование прохождения ионов дейтерия в алмазе. По экспериментальным результатам с учетом сделанных расчетов энергии ионов дейтерия и сечения ядерной реакции ($d + d$) в зависимости от глубины прохождения дейтерия в мишень получены значения концентрации дейтерия в поверхностном слое поликристаллической алмазной мишени.

Ключевые слова: ядерные реакции, дейтерий, нейтрон, ускоритель ионов, поликристаллический алмаз, химическое осаждение из газовой фазы, сцинтилляционный детектор.

DOI: 10.7868/S3034573125090062

ВВЕДЕНИЕ

На ускорителе легких ионов ГЕЛИС (ФИАН) [1] в течение нескольких лет проводят исследования взаимодействия пучка ионов дейтерия с различными мишенями, как предварительно обогащенными дейтерием [2–5], так и не обогащенными дейтерием [6]. Ряд экспериментов был выполнен с поликристаллической алмазной мишенью, полученной химическим осаждением из газовой фазы [2, 6]. Структура такой мишени из алмаза [7, 8] неоднородна и анизотропна. Кристаллиты растут в виде колонн, ориентированных перпендикулярно поверхности подложки. Размер кристаллитов возрастает от ≈ 1 мкм в слое вблизи подложки до десятков и сотен микрометров

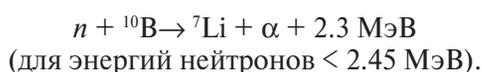
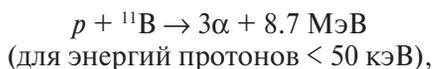
на противоположной, более совершенной ростовой стороне, которая в экспериментах обращена к пучку. На ростовой поверхности все микрокристаллы имеют четкую текстуру с ориентацией зерен в плоскости (100).

Реакция синтеза ядер дейтерия (d) идет по двум равновероятным каналам. При этом в одном канале реакции образуются протон (p) и тритий (^3H), а в другом — нейтрон (n) и гелий-3 (^3He):



С 2021 года уникальная научная установка ГЕЛИС включена в список установок, которые

участвуют в проекте по теме: “Разработка новых технологий диагностики и лучевой терапии социально значимых заболеваний протонными и ионными пучками с использованием бинарных ядерно-физических методов” Федеральной научно-технической программы (ФНТП) развития синхротронных и нейтронных исследований и исследовательской инфраструктуры на 2019–2027 годы. В рамках данного проекта на установке ГЕЛИС в 2024–2027 гг. запланировано исследование выхода альфа-частиц из ядерных реакций для бор-протонной и бор-нейтронной терапии:



Для получения потока нейтронов в таком диапазоне энергий на установке ГЕЛИС необходимо протестировать различные мишени-конвертеры и замедлители нейтронов. Поликристаллический алмаз, полученный химическим осаждением из газовой фазы, обладает высокой теплопроводностью, способен выдерживать интенсивное облучение пучком ионов дейтерия и является перспективным материалом для мишени-конвертера.

Скорость инициирования пучком дейтерия реакций синтеза ($d + d$) при работе с не обогащенной дейтерием мишенью зависит от насыщения мишени дейтерием, которое происходит непосредственно при воздействии пучка на мишень. Поэтому на ускорителе ГЕЛИС в экспериментах с такими мишенями вначале пучком ионов дейтерия осуществляют имплантацию дейтерия в мишень. В процессе осуществляют контроль выхода продуктов ядерных реакций ($d + d$). После выхода скорости реакций ($d + d$) на насыщение проводят измерения параметров, характеризующих протекание реакций ($d + d$) в различных мишенях.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Изучение насыщения дейтерием поликристаллической алмазной мишени проводили на пучке ионов дейтерия ускорителя ГЕЛИС (ФИАН). Энергия ионов дейтерия составляла 25 кэВ, ток пучка — 30–35 мкА. В качестве мишени использовали текстурированный алмаз, полученный химическим осаждением из газовой фазы [2, 6], толщиной 300 мкм и диаметром 16 мм. Мишень располагали на держателе, охлаждаемом непрерывным потоком воды. Диаметр пятна пучка ионов дейтерия на мишени составлял 6 мм. Схема

расположения мишени, пучка и детекторов приведена на рис. 1.

Один сцинтилляционный детектор установлен перпендикулярно направлению пучка на расстоянии ≈ 30 см от мишени, он является контрольным. Второй сцинтилляционный детектор расположен за мишенью на оси пучка на расстоянии до мишени, равном 15 см. Второй детектор является измерительным. В обоих детекторах в качестве сцинтилляторов применяли органические кристаллы пара-терфенила [9–13]. Для разделения сигналов от нейтронов и фоновых гамма-квантов мы использовали метод цифровой идентификации по форме импульсов [14–19].

В спектрах высвечивания сцинтилляторов присутствуют две компоненты: “быстрая” и “медленная”. В органических сцинтилляторах интенсивность “медленной” компоненты зависит от типа регистрируемой частицы. В таких сцинтилляторах гамма-кванты регистрируются по комптоновским электронам, а нейтроны — по протонам отдачи. Следует отметить, что интенсивность “медленной” компоненты при регистрации протона будет выше, чем при регистрации электрона. Таким образом, сигналы от нейтронов и гамма-квантов отличаются по форме спада импульса.

Параметр распознавания формы импульса (Pulse Shape Discrimination, *PSD*) характеризует различие сигналов по форме импульса. В стандартной методике значение параметра *PSD* можно вычислить по формуле [14, 17]:

$$PSD = (S_{\text{long}} - S_{\text{short}}) / S_{\text{long}},$$

где S_{long} — полная площадь сигнала; S_{short} — площадь передней части сигнала.

Значение параметра *PSD* определяется для каждой зарегистрированной частицы. Характер-

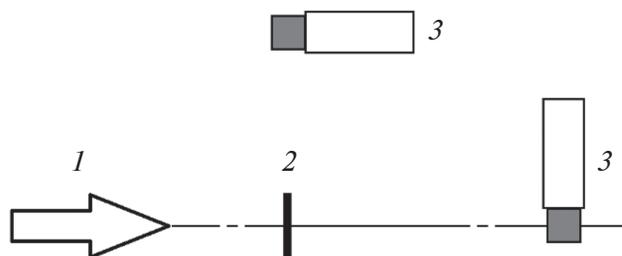


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 — пучок ионов дейтерия; 2 — мишень, полученная химическим осаждением из газовой фазы; 3 — сцинтилляционные детекторы нейтронов.

ная гистограмма PSD , полученная вторым сцинтилляционным детектором, показана на рис. 2.

Энергетическая калибровка сцинтилляционных детекторов была выполнена с использованием источником гамма-излучения ^{137}Cs и ^{60}Co . Калибровка эффективности регистрации быстрых нейтронов сцинтилляционными детекторами осуществлена с использованием нейтронного генератора ИНГ-061 [20] и измерителя потока быстрых нейтронов ИНПА [21].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для изучения насыщения дейтерием поликристаллической алмазной мишени, полученной химическим осаждением из газовой фазы, прове-

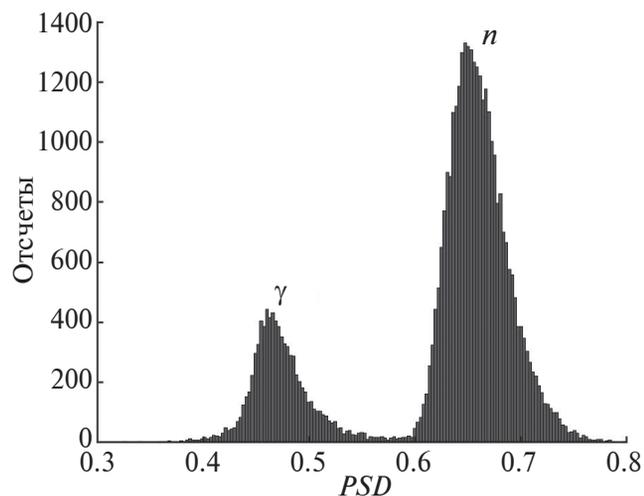


Рис. 2. Гистограмма PSD , полученная по сигналам сцинтилляционного детектора на пучке ускорителя ГЕЛИС: пики соответствуют гамма-квантам (слева) и нейтронам (справа).

дено несколько сеансов облучения мишени пучком ионов дейтерия. Измеряли выход нейтронов из мишени в течение каждого сеанса, а также в зависимости от времени облучения в данном сеансе и времени между сеансами облучения. Параметры, характеризующие процессы воздействия пучка ионов дейтерия на алмазную мишень в ходе семи сеансов облучения, представлены в табл. 1. Пучком ионов дейтерия осуществляли имплантацию дейтерия в материал мишени. Скорость протекания ядерных реакций ($d + d$) при работе с недейтерированной мишенью зависит от степени насыщения мишени дейтерием. В начале каждого сеанса облучения наблюдали рост выхода нейтронов из мишени, что обусловлено насыщением мишени дейтерием в процессе облучения. Одновременно идет процесс диффузии дейтерия из области имплантации в остальной объем мишени. Во время первых двух сеансов работы с поликристаллической алмазной мишенью было зарегистрировано значительное различие выхода нейтронов в начале и конце сеанса. Следует отметить, что практически не наблюдали выхода скорости протекания ядерных реакций ($d + d$) на насыщение к концу сеанса. В конце третьего и четвертого сеансов облучения происходил выход скорости регистрации нейтронов на постоянную величину. Однако сохранялась большая разница выхода нейтронов в начале и конце сеанса. Во время пятого и последующих сеансов облучения был зарегистрирован выход нейтронов на насыщение во второй половине сеанса облучения. В этих сеансах уже в начале облучения отмечался выход нейтронов на уровне не менее 50% от их выхода в режиме насыщения. Однако величина выхода нейтронов в области насыщения была одинаковой в данных сеансах. На рис. 3а и рис. 3б показаны зависимости выхода нейтронов из алмазной мишени во время пятого

Таблица 1. Характеристики облучения ионами дейтерия поликристаллической алмазной мишени; $N_{d\text{tot}}$ — количество ионов дейтерия, попавших на мишень за время одного сеанса облучения

Сеанс облучения	Время между сеансами облучения	Время облучения	$N_{d\text{tot}}, \times 10^{18}$
1	—	5 ч 51 мин	2.5
2	89 ч 39 мин	2 ч 58 мин	1.1
3	44 ч 47 мин	6 ч 01 мин	2.2
4	23 ч 28 мин	5 ч 54 мин	2.0
5	90 ч 09 мин	6 ч 09 мин	2.7
6	42 ч 26 мин	5 ч 47 мин	2.6
7	112 ч 56 мин	6 ч 47 мин	4.5

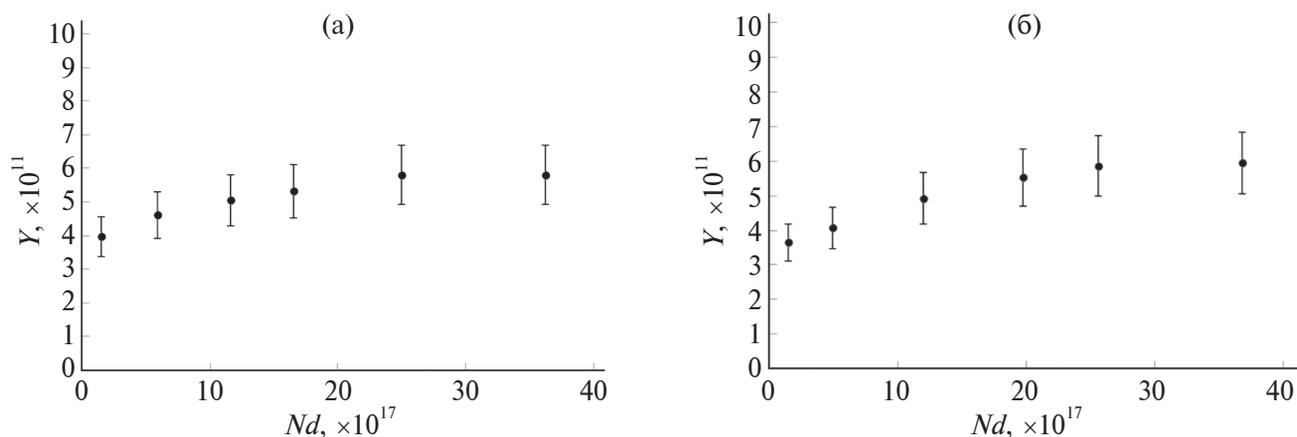


Рис. 3. Выход нейтронов во время пятого (а) и seventh (б) сеансов облучения. N_d — число ионов дейтерия, попавших на мишень с момента начала облучения в данном сеансе; Y — выход нейтронов (отношение количества нейтронов, вылетающих в единицу времени из мишени в полный телесный угол, к потоку ионов дейтерия, падающих на мишень).

и seventh сеансов облучения от количества ионов дейтерия, попавших на мишень от начала облучения в данном сеансе.

Измерение параметров, характеризующих протекание реакций ($d + d$) в мишени, необходимо проводить после выхода скорости регистрации нейтронов на насыщение. Для дальнейших расчетов мы использовали соответствующие значения, полученные во время seventh сеанса облучения в режиме насыщения выхода нейтронов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ДЕЙТЕРИЯ В МИШЕНИ

Моделирование прохождения ионов дейтерия в алмазе проведено в программе SRIM-2013 (The Stopping and Range of Ions in Matter) [22–25]. Средняя глубина имплантации ионов дейтерия с начальной энергией $E_d = 25$ кэВ составляет 0.2 мкм. Используя результаты, полученные с помощью программы SRIM, мы рассчитали изменение энергии иона дейтерия от пройденного им в алмазе расстояния (рис. 4).

С учетом полученного распределения энергии дейтерия в поверхностном слое алмаза и сечения реакции ($d + d$) [26–28] была рассчитана зависимость сечения реакции $d(d, n)^3\text{He}$ от глубины в алмазной мишени. Полученные результаты расчетов показаны на рис. 5. Из графика на рис. 5 видно, что сечение реакции мало и составляет доли мб. Поэтому лишь незначительная часть ионов дейтерия, падающих на мишень, вызовет ядерную реакцию синтеза ($d + d$). В этом случае вероятность (P) того, что ион дейтерия сможет инициировать ядерную реакцию, равна:

$$P = \int_0^h \sigma(x) n_d(x) dx,$$

где $\sigma(x)$ — сечение реакции $d(d, n)^3\text{He}$; $n_d(x)$ — концентрация атомов дейтерия в мишени; h — толщина мишени.

Анализ графиков, представленных на рис. 4 и 5, показывает, что как энергия дейтерия, так и сечение реакции $d(d, n)^3\text{He}$ падают с расстоянием внутри мишени. Сечение реакции уменьшается значительно быстрее энергии дейтерия. При начальной энергии иона дейтерия $E_d = 25$ кэВ сечение реакции составляет $\sigma(x) = 0.64$ мб. На глубине 0.05 мкм в образце энергия дейтерия уменьшается до $E_d = 17.4$ кэВ (уменьшение в 1.4 раза), а сечение реакции $\sigma(x) = 0.15$ мб (уменьшение в 4.3 раза). На глубине 0.1 мкм энергия дейтерия $E_d = 10.8$ кэВ (уменьшение в 2.3 раза), а сечение реакции резко падает до величины $\sigma(x) = 0.0014$ мб (уменьшение в 457 раз).

Вследствие такого быстрого падения сечения реакции $d(d, n)^3\text{He}$ активная зона мишени (т.е. область, в которой в основном происходит синтез ядер дейтерия) представляет собой тонкий поверхностный слой толщиной около 0.1 мкм. Как указано выше, средняя глубина имплантации в алмаз ионов дейтерия, имеющих начальную энергию $E_d = 25$ кэВ, равна 0.2 мкм. Из области имплантации дейтерий диффундирует в остальной объем мишени. Толщина исследованной поликристаллической алмазной мишени равна 300 мкм. Таким образом, размер активной зоны мишени оказывается много меньше толщины мишени. В этом случае можно сделать допущение, что в режиме насыщения концентрация дейтерия

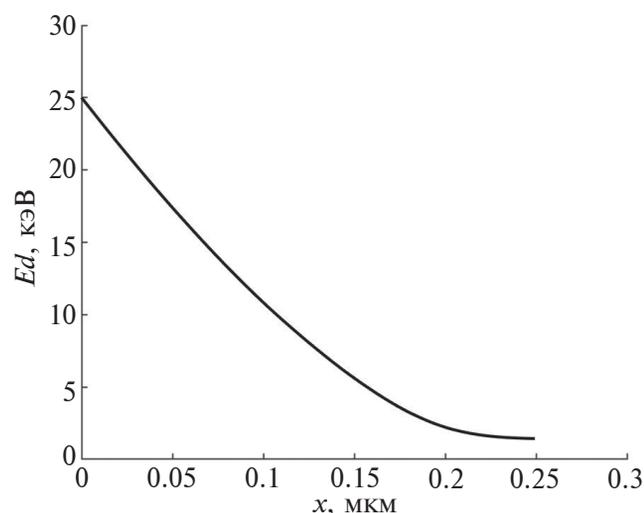


Рис. 4. Зависимость энергии иона дейтерия от пройденного в алмазе расстояния.

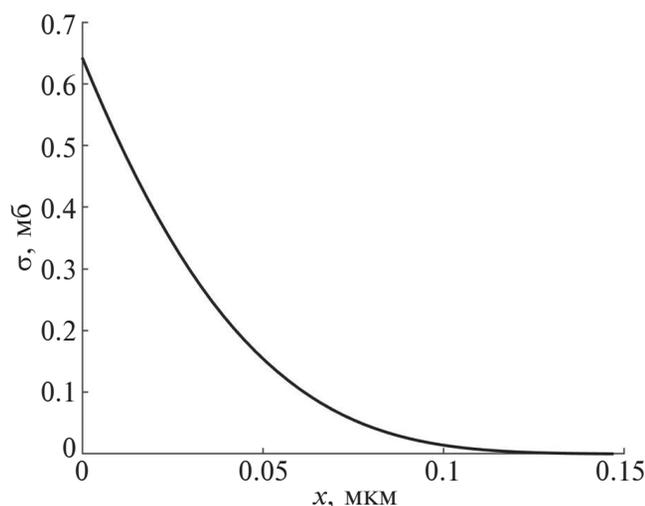


Рис. 5. Зависимость сечения реакции $d(d, n)^3\text{He}$ от расстояния, пройденного ионом дейтерия в алмазе.

в активной зоне мишени примерно постоянна. Тогда выражение для вероятности инициирования ионом дейтерия ядерной реакции примет вид:

$$P = n_d \int_0^h \sigma(x) dx \text{ или } P = n_d S,$$

где n_d — концентрация атомов дейтерия в активной зоне мишени; $S = \int_0^h \sigma(x) dx$.

Распределение значений интеграла $S(x) = \int_0^x \sigma(x) dx$ в поверхностном слое алмазной мишени представлено в табл. 2. Данные, представленные в табл. 2, подтверждают сделанный ранее вывод, что реакции синтеза ядер дейтерия в основном

Таблица 2. Распределение величины $S(x)$ по глубине в мишени; здесь $S_0 = S(x)/S(h)$

x , мкм	$S(x)$, мб·мкм	S_0
0.025	0.01245	0.558
0.05	0.01868	0.837
0.075	0.02127	0.953
0.1	0.02210	0.991
0.125	0.02228	0.999
0.15	0.02231	1

проходят в тонком поверхностном слое мишени толщиной ≈ 0.1 мкм.

Используя экспериментальные результаты, полученные во время седьмого сеанса облучения, получаем, что концентрация дейтерия в поверхностном слое алмазной мишени составляет $2.64 \times 10^{22} \text{ см}^{-3}$. Концентрация атомов углерода в алмазе равна $1.75 \times 10^{23} \text{ см}^{-3}$. Таким образом, облучение алмазной мишени, полученной химическим осаждением из газовой фазы, пучком ионов дейтерия с энергией 25 кэВ и током 30–35 мкА приводит к насыщению дейтерием поверхностного слоя мишени до уровня 15% по отношению к концентрации атомов углерода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эксперименты с алмазной мишенью, полученной химическим осаждением из газовой фазы, облученной пучком ионов дейтерия на ускорителе ГЕЛИС, показали следующие результаты. При энергии ионов дейтерия 25 кэВ и токе пучка 30–35 мкА во время пятого и последующих сеансов облучения наблюдали устойчивый выход на постоянный уровень насыщения мишени дейтерием. Выход нейтронов из мишени составлял 5.9×10^{-11} . Расчеты энергии ионов дейтерия и сечения ядерной реакции ($d + d$) в зависимости от глубины прохождения дейтерия в мишень показывают, что активная зона мишени представляет собой тонкий поверхностный слой толщиной около 0.1 мкм. Концентрация дейтерия в поверхностном слое алмазной мишени составляет $2.64 \times 10^{22} \text{ см}^{-3}$, что составляет 15% по отношению к концентрации атомов углерода в алмазе.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Негодаев М.А., Багуля А.В.* Электрофизическая установка “Гелис”. Препринт № 11. Москва: РАН. Физ. ин-т им. П.Н. Лебедева. 1996. 44 с.
2. *Bagulya A.V., Dalkarov O.D., Negodaev M.A., Rusetskii A.S., Chubenko A.P., Ralchenko V.G., Bolshakov A.P.* // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B. 2015. V. 355. P. 340. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2015.01.021>
3. *Dalkarov O.D., Negodaev M.A., Rusetskii A.S., Chubenko A.P., Pivovarov Yu.L., Tukhfatullin T.A.* // Phys. Rev. Accelerators Beams. 2019. V. 22. P. 034201. <https://www.doi.org/10.1103/PHYSREVACCELBEAMS.22.034201>
4. *Dalkarov O.D., Negodaev M.A., Rusetskii A.S., Oginov A.V., Chubenko A.P., Tsechosh V.I., Kirsanov M.A., Popovich A.F., Pivovarov Yu.L., Tukhfatullin T.A.* // JINST. 2020. № 15. P. C06062. <https://doi.org/10.1088/1748-0221/15/06/C06062>
5. *Bagulya A.V., Dalkarov O.D., Negodaev M.A., Pivovarov Yu.L., Rusetskii A.S., Tukhfatullin T.A.* // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B. 2017. V. 402. P. 243. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2017.02.059>
6. *Negodaev M.A., Kirsanov M.A., Movchun S.A., Popovich A.F., Rusetskii A.S., Ryabov V.A., Shpakov K.V., Tsekhosh V.I., Amosov V.N., Artemev K.K., Meshchaninov S.A., Rodionov N.B., Skopintsev D.A.* // Bulletin of the Lebedev Physics Institute. 2022. V. 49. № 4. P. 110. <https://www.doi.org/10.3103/S1068335622040030>
7. *Ralchenko V.G., Pleuler E., Lu F.X., Sovyk D.N., Bolshakov A.P., Guo S.B., Tang W.Z., Gontar I.V., Khomich A.A., Zavedeev E.V., Konov V.I.* // Diamond Relat. Mater. 2012. V. 23. P. 172. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2011.12.031>
8. *Sukhadolau A.V., Ivakin E.V., Ralchenko V.G., Khomich A.V., Vlasov A.V., Popovich A.F.* // Diamond Relat. Mater. 2005. V. 14. P. 589. <https://www.doi.org/10.1016/j.diamond.2004.12.002>
9. *Bollinger L.M., Thomas G. E.* // Rev. Sci. Instrum. 1961. V. 32. P. 1044. <http://dx.doi.org/10.1063/1.1717610>
10. *Yanagida T., Watanabe K., Fujimoto Y.* // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A. 2015. V. 784. P. 111. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2014.12.031>
11. *Sardet A., Varignon C., Laurent B., Granier T., Oberstedt A.* // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A. 2015. V. 792. P. 74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2015.04.038>
12. *Matei C., Hamsch F.-J., Oberstedt S.* // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A. 2012. V. 676. P. 135. <https://www.doi.org/10.1016/j.nima.2011.11.076>
13. *Kim H.D., Cho G.S., Kim H.J.* // Radiation Measurements. 2013. V. 58. P. 133. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radmeas.2013.01.004>
14. *Cester D., Lunardon M., Nebbia G., Stevanato L., Viesti G., Petrucci S., Tintori C.* // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A. 2014. V. 748. P. 33. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2014.02.032>
15. *Nakhostin M.* // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A. 2012. V. 672. P. 1. <https://www.doi.org/10.1016/j.nima.2011.12.113>
16. *Ruch M.L., Flaska M., Pozzi S.A.* // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A. 2015. V. 793. P. 1. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2015.04.053>
17. *Kirsanov M.A., Klimanov S.G., Nazarov I.V., Chepurnov A.S., Kubankin A.S.* // J. Phys.: Conf. Ser. 2020. V. 1690. P. 012057. <https://www.doi.org/10.1088/1742-6596/1690/1/012057>
18. *Kirsanov M.A., Klimanov S.G., Chepurnov A.S.* // J. Phys.: Conf. Ser. 2020. V. 1690. P. 012061. <https://www.doi.org/10.1088/1742-6596/1690/1/012061>
19. *Polack K., Flaska M., Enqvist A., Sosa C, Lawrence C., Pozzi S.* // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A. 2015. V. 795. P. 253. <https://www.doi.org/10.1016/j.nima.2015.05.048>
20. Нейтронный генератор ИНГ-061 (2024) ВНИИА Росатом, Россия. http://www.vniia.ru/production/neutronnie-generatory/karotazh/neutronnye-generatory-dlya-karotazhnoy-apparatury_.php?sphrase_id=18215#ing-061
21. Измеритель потока нейтронов, автоматизированный ИНПА (2024) ВНИИА Росатом, Россия. <https://vniia.ru/production/neutronnie-generatory/izmerenie-potoka-neitronov/inpa/inpa-izmeritel-neutronnogo-potoka-avtomatizirovannyu.php>
22. SRIM Program (2013) <http://www.srim.org>.
23. *Ziegler J.F., Ziegler M.D., Biersack J.P.* // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B. 2010. V. 268. P. 1818. <https://www.doi.org/10.1016/j.nimb.2010.02.091>
24. *Stoller R.E., Toloczko M.B., Was G.S., Certain A.G., Dwaraknath S., Garner F.A.* // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B. 2013. V. 310. P. 75. <https://www.doi.org/10.1016/j.nimb.2013.05.008>
25. *Shulga V.I.* // Appl. Surf. Sci. 2018. V. 439. P. 456. <https://www.doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.01.039>
26. *Bosch H.S., Halle G.M.* // Nucl. Fusion. 1992. V. 32. P. 611. <https://www.doi.org/10.1088/0029-5515/32/4/I07>
27. *Brown R.E., Jarmie N.* // Phys. Rev. C. 1990. V. 41. P. 1391. <https://www.doi.org/10.1103/PhysRevC.41.1391>
28. *Krauss A., Becker H.W., Trautvetter H.P., Rolfs C., Brand K.* // Nucl. Phys. A. 1987. V. 465. P. 150. [https://www.doi.org/10.1016/0375-9474\(87\)90302-2](https://www.doi.org/10.1016/0375-9474(87)90302-2)

Investigation of Deuterium Saturation of a Polycrystalline Diamond Target at the HELIS Ion Accelerator

M. A. Kirsanov^{1, *}, S. G. Klimanov¹, M. A. Negodaev², S. A. Movchun²

¹National Research Nuclear University “MEPhI”, Moscow, 115409 Russia

²Lebedev Physical Institute RAS, Moscow, 119991 Russia

*e-mail: makirsanov@mephi.ru

The results of a study of deuterium ion saturation of a textured polycrystalline diamond target are presented. Deuterium implantation into a polycrystalline diamond target was carried out by a deuterium ion beam at the HELIS accelerator (LPI RAS) at a deuterium ion energy of 25 keV and a beam current of 30–35 μA . Fast neutrons formed in the reaction of deuterium nuclei synthesis in the target were detected. Neutron registration was carried out by scintillation detectors with organic crystals. The calibration of the scintillation detectors was performed using the ING-061 neutron generator. During the experiments, several sessions of irradiation of a polycrystalline diamond target with a beam of deuterium ions were carried out. The yield of neutrons from the target was recorded depending on the irradiation time and the time between irradiation sessions. A simulation of the passage of deuterium ions in diamond was carried out. According to the experimental results, taking into account the calculations of the energy of deuterium ions and the cross section of the nuclear reaction ($d + d$), depending on the depth of deuterium passage into the target, the values of deuterium concentration in the surface layer of the polycrystalline diamond target were obtained.

Keywords: nuclear reactions, deuterium, neutron, ion accelerator, polycrystalline diamond, chemical vapor deposition, scintillation detector.