

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Светогорова Романа Дмитриевича «Структурные изменения в низкотемпературных сверхпроводниках Nb_3Sn в результате протонного облучения: исследования дифракционными методами на синхротронном излучении», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. – Физика конденсированного состояния

В настоящее время широко применяется и исследуется метод радиационного воздействия быстрыми нейтронами, либо частицами различных энергий на структуру и свойства материалов. Он может иметь как положительную сторону, как например, при упрочнении поверхностей, разрушении злокачественных опухолей, так и отрицательную, как при работе устройств в космосе или материалов ядерного реакторов. Один из примеров — это эксплуатация ускорителей со сверхпроводящими магнитами, материал которых подвергается постоянному воздействию пучков протонов-высоких энергий, приводящего к деградации сверхпроводящих характеристик. Если влияние быстрых нейтронов и ионов больших энергий изучается в мире достаточно широко, то использование для таких исследований протонов достаточно мало. Но поскольку в мире интенсивно развиваются эксперименты с использованием коллайдеров или термоядерных реакторов, в которых используются сверхпроводящие материалы в качестве сверхпроводящих обмоток электромагнитов, вигглеров или ондуляторов, то очень важным становится вопрос исследования их радиационной стойкости при облучении высокоэнергетичными протонами. Одним из таких материалов является сверхпроводник на основе Nb_3Sn . Хотя сверхпроводимость в Nb_3Sn была открыта достаточно давно и по исследованию радиационных эффектов накоплен достаточно большой объем экспериментальных данных, подавляющее большинство информации касается облучения нейтронами или ионами с достаточно высокими дозами.

Важнейшим фактором, определяющим все свойства материала, является его структурное состояние, которое может изменяться со временем или под воздействием каких-либо факторов, в нашем случае облучения протонами. Именно поэтому выявление и трансформация структурного состояния (идеальность решетки, степень упорядочения, наличие дефектов, их размер и расположение в решетке, изменение размеров решетки и пр.) являлось одним из целей экспериментаторов. Для этого использовались большое количество методов, как электронная и атомно-силовая микроскопия, Оже-спектроскопия и т.д. Наиболее используемым и развитым методом является дифракция рентгеновских лучей и нейтронов. Но с развитием ускорителей все большую популярность набирает использование синхротронного излучения. Интенсивные потоки и высокое угловое разрешение делают его предпочтительным по сравнению с традиционными.

Таким образом, автор диссертации находится на переднем крае дифракционных исследований. В автореферате отмечено, что автором сконструирована и введена в эксплуатацию прецизионная система позиционирования образца для станции «СТМ» Курчатовского источника синхротронного излучения НИЦ «Курчатовский институт», один из важнейших элементов станции. Выполнена большая работа по компьютеризации эксперимента, написаны программы автоматического управления, а также набор пакетов программ для визуализации и обработки дифракционных данных.

Все это позволило автору успешно выполнить поставленную задачу – выявить основные дефекты решетки образцов Nb_3Sn и ее трансформацию под облучением протонами. Фактически на небольшой глубине было подтверждено возникновение на дифракционной картине традиционных изменений – сдвиг рефлексов в область малых углов, изменение интенсивностей, что соответствует увеличению параметров решетки и увеличению фактора Дебая – Валлера, микронапряжений. Наиболее значительные изменения происходят в области так называемого «брэгговского» пика повреждений, области, которую ранее не рассматривали и исследование которой и было основной целью работы. Были выявлены в процессе исследования три области – небольшое разупорядочение перед областью брэгговского пика, значительные искажения в области этого пика и исходное состояние области в послепиковой области

Кроме этого, была обнаружена примесь несверхпроводящей фазы NbO и прослежено изменение её количества и размеров.

Были построены дозовые зависимости изменения структуры в широкой области флюенсов протонов, соотнесены с аналогичными изменениями при облучении быстрыми нейтронами. Как правило при радиационных воздействиях для сравнения эффективности типа частиц используют такую характеристику как число смещений на атом, универсальность которой и была подтверждена в диссертации.

Как и в литературе, в работе было показано, что основным дефектом при облучении является антиузельное замещение – обмен местами атомов ниобия и олова в решетке. Количественной характеристикой этому является параметр порядка Брэгга – Уильямса. Из-за небольшого различия в атомных факторах сверхструктурные рефлекссы имеют небольшую интенсивность. Отметим, что расчет по отношениям интенсивностей структурного и сверхструктурного пиков обладает рядом преимуществ, в частности, это простота реализации, однако он способен давать лишь приближенную оценку концентрации образующихся радиационных дефектов, так что для прецизионного определения концентрации антиузельных дефектов нужны более точные методики. В качестве одного из возможных вариантов была предложена и оптимизирована методика, основанная на использовании метода резонансного рассеяния. В работе он описан подробно и показано, что, действительно, возможно определение значений параметра порядка Брэгга-Уильямса с достаточно высокой точностью.

Таким образом, в диссертации приведен большой объем экспериментального (реализация оборудования станции, создание программного обеспечения, конкретные примеры использования при исследовании влияния облучения протонами на образцы Nb_3Sn) и теоретического анализа дифрактограмм, включающего выявления типа и концентрации дефектов и их распределения по глубине образца. Показана перспективность резонансного метода.

В целом работа представляет собой завершённое системное исследование и соответствует заявленной специальности 1.3.8. – Физика конденсированного состояния. Тем не менее, хотелось бы получить ответы на следующие вопросы:

1. В работах по радиационной физике материалов ядерного реактора термин «распухание» используют в области возникновения пор. Вы наблюдали такие дефекты?
2. Существует мнение, что основными факторами, влияющих на изменение свойств материалов после протонного облучения, является образование новых примесей,

радиационное дефектообразование и накопление атомов водорода. Связываете ли Вы процессы в области брэгговских пиков только с радиационными дефектами или же допускаете комплексное воздействие? Как-то их можно различить вашим методом?

Диссертация Светогорова Романа Дмитриевича по объему исследований, характеру и уровню анализа результатов, обсуждению и сделанным выводам представляет законченную научную работу, отвечающую всем требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней (утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 в действующей редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям и научной специальности 1.3.8. – Физика конденсированного состояния. Считаю, что автор работы, Светогоров Роман Дмитриевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. – Физика конденсированного состояния.

К.ф.-м.н., старший научный сотрудник
Лаборатории нейтронных исследований вещества
Института физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН

В.И. Воронин
11.05.2022

Сведения:

Воронин Владимир Иванович
Кандидат физико-математических наук
По специальности 01.04.07 Физика твердого тела
Телефон: (343) 374-38-75
E-mail: voronin@imp.uran.ru

Старший научный сотрудник Лаборатории нейтронных исследований вещества
Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук»

Почтовый адрес: 620108, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18



Подпись Воронина В.И.
заверяю
Главный специалист общего отдела
Кудряшова М.Н.Кудряшова
« 11 » 05 2022 г.