

Неразрушающий эллипсометрический контроль радиационных повреждений алюминиевого сплава Д16, облученного ионами ксенона высоких энергий

В.Н. Робук¹, А.И. Беляева², А.А. Галуза², В.Ф. Клепиков², В.В. Литвиненко²,
К.А. Слатин², А.Ю. Дидык³, В.А. Скуратов³

¹Лаборатория информационных технологий, ОИЯИ, Дубна; НТУ “Харьковский политехнический институт” МОН Украины, г. Харьков; ²Институт электрофизики и радиационных технологий НАН Украины, г. Харьков; ³Лаборатория ядерных реакций, ОИЯИ, Дубна

Основной задачей развития новых методов неразрушающего контроля материалов активной зоны АЭС является установление ранних стадий процесса деградации их эксплуатационных свойств. Оптические методы широко используются в радиационном материаловедении для оценки структурных превращений ввиду их относительной простоты, возможности использования при непосредственном наборе дозы повреждений и информативности. Внедрение в исследовательский процесс In-situ вычислительной техники с автоматизацией сбора данных и их обработкой непосредственно в эксперименте, применение портативной лазерной техники с высокой плотностью выделяемой мощности, применение принципиально новых оптических анализаторов открывает перспективы для развития и совершенствования методов оптической диагностики.

В этой связи перспективным представляется метод эллипсометрии, заключающийся, как известно [1], в изучении поверхностей твердых тел по измерению изменения состояния поляризации светового пучка при отражении от облучаемой поверхности. Для выяснения целесообразности разработки оптических методов диагностики представляет интерес возможность и перспективность установления возможности использования эллипсометрии для выявления как первичных стадий (при низких флюенсах облучения) так и аналогичные изменения при более высоких флюенсах облучения. Важно также установить возможность оценки изменений структуры конструкционных материалов, находящихся применение в ядерных и термоядерных реакторах.

Целью настоящей работы является изучение возможности оценки уровня повреждений и изменений структуры поверхности образцов металлов при облучении тяжелыми ионами с применением метода эллипсометрии.

Учитывая особенности оптической диагностики, использующей поляризованный свет и направленной на определение влияния примесей на вращение плоскости поляризации, для исследований был выбран сплав на основе алюминия Д16 (91,9%Al; 4,8%Cu; 1,5%Mg; 0,8%Mn; при-

меси Fe и Si до 0,5%). Его свойства после обработки сильноточным импульсным релятивистским пучком электронов при различных режимах облучения были ранее исследованы в работах [2-4]. Было установлено, что облучение приводит к формированию мелкогранулированной равноосной структуры и изменению пластических свойств сплава. Изменения морфологии поверхности достаточно эффективно фиксируются методами эллипсометрии.

Изучение изменений структуры поверхности образцов алюминиевого сплава Д16 за счет облучения ионами $^{132}\text{Xe}^{+23}$ с энергией 132 МэВ проводилось использованием метода эллипсометрии с целью обнаружения ранних стадий изменения дислокационной структуры.

Исходные и облученные пучком ионов ксенона с энергией $E=132$ МэВ образцы алюминиевого сплава Д16 (91,9%Al; 4,8%Cu; 1,5%Mg; 0,8%Mn; Fe и Si до 0,5%) исследовались на специально разработанном спектральном эллипсометре (RASE) с вращающимся элементом. Значения Ψ и Δ получаются путем обработки сигнала, поступающего с фотодетектора с применением системы автоматизации эксперимента, описанного в работе [5].

На Рис. 1-2 показаны угловые зависимости эллипсометрических углов для облученного и не облученного образцов при угле падения 75° .

На Рис. 3-4 показаны угловые зависимости эллипсометрических углов для облученного и не облученного образцов на длине волны 633 нм.

Профиль сечения дефектообразования σ_d от ионов $^{132}\text{Xe}^{+23}$ с энергией $E=132$ МэВ в алюминиевом сплаве Д16 был рассчитан с использованием расчетной компьютерной программы TRIM-2007, доза повреждений в алюминиевом сплаве Д16 при облучении ионами ксенона с энергией 132 МэВ до флюенса $\Phi = 10^{13}$ ион/см² составляла относительно низкий уровень: $D = \Phi \times \sigma_d = 10^{13} \times 1,2 \times 10^{-17} = 1,2 \times 10^{-4}$ сна.

Тем не менее, следует отметить, что даже при столь малых флюенсах и дозах повреждений $D \sim 10^{-4}$ сна данный метод позволяет получить достоверные данные об уровне радиационных повреждений.

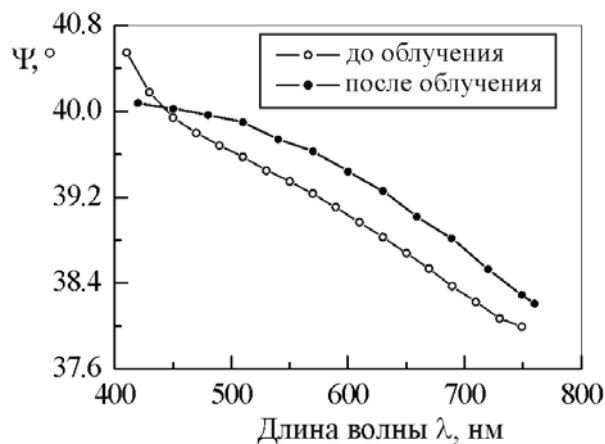


Рис. 1: Зависимость значений эллипсометрического угла Ψ от длины волны поляризованного света

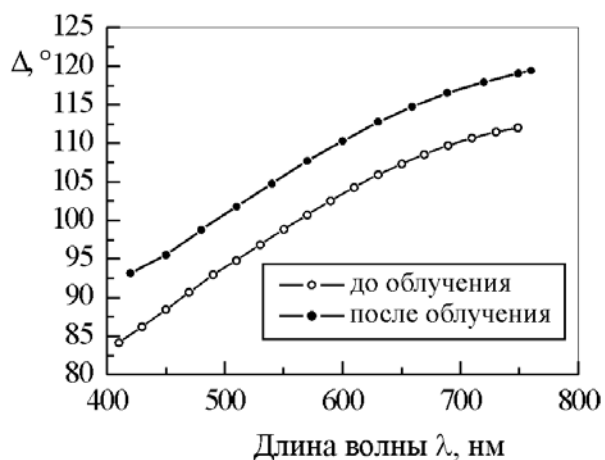


Рис. 2: Зависимость значений эллипсометрического угла Δ от длины волны поляризованного света

В работе установлено, что метод эллипсометрического исследования поверхности позволяет идентифицировать начальные стадии формирования кластеров радиационных дефектов, образованных облучением высокоэнергетических ионов с энергиями, соответствующими энергиям осколков деления ядерного топлива. Последнее обстоятельство представляет значительный интерес для атомной энергетики при выборе наиболее перспективных материалов для АЭС.

Список литературы

[1] Fujiwara H. Spectroscopic ellipsometry: principles & applications. Chichester: John Wiley & Sons, 2007, 370 p.
 [2] Брюховецкий В.В., Литвиненко В.В., Клепиков В.Ф. и др. Влияние импульсного электрон-

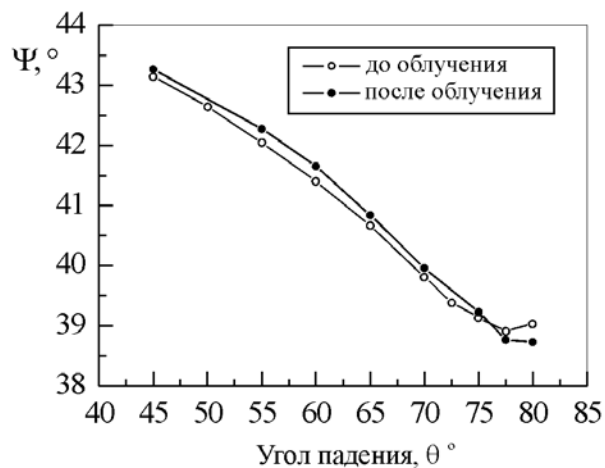


Рис. 3: Зависимость значений эллипсометрического угла Ψ от угла падения поляризованного света

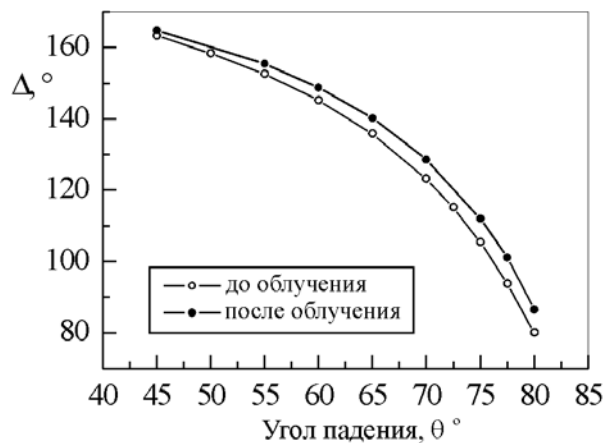


Рис. 4: Зависимость значений эллипсометрического угла Δ от угла падения поляризованного света

ного облучения на параметры сверхпластичности дюралюмина // ФИХОМ. 2002, №4. с.33-38.

[3] Беляева А.И., Галуза А.А., Клепиков В.Ф. и др. Спектральный эллипсометрический комплекс для диагностики радиационных превращений в металлах и сплавах // Труды XVIII Межд. Конф. По физике радиационных явлений и радиационному материаловедению.- Алушта. 2008. с.28-29
 [4] А.Хофман, А.Ю.Дидык. Эволюция структурных дефектов в алюминии, облученном ионами ксенона.// ФИХОМ, 2002, № 4, с.5-8.
 [5] Беляева А.И., Галуза А.А., Дидык А.Ю. и др. Эллипсометрические исследования оптических свойств поверхности алюминиевого сплава, облученного высокоэнергетическими ионами ксенона // ФИХОМ. 2009. № 5. с.33-36