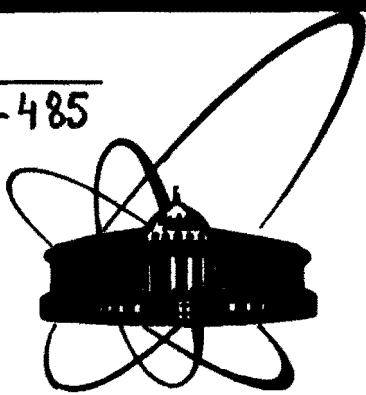


И-485



**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

14-86-820

Р.А.Ильхамов*, Ли Зен Хо, Г.М.Осетинский ,
М.Пайек, Р.Шандрик

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИННЫХ ПРОФИЛЕЙ
КОНЦЕНТРАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ
МЕТОДОМ ВОЗБУЖДЕНИЯ
ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ УСКОРЕННЫМИ ИОНАМИ**

* Научно-исследовательский институт прикладной физики ТашГУ

1. ВВЕДЕНИЕ

В последнее время широкое применение в науке и технике получают быстрые неразрушающие методы определения глубинных профилей концентрации элементов в различных материалах, основанные на использовании ядерно-физических методов анализа. Среди них можно отметить методы, основанные на измерении резерфордского обратного рассеяния /РОР/, ядерных реакций и характеристического рентгеновского излучения /ХРИ/. Последний, метод ХРИ, обладающий хорошим массовым разрешением и способностью анализировать большие глубины, применяется в тех случаях, когда использование традиционного метода РОР для извлечения концентрационных профилей не представляется возможным. Метод ХРИ нашел широкое практическое применение при исследовании коррозии, диффузии, распределения имплантированных атомов в полупроводниках и металлах при высоких энергиях имплантации и т.д. Разработке и применению метода посвящен ряд работ, которые можно классифицировать тремя группами:

- 1/ методы, основанные на изменении энергии пучка ^{1-7/};
- 2/ методы, основанные на изменении ориентации мишени к пучку и детектору ^{8-12/};
- 3/ метод, основанный на измерении отношения интенсивностей β - и α -излучений исследуемых элементов ^{13/}.

1/ Общая формулировка метода изменения энергии пучка была дана уже в работе ^{1/}, где учитывалось как торможение ионов в мишени, так и поглощение излучения. Но ввиду больших математических трудностей, присущих методу ХРИ в его общем виде, в работе ^{1/} подробно рассмотрен только частный случай, когда исследуемое распределение концентрации однородно до некоторого искомого значения глубины в образце. В работе приведены данные по определению толщин пленок Al_2O_3 и Ta_2O_5 , нанесенных на металлические подложки Al и Ta соответственно. Этим же методом в работах ^{2,3/} проводилось определение относительной концентрации, положения и толщины тонкого однородного слоя примеси Cu в многослойных мишенях Ag-Cu-Ag и Ge-Cu-Ge. Существенным вкладом в развитие метода изменения энергии явились работы ^{4,5/}, в основе которых лежит особый выбор энергий, при котором соответствующие пробеги в исследуемом образце различаются между собой на одну и ту же величину. В результате использования этого подхода было найдено распределение атомов цинка в образцах алюминия, подвергавшихся термическому отжигу. Работа в этом направлении нашла свое отражение также в работах ^{6,7/}.

2/ Изменение углов падения ионов на мишень было использовано в работе /8/ при исследовании окисных пленок на образцах арсенида галлия, подвергавшихся термическому отжигу. Свое дальнейшее развитие метод изменения угла нашел в работах /9,10/, в которых на основе моделирования кривых зависимости выхода ХРИ от угла наклона мишени были определены толщины цинк-силикатных пленок и распределение по глубине атомов мышьяка, имплантированных в кремний. Одним из вариантов решения проблемы извлечения профиля концентрации, в рамках метода изменения угла, явились и работы /11,12/, в которых осуществляется особый выбор оси вращения мишени, когда при любой ориентации мишени выполняется условие равенства наклона мишени к пучку и угла наклона мишени к детектору. Использование этого подхода позволило определить профиль концентрации атомов железа в слое никеля, нанесенном на подложку железа.

3/ И, наконец, в работе /13/ была исследована также возможность определения одновременно поверхностной и объемной концентрации элемента внутри образца посредством измерения отношения интенсивностей β - и α -излучений, обусловленная энергетической зависимостью массового коэффициента поглощения рентгеновского излучения.

Настоящая работа представляет собой дальнейшее исследование возможностей метода ХРИ в определении глубинных профилей концентрации в различных материалах. Используются как изменение энергии налетающих ионов водорода и гелия-4, так и изменение угла наклона мишени к пучку. Работа выполнена на электростатическом ускорителе ОИЯИ в интервале энергий 1,5-3,5 МэВ.

2. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Подробное описание методики измерений приведено в /14/. Укажем на основные особенности эксперимента. Ионный пучок от ускорителя коллимировался 4 диафрагмами, последние две - диаметром 1 мм, и попадал на мишень, установленную на многопозиционном держателе мишеней. Число частиц, падающих на мишень, определялось по измерению заряда, переносимого пучком на эту мишень. Конструкция предоставляет возможность наклонять плоскость мишени относительно направления пучка на 15°, 30°, 45° и 70°. Выход характеристического рентгеновского излучения измерялся Si(Li)-детектором, который располагался под углом 90° по отношению к направлению пучка. На пути от мишени к детектору рентгеновское излучение проходит окошко из металлизированного майлара толщиной 10 мкм, слой воздуха толщиной 5 мм и бериллиевое окошко детектора толщиной 25 мкм. Импульсы от детектора через предусилитель и усилитель направлялись на многоканальный анализатор импульсов. Усилитель обеспечивает стабильность нулевого уровня на выходе и индикацию импульсов самоналожений. Блок-схема регистрации ХРИ

имеет счетчик рабочего времени, который суммирует мертвое время детектирования в предусилителе, усилителе и многоканальном анализаторе импульсов и автоматически выдает рабочее время счета на световое табло этого прибора. Энергетическое разрешение спектрометра, измеренное на линии 6,4 кэВ ^{57}Co , составляет 220 эВ. Эффективность счета детектора определялась по измерению выхода рентгеновского излучения от ^{241}Am и измерению выхода ХРИ на мишенях, число атомов в которых определялось по одновременному измерению упругого рассеяния на пучке ионов ^4He . Упругое рассеяние ионов измерялось с помощью поверхностно-барьерного детектора, установленного под углом 135° по отношению к падающему пучку.

3. МЕТОД РАСЧЕТА

Определение профиля концентрации по глубине основывается на решении уравнения, связывающего выход ХРИ от исследуемого элемента с его концентрацией $C(x)$ в образце:

$$Y(E_0) = \epsilon \cdot Q \cdot \frac{L}{A} \int_0^{R \cos \theta} C(x) \sigma(E_0, x/\cos \theta) \exp(-\mu x/\cos \psi) dx, \quad /1/$$

где $Y(E_0)$ - измеряемый выход ХРИ при энергии пучка E_0 ; ϵ - эффективность регистрации рентгеновского излучения; Q - число частиц, падающих на мишень; L - число Авогадро; A - атомный вес исследуемого элемента; R - пробег ионов в мишени; θ и ψ - углы между нормалью к облучаемой поверхности и направлениями оси пучка и оси детектора соответственно; x - координата глубины по нормали к поверхности образца; $\sigma(E_0, x/\cos \theta)$ - сечение выхода ХРИ при возбуждении его ионами с энергией E , зависящей от энергии пучка E_0 и глубины в образце x ; μ - массовый коэффициент поглощения ХРИ.

Для нахождения концентрационного профиля $C(x)$ анализируемая глубина в образце разбивается на определенное число слоев N , где в каждом i -м слое концентрации C_i считаются постоянными и могут быть найдены с помощью измерения выхода ХРИ при разных энергиях E_1, E_2, \dots, E_N налетающих ионов. При этом получается система уравнений выходов ХРИ для заданных энергий пучка ионов. Решение такой системы уравнений относительно концентраций C_i во всех i -х слоях требует вычисления интегралов возбуждения ХРИ в предполагаемых слоях образца на основе табличных данных dE/dx /15/, сечений выхода ХРИ /16/ и массовых коэффициентов поглощения рентгеновского излучения.

В настоящей работе рассмотрена возможность определения концентрационного профиля на основе аппроксимации зависимости сечения выхода ХРИ $\sigma(x)$ от глубины в образце уравнением вида

$$\sigma(x) = \sigma(0) \exp(-\nu x/\cos \theta), \quad /2/$$

где параметр ν определяется полуэмпирическим соотношением вида /17/

$$\nu = 6,87 \left(1 - \frac{\sigma(E_1)}{\sigma(E_0)}\right) S(E_1) / E_0, \quad /3/$$

где $E_1 = 0,8 \times E_0$; $S(E_1)$ - значение тормозной способности в матрице мишени для энергии E_1 . Процедура расчетов выглядит следующим образом. При некоторой минимальной энергии E_1 ускоренные ионы проходят в образце расстояние, равное пробегу R_1 . Предположив постоянство концентрации на длине этого пробега, определим ее некоторое среднее значение $\langle C_1 \rangle$. Увеличение энергии ионов до некоторого значения E_2 приводит к увеличению пробега ионов в мишени (R_2), что, в свою очередь, при наличии профиля приведет к изменению рассчитываемого значения средней концентрации ($\langle C_2 \rangle$). Таким образом, можно получить ряд значений $\langle C_2 \rangle, \langle C_3 \rangle, \dots, \langle C_N \rangle$, уменьшение или увеличение которых в сравнении с $\langle C_1 \rangle$ будет говорить соответственно об уменьшении или возрастании концентрации с глубиной. Для количественной оценки профиля концентрации необходимо рассчитать значения концентрации в слоях $R_2 - R_1, R_3 - R_2, \dots, R_N - R_{N-1}$. Рассмотрим в общем случае две энергии E_{i-1}, E_i и соответствующие пробеги R_{i-1}, R_i . Для энергии E_{i-1} можно записать уравнение выхода ХРИ:

$$Y(E_{i-1}) = K \langle C_{i-1} \rangle \int_0^{R_{i-1}} \sigma(E(E_{i-1}), \frac{x}{\cos \theta}) e^{-\mu \frac{x}{\cos \psi}} dx, \quad /4/$$

где $K = \epsilon \cdot Q \cdot L / A$.

Аналогично для энергии E_i

$$Y(E_i) = K \langle C_i \rangle \int_0^{R_i} \sigma(E(E_i), \frac{x}{\cos \theta}) e^{-\mu \frac{x}{\cos \psi}} dx, \quad /5/$$

или, разбивая область интегрирования $(0, R_i)$ на интервалы $(0, R_{i-1})$ и (R_{i-1}, R_i) , запишем выражение /5/ в виде

$$Y(E_i) = K \langle C_{i-1} \rangle \int_0^{R_{i-1}} \sigma(E(E_i), \frac{x}{\cos \theta}) e^{-\mu \frac{x}{\cos \psi}} dx + K C_i \int_{R_{i-1}}^{R_i} \sigma(E(E_i), \frac{x}{\cos \theta}) e^{-\mu \frac{x}{\cos \psi}} dx. \quad /6/$$

Здесь C_i - искомая концентрация в слое (R_{i-1}, R_i) . Используя приближение /2/, получим для нее на основании уравнений /4-6/ выражение

$$C_i = \frac{\langle C_i \rangle (1 - \exp(-\beta(E_i) R_i)) - \langle C_{i-1} \rangle (1 - \exp(-\beta(E_i) R_{i-1}))}{\exp(-\beta(E_i) R_i) - \exp(-\beta(E_i) R_{i-1})}, \quad /7/$$

где

$$\beta(E_i) = (\mu / \cos \psi) + (\nu(E_i) / \cos \theta),$$

$$\nu(E_i) = \frac{6,87}{E} \left(1 - \frac{\sigma(E_{1,i})}{\sigma(E_i)}\right) S(E_{1,i}); \quad E_{1,i} = 0,8 \cdot E_i.$$

Соотношение /7/ позволяет вычислить все значения C_1, C_2, \dots, C_N , где значение C_1 отождествляется со средней концентрацией $\langle C_1 \rangle$, определяемой при минимальной энергии E_1 .

Заметим, что во всех приведенных выше соотношениях /4-7/ под пробегом понимается эффективный пробег ионов в мишени, представляющий собой ту часть полного пробега, которая определяет 99% выхода ХРИ. Эта величина определялась расчетным путем. Результаты расчета относительно выхода ХРИ никеля при протонном возбуждении с энергией 3 МэВ представлены на рис.1. На оси абсцисс рисунка нанесена глубина в образце /мкм/, на оси ординат - отношение выхода ХРИ с данной глубины к полному выходу со всего пробега. На этом же рисунке, в качестве примера, пунктирными линиями отмечены слои, находящиеся на расстоянии d_1, d_2, d_3 от поверхности мишени и которым соответствуют 90, 95, 99% полного выхода ХРИ соответственно. Как видно из рисунка, начиная с определенной глубины выход ХРИ остается практически постоянным. Величина

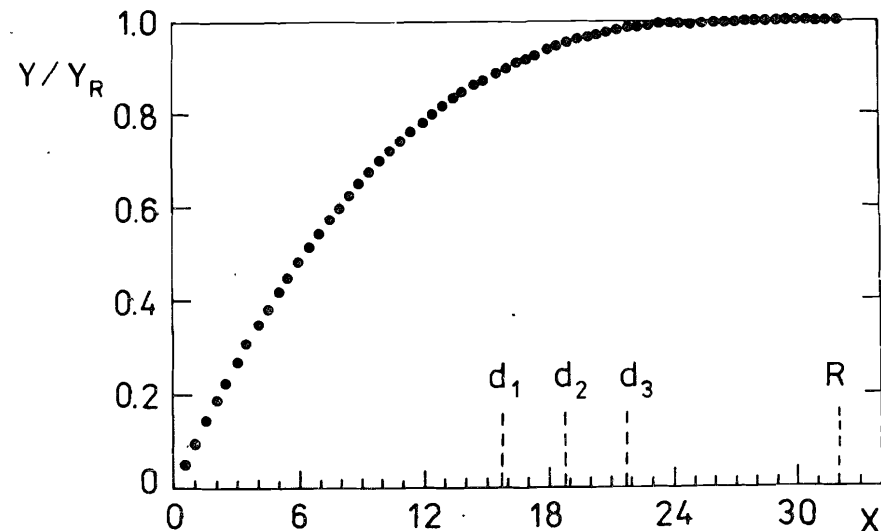


Рис.1. Зависимость относительного выхода ХРИ никеля при протонном возбуждении с энергией 3 МэВ. На оси абсцисс - глубина в образце /мкм/. На оси ординат - отношение интегрального выхода ХРИ с данной глубины к полному выходу со всего пробега.

d_3 , которой соответствует 99% выхода ХРИ, и взята нами в качестве эффективного пробега. Она составляет около 0,7 полного пробега.

Определение профиля концентрации описанным методом проводилось в образце Ni/Fe/Ni, который был приготовлен путем напыления слоев никеля толщиной 20 мкм на обе стороны фольги железа с последующим термическим отжигом. Для исследования концентрационного профиля атомов Fe, диффундировавших в Ni, использовались протоны с энергиями от 1,4 до 3,5 МэВ при угле падения их на мишень $\theta = 45^\circ$. Энергии протонов подбирались таким образом, чтобы соответствующие им пробеги в никеле различались на постоянную величину, и в частности на 2 мкм. Это соответствует толщине зондируемых слоев в 1,4 мкм. Результаты определения профиля концентрации Fe в образце Ni/Fe/Ni описанным методом показаны на рис.2. На оси абсцисс рисунка представлена глубина в образце, на оси ординат - концентрация железа. Этим же методом проведено определение профиля концентрации Cu в образце Al-Cu/Si, приготовленном напылением сплава Al/99% и Cu/2% в виде пленки толщиной 2 мкм на подложку кремния с последующим термическим отжигом. Измерения проводились на пучке ионов ^4He , ускоренных в интервале энергий от 1,4 до 2,4 МэВ, при углах падения ионов на мишень $\theta = 75^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 20^\circ$. Такое изменение энергий и углов обеспечило определение профиля распределения атомов меди в алюминии и кремнии в пределах от 1 до 6 мкм. Результаты расчетов представлены на рис.3, из которого видно, что данные, полученные путем измерения выхода ХРИ при разных углах падения ионов на мишень, хорошо связываются между собой.

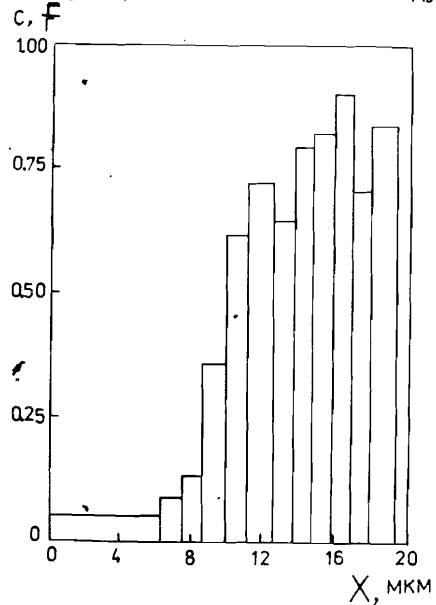


Рис.2. Профиль концентрации Fe в образце Ni/Fe/Ni, полученный с помощью изменения энергии протонов от 1,4 до 3,5 МэВ при угле $\theta = 45^\circ$. На оси абсцисс - глубина в образце. На оси ординат - концентрация железа.

Погрешность в определении концентрации описанным методом имеет три источника ошибок. Первый из них обусловлен погрешностями измерения интенсивности ХРИ, куда входят: ошибка в определении числа частиц, падающих на мишень; ошибка в определении площади пика на спектре; ошибка эффективности счета детектора.

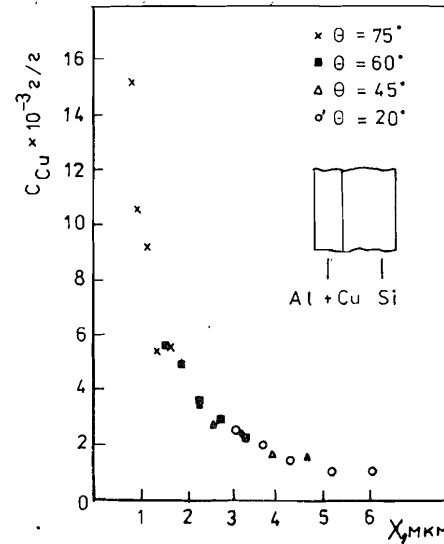


Рис.3. Профиль распределения атомов Cu в образце Al-Cu/Si, полученный с помощью изменения энергии ускоренных ионов ^4He от 1,4 до 2,4 МэВ при углах $\theta = 75^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 20^\circ$. На оси абсцисс - глубина в образце. На оси ординат - концентрация меди.

Эта ошибка составляет 5-7%. Вторая группа ошибок - это ошибки табличных данных, которые используются при расчетах ($dE/dx, \sigma(E), \mu$). Эта ошибка составляет ~15%. Третий источник ошибок обусловлен приближениями, используемыми в указанном методе. Величина этой ошибки сильно зависит от

того, насколько используемое приближение соответствует действительности.

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ПРАВИЛЬНОСТИ МЕТОДА

Правильность использованного нами метода определения концентрационного профиля проверялась на ряде образцов с однородным распределением концентрации по глубине. Для исследования использовались массивные однородные образцы Si, Ti, Fe, Ni, Cu и Cd. Измерения проводились в двух режимах. В первом из них измерения проводились при изменении энергии налетающих ионов водорода /от 1,5 до 3,0 МэВ/ при одном и том же угле наклона мишени к оси пучка. Во втором режиме измерения проводились при изменении угла наклона мишени к оси пучка /от 75° до 45° / при неизменной энергии пучка ионов. Результаты определения концентрации при разных энергиях протонов представлены в таблице, из которой видно, что в пределах ошибок измерений, для всего интервала глубин зондирования, рассчитываемая концентрация исследуемых элементов остается постоянной. Один из результатов определения концентрации /для никеля/ при разных энергиях пучка протонов и разных углах наклона мишени к пучку показан на рис.4.

В дополнение к проведенным измерениям на чистых металлах были исследованы образцы $\text{Fe}_{50}\text{Ni}_{30}\text{B}_{20}$, представляющие собой фольгу толщиной 20 мкм, в которых предполагалось равномерное распределение атомов Fe и Ni. Измерения проводились на пучках протонов с энергиями от 1,4 до 3,0 МэВ при двух углах $\theta = 75^\circ$ и $\theta = 45^\circ$. Данные, полученные на основании этих измерений, отражены на рис.5. На рисунке светлые кружки относятся к значениям концент-

Таблица

Результаты определения концентрации (г/г) некоторых чистых металлов при разных энергиях пучка протонов

Элементы	Энергия пучка протонов /МэВ/			
	1,5	2,0	2,5	3,0
Si	1,011	1,036	0,950	1,002
Ti	1,019	1,060	0,917	1,005
Fe	1,097	0,924	0,976	0,979
Cu	1,015	0,963	1,028	1,046
Cd	1,044	0,995	-	0,964

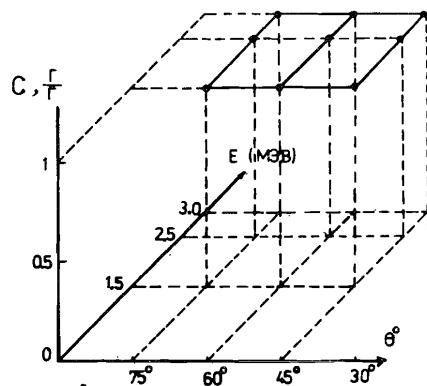


Рис.4. Зависимость рассчитываемой концентрации никеля в однородном образце чистого никеля от энергии пучка протонов /1,5 ± 3,0 МэВ/ и от угла их падения на мишень /75 ± 45°/.

рации Fe и Ni, полученные при облучении фольги с одной из ее сторон /А/, а темные - с другой /В/. Однородность указанных образцов проверялась путем последовательного химического стравливания слоев исследуемой фольги и измерения выхода ХРИ после

каждого этапа стравливания. Толщина каждого удаленного слоя составляла ~1 мкм. Измерения выхода ХРИ проводились на пучке ионов ^4He с энергией 1,5 МэВ при угле наклона мишени к оси пучка $\theta = 75^\circ$, что обеспечивало зондирование минимально возможной глубины. Стравливание и последующее измерение выхода ХРИ при ионном возбуждении проводилось с обеих сторон фольги /последовательно стравливалось по 12-15 слоев толщиной ~1 мкм с каждой стороны фольги/. Данные измерений показаны на рис.6, где темные и светлые квадраты относятся к концентрациям Fe, определенным с разных сторон фольги до глубины ~12 мкм, треугольники относятся соответственно к тем же величинам для никеля. Как видно из рисунка, концентрации железа и никеля в пределах ошибок по всей глубине до ~12 мкм остаются постоянными с обеих сторон фольги.

Представленные результаты измерений на чистых металлах и на образцах $\text{Fe}_{50}\text{Ni}_{30}\text{B}_{20}$ подтверждают правильность принятой методики определения глубинных профилей концентрации.

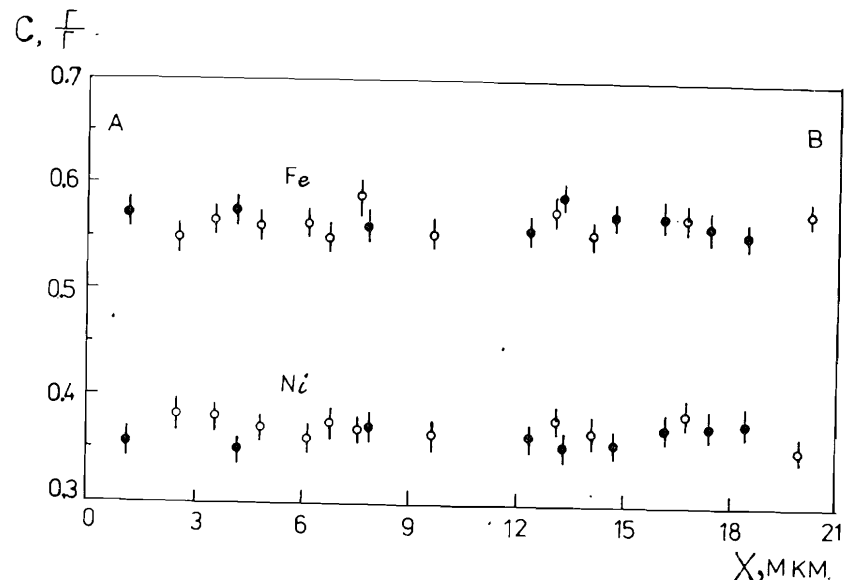


Рис.5. Распределение атомов Fe и Ni в образцах $\text{Fe}_{50}\text{Ni}_{30}\text{B}_{20}$, полученное методом измерения выхода ХРИ при изменении энергии протонов в диапазоне 1,4 ± 3,0 МэВ при углах $\theta = 75^\circ$ и $\theta = 45^\circ$.

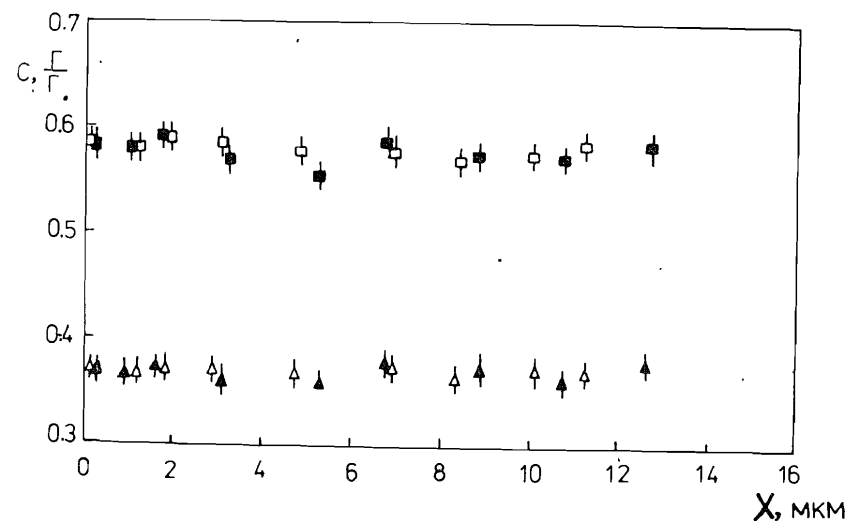


Рис.6. Распределение атомов Fe и Ni в образцах $\text{Fe}_{50}\text{Ni}_{30}\text{B}_{20}$, полученное методом последовательного травления и измерения выхода ХРИ на пучке ионов ^4He с энергией 1,5 МэВ и угле $\theta = 75^\circ$ после каждого этапа травления.

Авторы выражают благодарность группе эксплуатации электростатического генератора за хорошую бесперебойную работу ускорителя при проведении эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Reuther F.W., Smith H.P. - J.Appl.Phys., 1972, 43, p.4228.
2. Benka O., Geretschläger M., Paul H. - J.Appl.Phys., 1976, 47, p.5090.
3. Benka O., Geretschläger M., Paul H. - Nucl.Instr.and Meth., 1977, 142, p.83.
4. Vegh J. et al. - Nucl.Instr.and Meth., 1978, 153, p.553.
5. Vegh J. - АТОМКИ Bulletin, 1978, 20, p.229.
6. Brissand I., Froutier J.P., Regnier P. - Nucl.Instr.and Meth., 1985, B121, p.235.
7. Froutier J.P. et al. - Nucl.Instr.and Meth., 1986, B14, p.348.
8. Feldman L.G. et al. - Thin Solid Films, 1973, 19, p.81.
9. Pabst W. - Nucl.Instr.and Meth., 1974, 120, p.543.
10. Pabst W. - Nucl.Instr.and Meth., 1975, 124, p.143.
11. Блохин С.М., Власов А.А. - В кн: Тезисы XII Всесоюзного совещания по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами. М.: Изд-во МГУ, 1982, с.37.
12. Блохин С.М. и др. - В кн: Тезисы докладов XV Всесоюзного совещания по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами. М.: Изд-во МГУ, 1985, с.148.
13. Ahlberg M. - Nucl.Instr.and Meth., 1975, 131, p.381.
14. Бразевич Э. и др. - ОИЯИ, 18-81-503, Дубна, 1981.
15. Andersen H.H., Ziegler J.F. - Hydrogen Stopping Powers and Ranges in All Elements. vol.3; Ziegler J.F. - Helium Stopping Powers and Ranges in All Elements. Pergamon, New York, 1977, vol.4.
16. Бразевич Э. и др. - ОИЯИ, 61-18-81-320, Дубна, 1981.
17. Алтынов В.А. и др. - Заводская лаборатория, 1984, с.18.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 декабря 1986 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике глжельных ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.
D13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
D2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
D1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
D17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/	7 р. 75 к.
D10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983	3 р. 50 к.
	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984 /2 тома/	13 р.50 к.
D4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра, Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
D11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р.
D13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна 1985.	4 р. 80 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Ильхамов Р.А. и др.

14-86-820

Определение глубинных профилей концентрации элементов методом возбуждения характеристического рентгеновского излучения ускоренными ионами

Приводится описание неразрушающего метода определения глубинных концентрационных профилей при детектировании характеристического рентгеновского излучения, возбуждаемого пучками ионов водорода и гелия-4 с энергиями 1,0-3,5 МэВ от электростатического ускорителя ОИЯИ. Экспериментальная проверка предлагаемого метода проведена по измерению ХРИ на однородных образцах чистых металлов и на образцах $Fe_{50}Ni_{30}B_{20}$. Однородность последних проверялась методом последовательного травления и измерения выхода ХРИ на пучке ионов 4He с энергией 1,5 МэВ при скользящем угле падения ионов на мишень после каждого этапа травления. Представлены результаты анализа образцов как с нарастающим, так и со спадающим с глубиной концентрационными профилями исследуемых элементов.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.
Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Ilkhamov R.A. et al.

14-86-820

Depth Concentration Profile Determination by PIXE Method

The non-destructive method for the depth concentration profile determination by means of particle induced X-ray emission is presented. For this purpose $^1H^+$ or $^4He^+$ particles with energy from 1.0 to 3.5 MeV of the Van de Graaff accelerator of JINR have been used. The proposed method has been experimentally tested both on pure elements and on a $Fe_{50}Ni_{30}B_{20}$ homogeneous sample. The results of the last one are in good agreement with the results of destructive analysis performed on the etching samples. Application of the method for the samples both with increasing and decreasing concentration profiles are also presented.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986