

РАЗДЕЛ ПЯТЫЙ

ОБЛУЧАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ДИАГНОСТИКА

УДК 548.526: 669.018

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ДИФФУЗИИ В МЕТАЛЛАХ И СПЛАВАХ РАДИОАКТИВНЫМ МЕТОДОМ

Н.А. Азаренков, В.Е. Семененко, Н.Г. Стервоедов, В.В. Подзолкова
Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина,
г. Харьков, Украина

Представлены результаты разработки аппаратно-программного комплекса для исследования диффузии в металлах и сплавах с использованием радиоактивных изотопов. Созданный комплекс может применяться как в научных, так и в учебно-методических целях.

Данные по параметрам диффузии необходимы для решения вопросов, связанных со структурой, составом и свойствами используемых и вновь синтезируемых материалов, в том числе металлов и сплавов, применяемых в атомной энергетике. Методы изучения диффузии с использованием радиоактивных изотопов уникальны по чувствительности, точности, экспрессивности, информативности и имеют несомненное преимущество перед остальными методами [1-6].

Аппаратура для исследования диффузии, созданная ранее, в настоящее время не удовлетворяет всем современным требованиям. Поэтому представляется интересной и актуальной разработка новых исследовательских компьютерных приборов и установок для этой цели, что и составляет основную задачу настоящей работы.

В статье приведены результаты разработки аппаратно-программного комплекса для исследования диффузии и самодиффузии с использованием радиоактивных изотопов. При его создании использован богатый опыт исследований, проводимых ранее в

ХГУ и ННЦ ХФТИ (В.И. Иванов, А.М. Блинкин, И.Г. Иванцов, В.М. Амоненко и др.).

Учтены также основные требования, предъявляемые к современному физическому эксперименту.

1. АППАРАТУРА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Измерительный комплекс включает в себя аппаратную составляющую – установку, содержащую сцинтилляционный радиометр-спектрометр, систему питания и стабилизации измерительного тракта, микроконтроллерный модуль управления и обмена данными с компьютером, – и программную составляющую. Программное обеспечение комплекса содержит драйверы обмена данными и пользовательские программы, которые позволяют в диалоговом режиме измерять активность J образцов с учетом энергетического спектра используемых радионуклидов, задавать время экспозиции $T_{\text{экс}}$ с необходимой статистической точностью измерений, вычислять энергию активации диффузии Q , предэкспоненциальный множитель D_0 , представлять данные эксперимента в табличном или графическом виде.

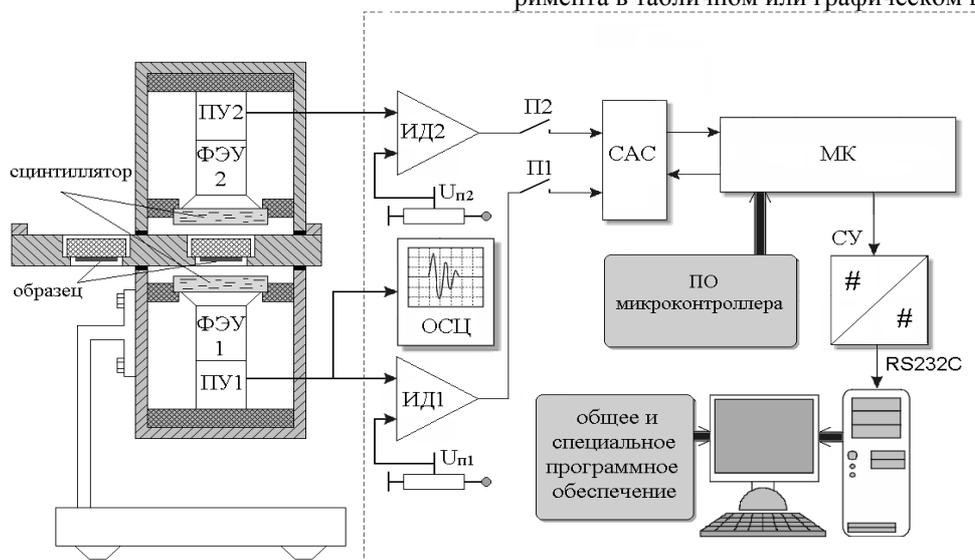


Рис. 1. Структурная схема установки

Программная часть содержит также базы данных радиоизотопов, коэффициентов диффузии, коэффициентов поглощения излучений веществом, таблицы значений основных функций, методические руководства и указания по проведению измерений и вычислений параметров диффузии.

1.1. СХЕМА УСТАНОВКИ

Структурная схема разработанной установки приведена на рис.1. Установка состоит из измерительного модуля, регистрирующего ионизирующее излучение, электронного микроконтроллерного блока для усиления и преобразования сигналов и управляющего компьютера. Установка работает в нескольких основных режимах, реализующих различные методы измерения параметров диффузии.

В первом счетном режиме излучение с исследуемого образца регистрируется одним сцинтиллятором и фотоэлектронным умножителем (ФЭУ1). После усиления в предварительном усилителе (ПУ1) сигналы, представляющие собой совокупность полезной информации и шумовых импульсов фотоэлектронного умножителя, подаются на интегральный дискриминатор (ИД1), на второй вход которого подается пороговое напряжение $U_{п1}$. На выходе интегрального дискриминатора формируются стандартные счетные импульсы, если амплитуда входных сигналов превышает установленный порог срабатывания дискриминатора. Эти счетные импульсы для определения активности образца J подсчитываются электронным счетчиком, который программно встроен в микроконтроллер (МК). В микроконтроллере также программно реализован таймер, задающий время экспозиции $T_{экс}$. Данные об активности образца через устройство согласования логических уровней (СУ) в стандарте RS232C передаются в управляющий компьютер установки. Порог срабатывания дискриминатора подбирается экспериментально для максимального устранения шумовых импульсов ФЭУ. При этом, естественно, теряется и часть полезной информации. Однако потерянные данные можно восстановить расчетным путем, зная форму кривой, описывающей энергетическое распределение излучения используемого изотопа и значение порога дискриминации.

В описанном режиме работы установки реализуются измерения параметров диффузии всеми разновидностями метода снятия слоев и методами поглощения (абсорбционными) с известным коэффициентом поглощения излучения μ материалом матрицы.

Вычисление коэффициентов диффузии при изотермическом отжиге с использованием метода снятия слоев и определения распределения активного элемента в глубь образца измерением интегральной активности J_i после каждого снятого слоя производится по известной формуле [1]:

$$D = -\frac{0.1086}{\lg \alpha \cdot t}, \quad (1)$$

где t – длительность диффузионного отжига, а значение тангенса угла наклона $\operatorname{tg} \alpha$ определяется из графика экспериментально устанавливаемой зависимости логарифма концентрации радиоактивных изотопов $\lg J$ от квадрата глубины диффузионного слоя x^2 .

При использовании абсорбционного метода с известным коэффициентом поглощения излучения μ материалом матрицы вычисления проводятся по формуле

$$\frac{J_t}{J_0} = \exp(z^2)(1 - \operatorname{erf} z), \quad (2)$$

где $z^2 = \mu^2 Dt$. Если используются короткоживущие изотопы, то тогда вводятся поправки на распад

$$\Phi(z) = \frac{J_t}{J_0} \exp(-\lambda t), \quad (3)$$

где λ – постоянная распада. Экспериментально определяется отношение интенсивностей $\Phi(z)$, вычисляется $z = \mu \sqrt{Dt}$, а затем и коэффициент диффузии D .

При необходимости, на установке (см. рис. 1) методом фильтров можно определить коэффициент поглощения μ :

$$J_x = J_0 \exp(-\mu x), \quad (4)$$

где x – толщина поглощающего фильтра; J_x – интенсивность излучения с поглотителем; J_0 – интенсивность излучения без поглотителя.

Во втором счетном режиме излучение с исследуемого образца регистрируется одновременно двумя сцинтилляторами и фотоэлектронными умножителями (ФЭУ1, ФЭУ2). В этом случае можно реализовать метод поглощения с неизвестным коэффициентом поглощения излучения μ материалом матрицы. Для этого после диффузионного отжига измеряется интенсивность излучения с одной (J_1) и с другой (J_2) стороны образца. Значение коэффициента диффузии определяется из соотношения

$$\lg \left(\frac{J_1 - J_2}{J_1 + J_2} \right) = \lg A - \frac{\pi^2 D}{l^2} t, \quad (5)$$

где A – постоянная, связанная с поглощением; l – толщина образца. Коэффициент диффузии находится

из графика зависимости $\lg \left(\frac{J_1 - J_2}{J_1 + J_2} \right)$ от времени

диффузионного отжига. В этом случае коэффициент диффузии также определяется из соотношения:

$$D = \frac{l^2}{\pi^2} \operatorname{tg} \alpha. \quad (6)$$

Определено, что рассматриваемый режим применим для β -активных индикаторов и индикаторов со слабым рентгеновским излучением.

В третьем режиме установка может работать как сцинтилляционный спектрометр, предназначенный для изучения энергетических спектров используемых радионуклидов. Для этого в схему установки введен спектрометрический усилитель и спектрометрический десятиразрядный аналого-цифровой преобразователь.

Для учета космического фона при измерении малоактивных образцов в схему установки введен модуль антисовпадений (САС). При одновременном срабатывании двух детекторов и дискриминаторов – случай регистрации космической частицы – сигналы от интегральных дискриминаторов блокируются схемой совпадений и счетчиком не подсчитываются.

1.2. ПРИНЦИПАЛЬНАЯ СХЕМА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЛЕРА

Основным узлом аппаратной части комплекса является универсальный измерительный контроллер, аналогичный используемому в работе [7], принципиальная схема которого приведена на рис. 2.

Основным элементом схемы является микроконтроллер AT89C51, совместимый по командам и архитектуре с семейством Intel 8051. Микроконтроллер имеет три параллельных двунаправленных порта ввода/вывода данных, два последовательных порта, два программируемых счетчика-таймера

с несколькими режимами работы, внутренний буфер на 128 байт и энергонезависимую память программ объемом 4 Кбайт.

В состав контроллера входит также 10-разрядный аналого-цифровой преобразователь последовательного типа AD7810 для преобразования в цифровые коды аналоговых сигналов, поступающих на него с 8-канального коммутатора KP590KH6 через прецизионный буферный усилитель K140УД17А. Контроллер имеет автономную динамическую индикацию принимаемых данных, клавиатуру управления, с которой задаются режимы работы прибора и поле дискретных датчиков информации. 8-разрядный регистр KP1533ИР22, транзисторные и тиристорные ключи введены в схему для управления циклами работы установки и линейной стабилизации ее режимов.

Для двухстороннего обмена данными с управляющим компьютером TTL-уровни процессора преобразуются в уровни стандарта RS-232C микросхемой MAX232.

2. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Программная составляющая комплекса состоит из программы микроконтроллера и программного обеспечения (ПО) управляющего компьютера. ПО управляющего компьютера включает в себя стандартные пакеты программ и несколько авторских программных модулей, объединенных в автоматизированное рабочее место (АРМ).

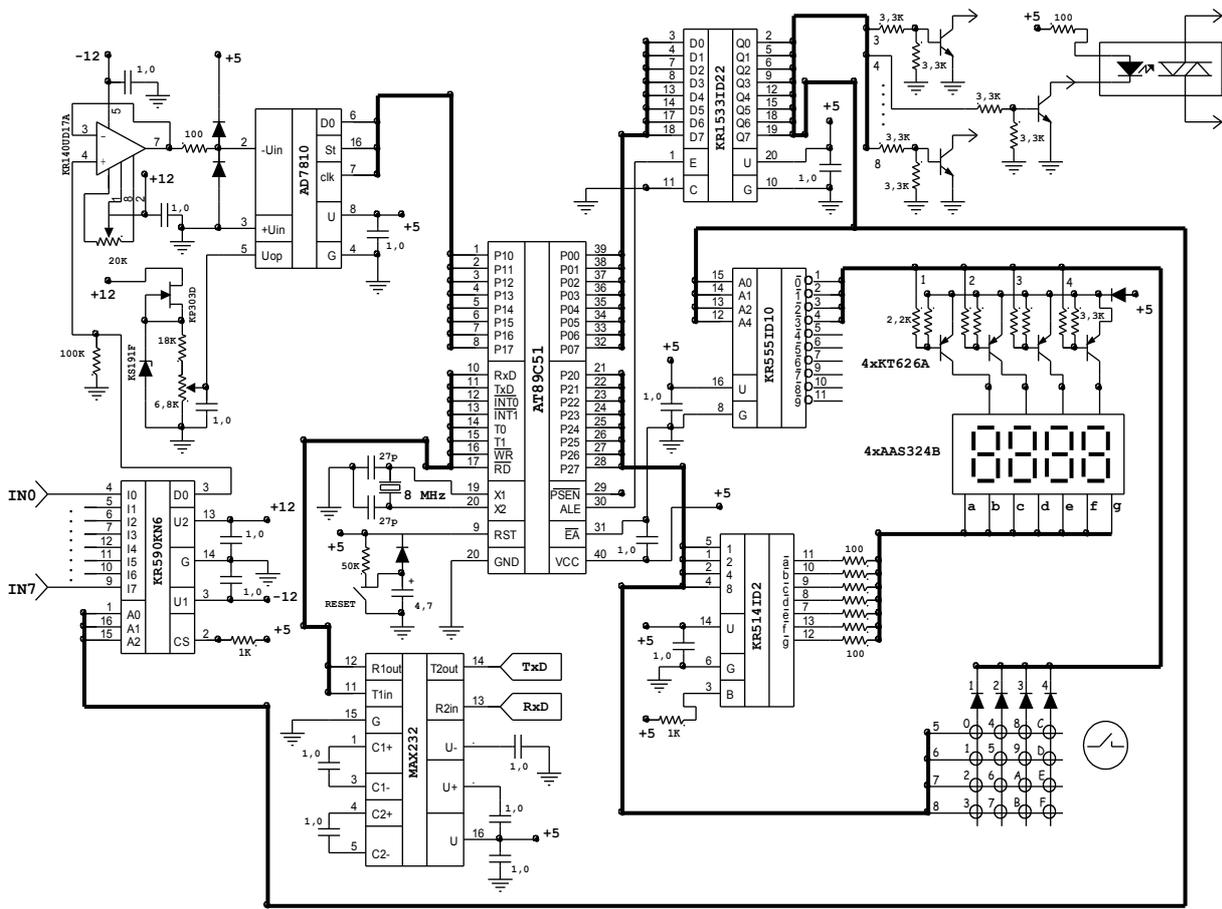


Рис. 2. Принципиальная схема контроллера

Программа микроконтроллера непосредственно обеспечивает функционирование аппаратной части комплекса, производит оцифровку поступающих с детекторов сигналов, их предварительную обработку, автономную индикацию, стабилизирует высоковольтное питание ФЭУ, контролирует пороги срабатывания дискриминаторов и осуществляет обмен данными с управляющим компьютером.

Как отмечалось, программное обеспечение управляющего компьютера содержит программные модули, позволяющие в интерактивном режиме определять параметры диффузии, экспортировать данные в программные пакеты обработки и визуализации, представлять данные эксперимента в табличном или графическом виде (рис. 3).

На рис. 4 показана одна из виртуальных панелей управления комплексом, реализованная в программ-

ном пакете LabVIEW. В этом же пакете реализованы драйверы обмена данными, программы многоканального амплитудного анализатора, программы предварительной обработки информации и другие авторские программы. АРМ содержит базу данных радиоизотопов «Jefrc», базы данных коэффициентов диффузии, коэффициентов поглощения излучений веществом, таблицы значений основных функций, методические руководства и указания по проведению измерений и вычислений параметров диффузии с использованием программы «Origin 7». Были проведены контрольные измерения параметров диффузии методом поглощения на электролитической меди и монокристаллическом никеле. Полученные результаты, показанные на рис. 5, хорошо согласуются с данными, приведенными в работах [1,6,7].

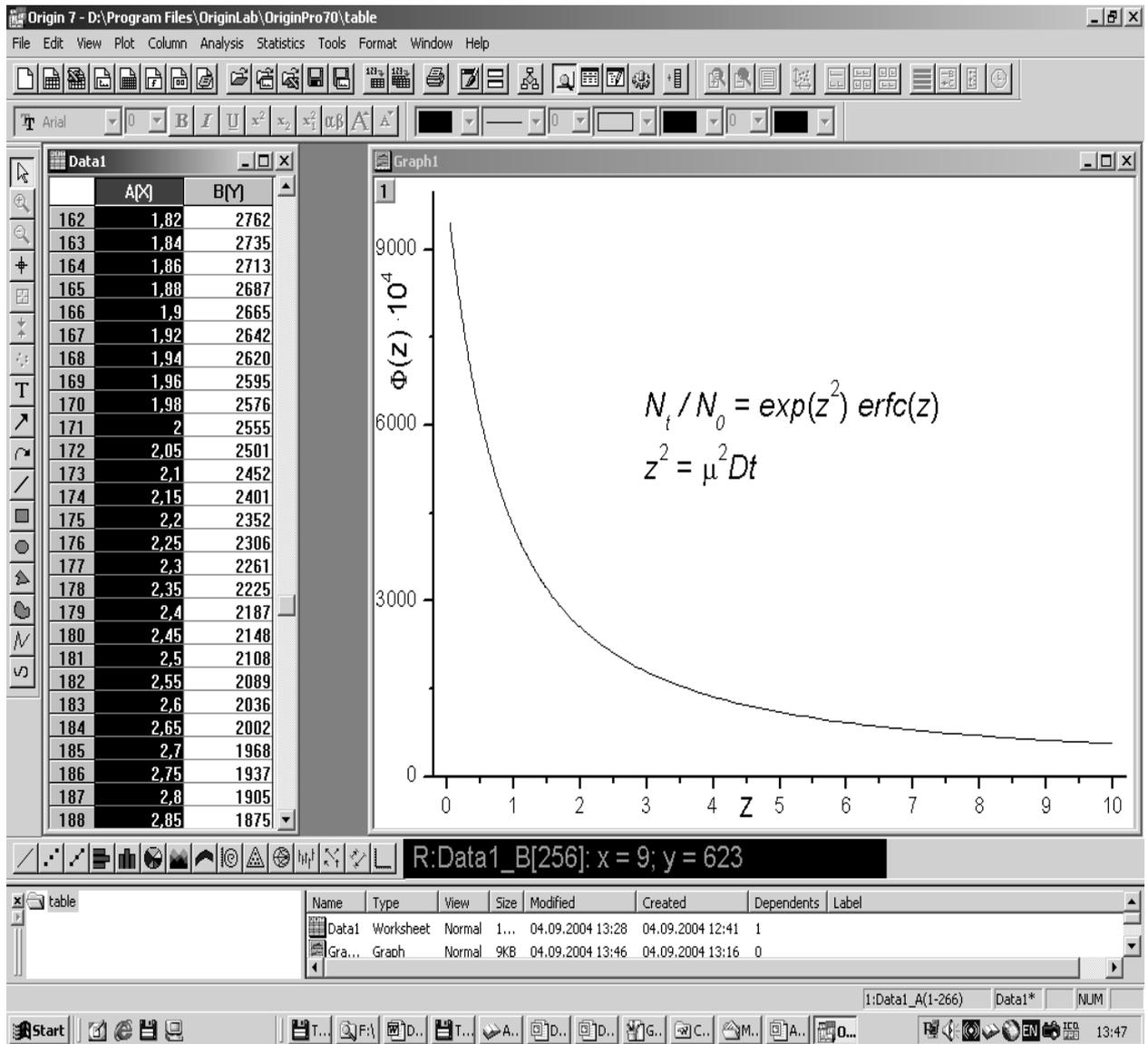


Рис. 3. Вычисление коэффициента диффузии методом поглощения

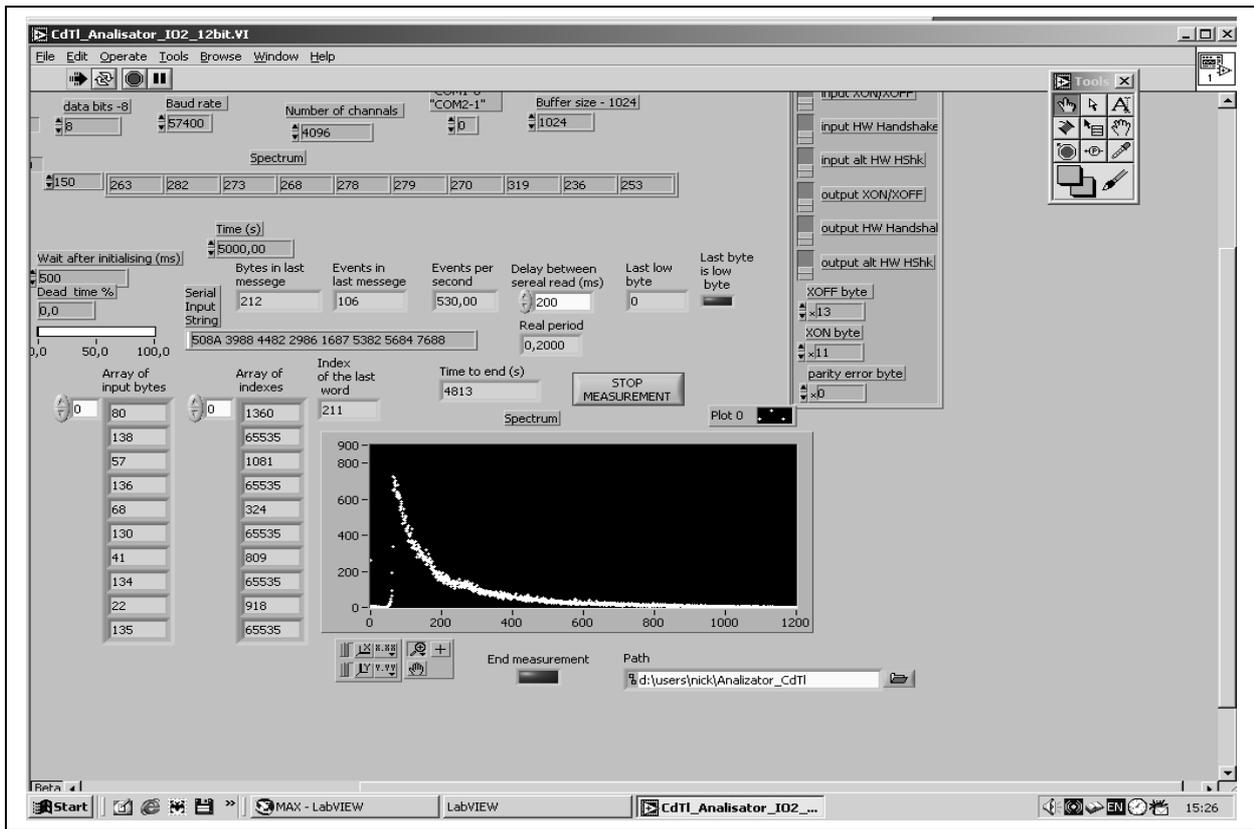


Рис. 4. Виртуальная панель управления комплексом для исследования диффузии в режиме многоканального амплитудного анализатора и измерения интенсивности

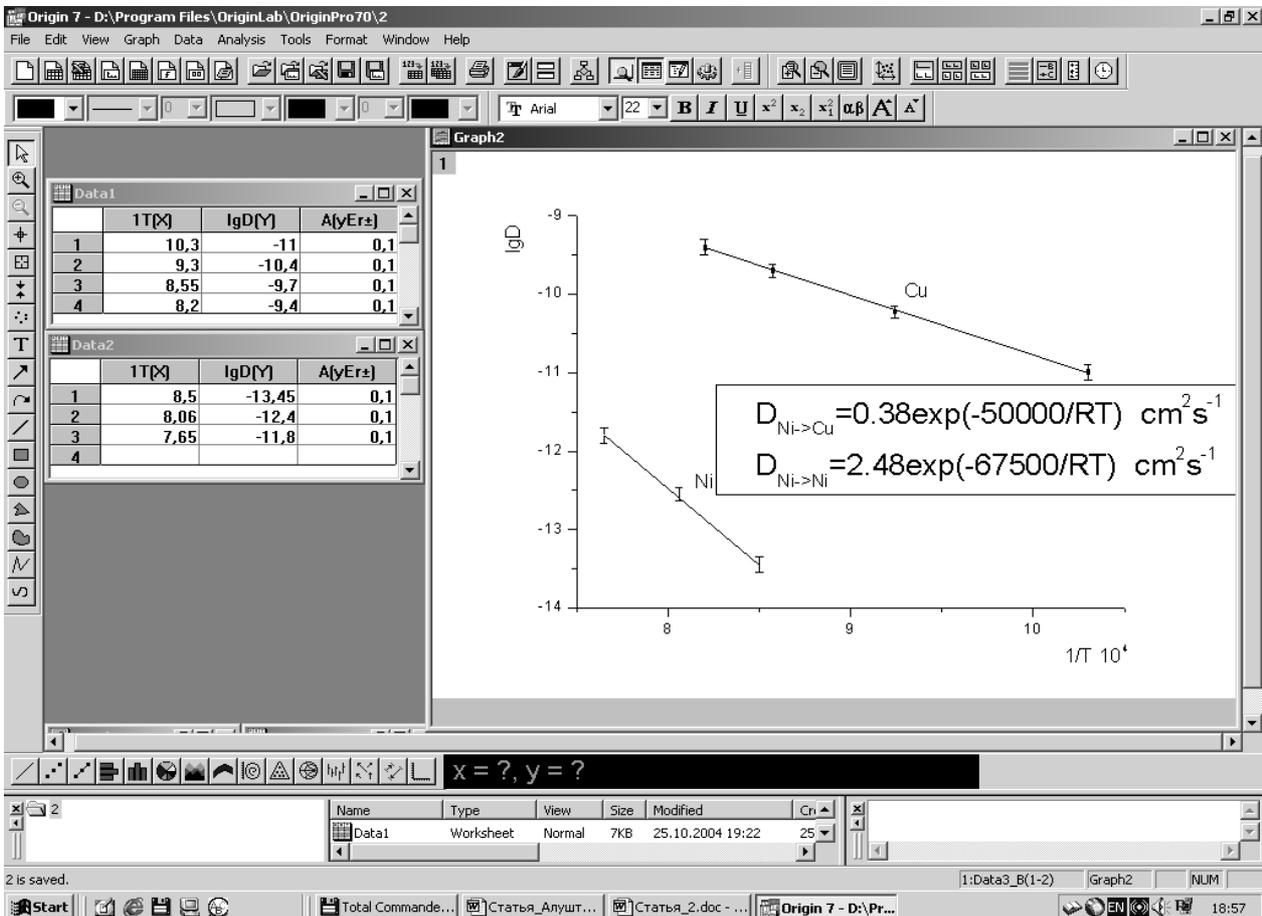


Рис. 5. Представление результатов эксперимента по исследованию диффузии ^{63}Ni методом поглощения контролируемой микроструктурой //ВАНТ. Серия: «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение». 1998, в. 3(69), 4(80), с. 151–152.

ВЫВОДЫ

Разработан компьютерный исследовательский аппаратно-программный комплекс для изучения диффузии радиоактивным методом с использованием современных электронных средств и программных пакетов. Созданная установка позволяет измерять энергетические спектры радионуклидов и в различных оптимально выбранных режимах определять параметры диффузии в металлах и сплавах как методом снятия слоев, так и абсорбционными методами.

Проведены контрольные измерения параметров диффузии Ni^{63} в монокристаллический никель и медь, результаты которых согласуются с имеющимися литературными данными.

В дальнейшем в базовый состав комплекса планируется ввести аппаратно-программные элементы дистанционного доступа и Веб-автоматизации, что позволит расширить область его применения в научных и учебно-методических целях.

ЛИТЕРАТУРА

- 1.С.Д. Герцрикен, И.Я. Дехтяр. *Диффузия в металах и сплавах в твердой фазе*. М.: «Физматгиз», 1960, 434 с.
- 2.В.Е. Семенов, М.А. Тихоновский. Диффузия радиоактивного никеля в гетерофазных материалах с

3.Д.С.Герцрикен, В.Ф. Мазанко, В.М. Тышкевич. Влияние ионной бомбардировки металлов в тлеющем разряде на миграцию собственных и примесных атомов //Металлофизика и новейшие технологии. 2003, т. 25, № 5, с. 621–633.

4.Прогресивні матеріали і технології. Т. 2, Київ: «Академперіодика», 2003, 652 с.

5.Yu. Mushin, Ch. Herring. Profile penetration diffusion on grain boundaries in different mechanism //J. Appl. Phys. 1993, v. 73, N12, p. 8206–8211.

6.С.З. Бокштейн, С.С. Гинзбург, С.Т. Кишки. *Авторадиография поверхностей раздела и структурная стабильность сплава*, М: «Металлургия», 1987, 284с.

7.А.Г. Гугля, Ю.А. Марченко, М.Ю. Силкин, С.Н. Стервоедов //Вісник Харківського університету. Серія фізична: «Ядра, частинки, поля». 2001, №510, в. 1(13), с. 94–98.

8.В.Е. Семенов, Г.П. Ковтун. Прочностные и диффузионные характеристики lamellarной эвтектической композиции Ni–Ni₃B //Вісник Харківського університету. Серія фізична «Ядра, частинки, поля». 2001, №510, в. 1(13), с. 79–82.

THE RESEARCH COMPLEX FOR STUDYING PROCESSES OF DIFFUSION IN METALS AND ALLOYS BY RADIOACTIVE METHOD

N. Azarenkov, V. Semenenko, N. Stervovedov, V. Podzolkova

There is a results of development hardware and software complex for research of diffusion in metals and alloys with use of radioactive isotopes are presented. The created complex may be used both in scientific, and in the methodical purposes.

ДОСЛІДНИЦЬКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ДИФУЗІЇ В МЕТАЛАХ ТА СПЛАВАХ РАДІОАКТИВНИМ МЕТОДОМ

М.О. Азаренков, В.Є. Семенов, М.Г. Стервоедов, В.В. Подзолкова

Представлені результати розробки апаратно-програмного комплексу для дослідження дифузії в металах та сплавах з використанням радіоактивних ізотопів. Створений комплекс може використовуватися як в наукових так і в учбово-методичних цілях.