

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА
ФАНЛАРИ**
4 СОН, 1 ЖИЛД

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ
НАУКИ**
НОМЕР 4, ВЫПУСК 1

**PHYSICAL AND MATHEMATICAL
SCIENCES**
VOLUME 4, ISSUE 1



Бош муҳаррир:
Главный редактор:
Chief Editor:
Эгамбердиев Бахром Эгамбердиевич
Физика-математика фанлари доктори,
профессор, РФА академиги.

Бош муҳаррир ўринбосари:
Заместитель главного редактора:
Deputy Chief Editor:
Далиев Хожакбар Султанович
Физика-математика фанлари доктори,
профессор.

"Физика-математика фанлари" журнали тахририй маслахат кенгаши
редакционный совет журнала "Физико-математические науки"
Editorial Board Journal of Physical and mathematical Sciences

Утамуродова Шарифа Бекмуродовна
Физика-математика фанлари доктори, профессор.

Отакулов Салим
физика математика фанлари доктори

Жабборов Насридин Мирзоодилович
Физика-математика фанлари доктори, профессор

Зикиров Обиджан Салижанович
Физика-математика фанлари доктори, профессор,

Шарипов Олимжон Шукурович
Физика-математика фанлари доктори, профессор,

Бешимов Рузиназар Бебутович
Физика-математика фанлари доктори, профессор,

Маллаев Амин Сайфуллоевич
Физика-математика фанлари номзоди, доцент

Алиназарова Махфуза Алишеровна
физика-математика фанлари фалсафа доктори

PageMaker \ Верстка \ Саҳифаловчи: Хуршид Мирзахмедов

Контакт редакций журналов. www.tadqiqot.uz
ООО Tadqiqot город Ташкент,
улица Амира Темура пр.1, дом-2.
Web: <http://www.tadqiqot.uz/>; E-mail: info@tadqiqot.uz
Тел: (+998-94) 404-0000

Editorial staff of the journals of www.tadqiqot.uz
Tadqiqot LLC the city of Tashkent,
Amir Temur Street pr.1, House 2.
Web: <http://www.tadqiqot.uz/>; E-mail: info@tadqiqot.uz
Phone: (+998-94) 404-0000

МУНДАРИЖА \ СОДЕРЖАНИЕ \ CONTENT

1. Жалолова Покиза THE METHODOLOGY OF ORGANIZING CLASSES IN THE CREDIT SYSTEM OF EDUCATION IN "PHYSICS" BASED ON ICT.....	4
2. Бадалов Дилмурод ТРАПЕЦИЯНИНГ ИККИНЧИ ЎРТА ЧИЗИФИ.....	10
3. Юнусов Ғанишер СУЮҚЛИКЛАРНИНГ ЁНБОШГА ОҚИШ МАСАЛАСИ ТАДҚИҚОТИ.....	16
4. Эшқобилова Дилрабо Тўрахановна I_{β} ФУНКТОРИНИ ТЕКИС ФАЗОЛАР КАТЕГОРИЯСИГА КЎТАРИШ.....	29
5. Юсупов Рустам, Ахралов Шавкат, Мирзанова Нозима, Насириддинов Аълоуддин FRAKTAL TUZILISHGA EGA BO'LGAN G'OVAKLI MUHITDAGI GEOFILTRATSIYA VA GEOMIGRATSIYA MATEMATIK MODELLARI.....	40
6. Xalimov Moxir, Achilov Nurbek, Bekqulov Quadrat, Хо'jaqulov Elbek, Ко'kiyev Boburmirzo CHIZMACHILIK VA CHIZMAGEOMETRIYA FANLARIDA BURCHAK TOPISHNING BAZI USULLARI.....	47
7. Собиров Жасур, Султанов Бекзод ГАЛИЛЕЙ ХАРАКАТИДА ХОСИЛ БЎЛГАН АЙЛАНМА СИРТЛАР.....	53
8. Tojiboev Davronbek, Kungurov Faxrulla, Baitesov Sapar, Hikmatov Ilhom, Aliqulov Sherali, Tojiboev Dier, Egamediev Serik ALYUMINIY QOTISHMALARINING ELEKTR O'TKAZUVCHANLIGINING TEZ NEYTRONLAR FLUENSASIGA BOG'LIQLIGI.....	65
9. Hikmatov Ilhom, Kungurov Faxrulla, Baitesov Sapar, Tojiboev Davronbek, Aliqulov Sherali, Tojiboev Dier, Egamediev Serik PLASTINKA TURIDAGI YANGI YOQILG'I ELEMENTINING MODELINI O'RGANISH.....	73
10. Jumayev Davron Ilhomovich, Ishniyazov Baxrom Normamatovich, Tagaymuratov Abror Olimovich, Nuraliyev Umidjon Abdulkarim o'g'li G-TOPOLOGIK FAZOLARNING KO'PAYTMASI G-TOPOLOGIK FAZO BO'LADI.....	81

ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

Tojiboev Davronbek Davlatalievich

O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasining
Yadro fizikasi instituti stajirovka qiluvchi ilmiy xodim
Elektron pochta: tojiboyev_davron89@mail.ru

Kungurov Faxrulla Rahmatullaevich

Yadro fizikasi instituti. O'zbekiston Respublikasi
Fanlar akademiyasi fizika-matematika fanlari nomzodi
Elektron pochta: fkungurov@inp.uz

Baitesov Sapar Akimovich

O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasining
Yadro fizikasi instituti fizika-matematika fanlari nomzodi
Elektron pochta: baytel@inp.uz

Hikmatov Ilxom Ixtiyarovich

O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasining
Yadro fizikasi instituti stajirovka qiluvchi ilmiy xodim
Elektron pochta: hikmatov_87@mail.ru

Aliqulov Sherali Abdusalamovich

O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasining
Yadro fizikasi instituti kichik ilmiy xodim
Elektron pochta manzili: alikulov@inp.uz

Tojiboev Dier Po'latovich

O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasining
Yadro fizikasi instituti kichik ilmiy xodim
Elektron pochta: tadjiboyev@inp.uz

Egamediev Serik Hujhambardievich

O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasining
Yadro fizikasi instituti katta ilmiy xodim
Elektron pochta: egamediyev@inp.uz

ALYUMINIY QOTISHMALARINING ELEKTR O'TKAZUVCHANLIGINING TEZ NEYTRONLAR FLUENSASIGA BOG'LIQLIGI



<http://dx.doi.org/10.26739/2181-0656-2020-4-8>

АННОТАЦИЯ

Solishtirma qarshilikning harorat va dozaga chiziqli bo'lmagan bog'liqligi o'rganildi. Qotishma strukturasi rentgenologik strukturaviy tahlili asosida SAV-1 qotishmasi interstitsial qattiq eritma ekanligi ko'rsatilgan bo'lib, unda atomlarning o'rtacha statik aralashmasi ularning issiqlik harakati natijasida sodir bo'lgan dinamik siljishlarining kattaligi bo'yicha taqqoslanadi. 290 - 490 K harorat oralig'ida, 10^{16} - 10^{21} n·cm⁻² oqimga ega tezkor neytronlar bilan nurlangan SAV-1 reaktor konstruktor qotishmasining tuzilishi va elektr o'tkazuvchanligi, nurlanmagan SAV-1

qotishmasi uchun qotishma solishtirma qarshiligining hisoblangan qiymati yaxshi kelishilganligi ko'rsatilgan. o'rganilayotgan harorat oralig'idagi eksperimental qiymat.

Kalit so'zlar: Past haroratli nurlanish, kristall panjaraning nuqsonlari, neytron nurlanishi, o'rtacha neytron energiyasi, yoqilg'i materiallari, ravonlik, elektr qarshiligi, qotishma strukturasi, modifikatsiyasi, nurlanishdan keyingi qarish.

Тожибоев Давронбек Давлаталиевич

Институт ядерной физики Академии Наук
Республики Узбекистан стажёр-исследователь
E-mail: tojiboyev_davron89@mail.ru

Кунгуров Фахрулла Рахматуллаевич

Институт ядерной физики. Академии Наук
Республики Узбекистан Кандидат физико-математических наук
E-mail: fkungurov@inp.uz

Байтелесов Сапар Акимович

Институт ядерной физики Академии Наук
Республики Узбекистан Кандидат физико-математических наук
E-mail: baytel@inp.uz

Хикматов Ильхом Ихтиярович

Институт ядерной физики Академии Наук
Республики Узбекистан стажёр-исследователь
E-mail: hikmatov_87@mail.ru

Аликулов Шерали Абдусаламович

Институт ядерной физики Академии Наук
Республики Узбекистан Младший научный сотрудник
E-mail: alikulov@inp.uz

Таджибоев Диер Пулатович

Институт ядерной физики Академии Наук
Республики Узбекистан Младший научный сотрудник
E-mail: tajiboyev@inp.uz

Эгамедиев Серик Хужамбердиевич

Институт ядерной физики Академии Наук
Республики Узбекистан Старший научный сотрудник
E-mail: egamediyev@inp.uz

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ, В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ФЛЮЕНСА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ

АННОТАЦИЯ

Установлена нелинейная зависимость удельного сопротивления от дозы и температуры. На основе рентгеноструктурного анализа структуры сплава показано, что сплав САВ-1 является твердым раствором внедрения, в котором среднее статическое смещение атомов по порядку величины сравнимо с их динамическими смещениями, вызываемыми тепловым движением. Исследована структура и электропроводность реакторного конструкционного сплава САВ-1, облученного быстрыми нейтронами с флюенсом $10^{16} - 10^{21}$ н·см⁻², в диапазоне температур 290 – 490 К. Показано, что для необлученного сплава САВ-1 расчетное значение удельного сопротивления сплава хорошо совпадает с экспериментальным значением в исследованном диапазоне температур.

Ключевая слова: Низкотемпературном облучении, дефекты кристаллической решётки, нейтронного облучения, средняя энергия нейтронов, материалы тепловыделяющих, флюенс, удельного электрического сопротивления, модификации структуры сплава, пострадиационного старения.

Tojiboev Davronbek Davlatalievich

Institute of Nuclear Physics of the Academy
of Sciences of the Republic of Uzbekistan intern researcher
E-mail: tojiboyev_davron89@mail.ru

Kungurov Fakhrulla Rakhmatullaevich

Institute of Nuclear Physics. Academy of Sciences
of the Republic of Uzbekistan Candidate
of Physical and Mathematical Sciences
E-mail: fkungurov@inp.uz

Baitesov Sapar Akimovich

Institute of Nuclear Physics of the Academy
of Sciences of the Republic of Uzbekistan Candidate
of Physical and Mathematical Sciences
E-mail: baytel@inp.uz

Hikmatov Ilkhom Ikhtiyarovich

Institute of Nuclear Physics of the Academy of
Sciences of the Republic of Uzbekistan intern researcher
E-mail: hikmatov_87@mail.ru

Alikulov Sherali Abdusalamovich

Institute of Nuclear Physics of the Academy of
Sciences of the Republic of Uzbekistan Junior Researcher
E-mail: alikulov@inp.uz

Tadjiboev Dier Pulatovich

Institute of Nuclear Physics of the Academy of
Sciences of the Republic of Uzbekistan Junior Researcher
E-mail: tadjiboyev@inp.uz

Egamediev Serik Huzhamberdievich

Institute of Nuclear Physics of the Academy of
Sciences of the Republic of Uzbekistan Senior Researcher
E-mail: egamediyev@inp.uz

ELECTRIC CONDUCTIVITY OF ALUMINUM ALLOYS DEPENDING ON FAST NEUTRON FLUENCE

ANNOTATION

The nonlinear dependence of the resistivity on the dose and temperature was determined. On the basis of X-ray structure of the alloy is shown that the alloy SAV-1 is a solid solution in which the average static mixing of atoms in order of magnitude compared with their dynamic displacements caused by thermal motion. It was investigated structure and conductivity of the reactor structural alloys SAV-1 irradiated with fast neutrons at a fluence of $10^{16} - 10^{21} \text{ n}\cdot\text{sm}^{-2}$ in the temperature range 290 - 490 K. It is shown that for unirradiated alloy SAV-1 calculated value of the resistivity of the alloy is in good agreement with the experimental value in studied temperature range.

Key words: Low-temperature irradiation, crystal lattice defects, fuel materials, average neutron energy, electrical resistivity, fluence, neutron irradiation, alloy structure modification, post-radiation aging.

Введение

Материалы тепловыделяющих элементов ядерных реакторов в процессе эксплуатации подвергаются одновременному воздействию ионизирующего излучения, температуры и продуктов радиолиза воды [1, С.24–29]. Облучение быстрыми нейтронами ($E_n > 0,1 \text{ МэВ}$) с параметрами (флюенс, температура, среда), характерными для эксплуатации их в исследовательских реакторах, главным образом влияет на механические свойства материалов, повышая их прочность и снижая пластичность [2, С.209]. Облучение, изменяя структуру

материала, также изменяет кинетику процесса старения сплава [3, С.286-289], которые определяют электрическое сопротивление. Ранее, нами было проведено исследование влияния реакторного облучения на микроструктуру и микротвердость авиала САВ-1 [4, С.73-78]. В данной работе исследовано воздействие облучения на электропроводность.

В сплавах в отличие от чистых металлов под действием облучения развиваются различные радиационно-индуцированные структурные превращения, которые определяют изменения свойств материалов в процессе облучения и во многом определяют их радиационную повреждаемость. Эти процессы непосредственно связаны со свободной миграцией точечных дефектов, генерируемых облучением. При нейтронном облучении наряду со свободно мигрирующими дефектами возникают также вакансионные кластеры. Диффузионная длина мигрирующих радиационных дефектов, зависит от типа и концентрации стоков точечных дефектов, которыми могут служить дислокации, вакансионные кластеры, межфазные границы [11, С.352; 12, С.248].

Одной из структурно чувствительных характеристик является электропроводность, величина которой может определять степень радиационного воздействия. В работе [10, С.148-152.] были получены предварительные результаты по зависимости электропроводности от величины флюенса нейтронов и показано, что вводимые облучением дефекты кристаллической решетки создают в материале систему энергетических барьеров. Рассеяние носителей заряда на этих барьерах приводит к увеличению удельного электрического сопротивления. В настоящей работе исследованы закономерности воздействия нейтронного излучения на структуру и температурную зависимость удельного электросопротивления сплава САВ-1.

Анализ экспериментальных данных

Обнаруженное различие между параметрами кристаллической решетки сплава и чистого алюминия легко объясняется, если предположить, что сплав САВ-1 представляет собой твердый раствор внедрения, поскольку кремний и магний не образуют химических соединений с алюминием [11, С.352]. Соответственно, атомы основных легирующих элементов кремния и магния увеличивают размер тех элементарных ячеек, в междоузлиях которых они располагаются.

Поскольку размер элементарной ячейки кристаллической решетки твердого раствора в разных участках решетки различен, поэтому можно говорить лишь о среднем значении периода (его и измеряют при рентгенографическом исследовании). Определение периода решетки твердого сплава в сочетании с точным измерением плотности позволяет решить вопрос о том, как построен этот сплав. Для этого необходимо определить среднее число атомов Z , приходящееся на элементарную ячейку кристаллической решетки.

Для подтверждения указанного предположения была рассчитана концентрация атомов n в чистом алюминии и исследованном сплаве САВ-1:

$$n = N_A \cdot \rho \sum_1^m \frac{A_i}{\mu_i}, \quad (1)$$

где N_A – число Авогадро, ρ – плотность сплава, μ_i – молярная масса соответствующего элемента, входящего в состав сплава с массовой долей A_i . В результате получено, что концентрация атомов n в сплаве и чистом алюминии равна $6,41 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$ и $6,02 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$, соответственно.

Используя среднее значение параметра решетки сплава САВ-1 $a_{\text{спл}}$, полученное из рентгенографического анализа, легко получить среднее число атомов Z , приходящееся на элементарную ячейку кристаллической решетки этого сплава:

$$Z = n \cdot a_{\text{спл}}^3 \quad (2)$$

Результаты расчета по формуле (2), показали, что это число в сплаве САВ-1 $Z > 4$, то есть больше нормального числа атомов в ячейке гранцентрированной кристаллической решетки. Отсюда следует однозначный вывод, что сплав САВ-1 в основном построен по типу твердого раствора внедрения.

Известно, что в твердых растворах внедрения атомы растворенных элементов располагаются в межатомных промежутках кристаллической решетки и приводят к местным искажениям кристаллической структуры основы сплава [11, С.352]. Эти искажения, относительно велики из-за малых размеров пор, в которых размещаются примесные атомы. Поэтому увеличение объема искаженных ячеек, несмотря на их относительно малую долю, приводит к заметному увеличению среднего периода решетки сплава, и соответствующему возрастанию объема элементарной ячейки при образовании раствора внедрения, что и наблюдается на опыте. Как следствие, конкретная конфигурация кристаллической решетки сплава характеризуется тем, что одни поры заняты, а другие свободны. Такой раствор внедрения можно рассматривать как трехкомпонентную систему из атомов основного элемента – растворителя, внедренных атомов и пустых пор [13, С.43-47; 14, С.160-164].

В соответствие с упругой моделью твердого тела [15, С.501], степень искажения структуры твердого тела определяется величиной среднего квадратичного статического смещения атомов из положений равновесия:

$$u_{\dot{n}0}^2 = \gamma \cdot N \cdot \Delta R^2, \quad (3)$$

где γ - числовой множитель, равный 7,8 для кубической гранцентрированной решетки, ΔR – разность атомных радиусов, N – относительная концентрация атомов примеси. Принимая, что основной вклад в искажение кристаллической решетки сплава САВ-1 дают атомы кремния (атомные радиусы брались из [9, С.215]), получаем среднее статическое смещение, равное 0,04 нм, которое по порядку величины сравнимо с динамическими смещениями атомов из положений равновесия, вызываемыми тепловым движением в кристалле [3, С.286-289].

Такой результат свидетельствует о том, что сплавах периодичность потенциала кристаллической решетки, наряду с тепловыми колебаниями атомов нарушается хаотично распределенными атомами легирующих элементов, происходит дополнительное рассеяние носителей заряда и уменьшение их подвижности. В итоге, величина удельного сопротивления сплава, как правило, выше удельного сопротивления металла, составляющего его основу, поскольку к сопротивлению ρ_T , обусловленное рассеянием на тепловых колебаниях решетки добавляется сопротивление $\rho_{ост}$, вызванное структурными дефектами.

Согласно правилу Маттиссена об аддитивности сопротивления общее удельное сопротивление сплава определяется их суммой [16, С.80]:

$$\rho_{спл} = \rho_{ост} + \rho_T \quad (4)$$

При этом температурный коэффициент сопротивления сплава $\alpha_{спл}$ можно представить в виде [17, С.270-273]:

$$\alpha_{спл} = \frac{1}{\rho_{ост} + \rho_T} \frac{d\rho_T}{dT} \quad (5)$$

Уравнение (5) получено в предположении независимости $\rho_{ост}$ от температуры. Видно, что температурный коэффициент сопротивления сплава должен быть меньше α чистого металла, причем тем меньше, чем больше $\rho_{ост}$ отличается от ρ_T . После простых преобразований из (5) получается соотношение, позволяющее определить $\rho_{ост}$ для сплава САВ-1:

$$\rho_{ост} = \rho_T \frac{\alpha - \alpha_{спл}}{\alpha_{спл}} \quad (6)$$

Расчет по формулам (4, 6) с использованием литературных данных по $\alpha=0,0038 \text{ K}^{-1}$ и $\rho_T=2,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ для чистого алюминия [16, С.80] и величины $\alpha_{\text{спл}}=0,0035 \text{ K}^{-1}$ для САВ-1, определенного экспериментально, дал значение $\rho_{\text{спл}}=2,93 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$, которое хорошо совпадает с экспериментальным значением $\rho_{\text{спл}}=2,88 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ для необлученного сплава САВ-1 в исследованном диапазоне температур.

Таким образом, анализ полученных экспериментальных результатов позволил установить, что сплав САВ-1 по своей структуре является твердым раствором внедрения и что удельное сопротивление сплава изменяется нелинейно как от температуры, так и от дозы облучения. При этом с ростом флюенса нейтронов отклонение от линейной зависимости и, соответственно, скорость роста сопротивления сплава с температурой увеличиваются.

Образцы и методы исследования

Исследовались образцы алюминиевых сплавов САВ-1, изготовленных из материалов промышленной поставки (таблица 1). Сплавы имеют гранцентрированную кубическую структуру с параметром решетки $a = 4,06 \text{ \AA}$ и $a = 4,07 \text{ \AA}$, соответственно. Равновесная структура сплава САВ-1 представляет собой твердый раствор легирующих компонентов в алюминии с включением интерметаллидных фаз (CuAl_2 , Mg_2Si и т.д.). При такой структуре сплав обладает достаточной прочностью и высокой пластичностью.

Таблица 1. Содержание элементов в образцах сплавов САВ-1

Марк а сплав а	Химический состав, %												
	Al	Mg	Si	Примеси, не более									
				Fe	Cu	Na	Ni	Ti	B	Cd	Zn	проч е	сумм а
САВ- 1	97, 6	0,0 7	2.0 9	0,0 5	0,0 3	0,01 2	0,0 4	0,0 2	0,01 2	0,000 1	0,0 3	0,03	0,07

Образцы представляли собой диски диаметром $d = 15 \text{ мм}$, толщиной $h = 3 \text{ мм}$ для металлографического анализа и стержни длиной 40 мм , $d = 5 \text{ мм}$ для измерения удельного электрического сопротивления и линейных размеров. Кромки образцов механически обрабатывались для снятия заусенцев, а поверхности шлифовали абразивными материалами с последовательно убывающей величиной зерна до придания гладкого блестящего вида. После этого образцы обезжиривали этиловым спиртом и проводили химическое полирование последовательно в растворах NaOH и HNO_3 , а затем промывали в дистиллированной воде. Далее образцы, помещались в негерметичный алюминиевый контейнер и облучались в вертикальном канале вблизи активной зоны атомного реактора ВВР-СМ ИЯФ АН Республики Узбекистан до флюенсов 10^{17} , 10^{18} , 10^{19} , 10^{20} , 10^{21} н/см^2 . Температура образцов во время облучения практически не отличалась от температуры теплоносителя. Реактор работал на мощности 10 МВт .

Спектр нейтронов, выделяющихся в процессе деления, заключен в широком энергетическом интервале от небольших энергий до 25 МэВ , который был рассчитан по методике, описанной в [5, С.119-123]. Средняя энергия нейтронов деления составляет примерно 2 МэВ , а наиболее вероятная – $0,72 \text{ МэВ}$. Выше 3 МэВ с ростом энергии поток нейтронов уменьшается почти экспоненциально.

Измерение удельного электрического сопротивления при постоянном напряжении (ρ) проводили четырехзондовым компенсационным методом.

Результаты и обсуждение

Воздействие нейтронного облучения на удельное электрическое сопротивление исследуемых образцов также зависит от состава примесей. На рисунке 1 представлены изменения удельного объемного сопротивления сплава САВ-1 в зависимости от флюенса нейтронов.

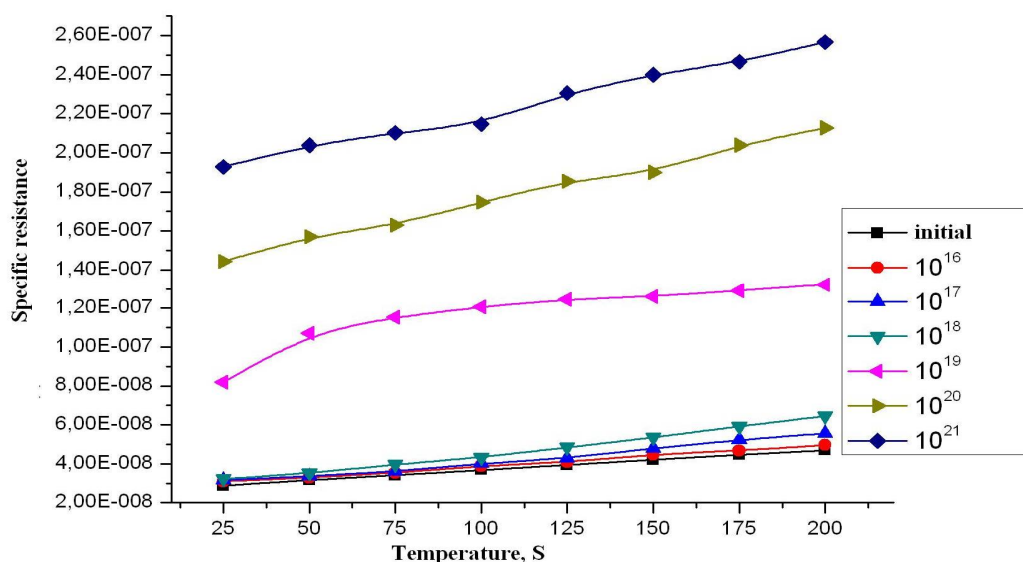


Рис. 1.

Из рисунка видно, что изменение сопротивления образца САВ-1 линейно возрастает с полученным флюенсом, увеличиваясь по сравнению с сопротивлением необлученного образца на 9,1% после набора 10^{19} см⁻². При дальнейшем наборе флюенса, скорость возрастания сопротивления увеличивается, ρ при флюенсе 10^{20} см⁻², становится равным $4,2 \times 10^{-8}$ Ом·м, т.е. большим исходной величины на 18,3%.

Облучение в первую очередь изменяет структуру материала, и, как следствие, кинетику процесса модификации структуры сплава [5, С.119-123.], определяющую сопротивление материала. Так как линейные размеры исследуемых образцов весьма мало изменяются при увеличении флюенса нейтронов, то, следовательно, такое поведение удельного сопротивления облученных сплавов, вероятнее всего, можно связать с изменением структурного состояния материала, которое произошло в результате воздействия нейтронов, а также пострадиационного старения, что подтверждается результатами микроанализа.

Нейтроны создают в металлической матрице пары Френкеля (вакансия + межузельный атом). Межузельные атомы, имеющие более высокую подвижность по сравнению с вакансиями, поглощаются стоками (дислокации, границы зерен и т.п.), либо образуют межузельные дислокационные петли. В объеме металлических образцов, таким образом, устанавливается некоторая стационарная концентрация избыточных вакансий, которые являются источниками макроскопических упругих напряжений [7, С.792; 8, С.470]. С раздроблением интерметаллических фаз возрастает плотность дислокаций в металле. Однако, их движению препятствует большое число границ раздела. В дальнейшем, система избыточных вакансий становится неустойчивой, то есть вакансии, растворенные в металлической матрице, представляют собой распадающийся раствор.

Выводы

Полученные нами данные не выходят за рамки существующих представлений о процессах, происходящих при низкотемпературном облучении алюминиевых сплавов, и подтверждают возможность применения метода измерения электропроводности при изучении процессов радиационно индуцированного изменения структуры металлов. Принимая во внимание малые величины удельного электрического сопротивления, можно сделать вывод о возможности применения исследуемых алюминиевых сплавов до флюенсов 10^{21} см⁻² без заметной потери прочности. [6, С.15]

Вводимые облучением дефекты кристаллической решётки создают в материале систему энергетических барьеров, рассеяние носителей заряда на этих барьерах приводит к увеличению удельного электрического сопротивления. На основании экспериментальных

данных по удельным электрическим сопротивлениям рассчитаны времена свободного пробега электронов в алюминиевых сплавах.

Литература

1. В.К. Милинчук. Радиационная химия // Соросовский образовательный журнал. 2000, т. 6, №4, с. 24–29.
2. Corrosion of Research Reactor Aluminium Clad Spent Fuel in Water. Technical Reports Series No 418. // Vienna, International Atomic Energy Agency, 2003, p. 209.
3. Краст Х.Б., Лайвиньш, Бялбжеский А.В., Тиликс Ю.Е. Исследование алюминиевой оболочки отработанных твэлов реактора ИТР-200. Ж. «Атомная энергия» т. 27, в. 4, 1969, с. 286-289.
4. У.С. Салихбаев, С.А. Байтелесов, И. Хидиров, Ф.Р. Кунгуров, А.С. Саидов, В.Н. Сандалов. Влияние реакторного облучения на микроструктуру и микротвердость алюминиевых сплавов САВ-1 и АМГ-2. «Альтернативная энергетика и экология», 2008, №9. С. 73-78.
5. U.S. Salikhbaev, S.A. Baytelesov, A.A. Dosimbaev, Yu.N. Koblik, U.A. Khalikov, V.S. Yuldashev. About some characteristics of WWR-SM reactor at work with the low enriched nuclear fuel. Journal of Nuclear and Radiation Physics, ISSN: 1687-420X, Volume 1, Number 2 Nov. 2006, p. 119-123.
6. Вотинов С.Н., Шаров Б.В., Ярковой С.В., Шамардин В.К., Серняев Г.А., Раецкий В.М., Покровский А.С. Ускорение структурных изменений в алюминиевом сплаве под действием реакторного облучения. // Изд. МЕЛЕКЕСС, 1970, с.15.
7. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. Пер. с англ. М.: Наука, 1978. 792 с.
8. Блат Ф. Физика электронной проводимости в твердых телах. М.: Мир, 1971. 470 с.
9. Агеев Н.В., Иванов Л.И., Вотинов С.Н., Гусева М.И. и др. Конструкционные материалы для реакторов термоядерного синтеза. // М.: Наука, 1983, 215 с.
10. Байтелесов С.А., Салихбаев У.С., Сандалов В.Н., Кунгуров Ф.Р., Халиков У.А. Атомная Энергия.- Москва, 2010.- №3, т.109, вып. 3. -С. 148-152.
11. Уманский Я.С., Скаков Ю.А. Физика металлов. Атомное строение металлов и сплавов: Учебник для вузов. – М.: Атомиздат, 1978. – 352 с.
12. Динс Дж, Винйер Дж. Радиационные эффекты в твердых телах М.:ИИЛ, 1960.248 с
13. Данилов С.Е., Арбузов В.Л., Гощицкий Б.Н., Карькин А.Е., Павлов В.А., Пархоменко В.Д.. Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение (90). 2007. №2., с. 43-47.
14. Лебедев В.М., Лебедев В.Т., Орлов С.П., Марголин Б.З., Морозов А.М.. ФТТ. 2014. Т. 56, в. 1, с. 160-164.
15. Жданов Г.С. Физика твердого тела. М.:МГУ. 1962. 501 с.
16. Королёв А.П., Баршутин С.Н. Материалы электроники и электротехники: учебное пособие. Тамбов: Изд-во ТГТУ. 2010. 80 с.
17. Аликулов Ш.А., Ахмеджанов Ф.Р., Байтелесов С.А., Болтабаев А.Ф., Кунгуров Ф.Р., Рахимов Э.Т., Салихбаев У.С. Атомная Энергия. 2015. Т. 117, в. 5 с. 270-273.

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА
ФАНЛАРИ**

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ
НАУКИ**

**PHYSICAL AND MATHEMATICAL
SCIENCES**

№4 (2020)