

может быть усилен, если поглощение солнечного излучения на этих частицах аэрозоля происходит в облачных каплях: в результате увеличения температуры снижается относительная влажность, что может привести к испарению капель в облаках [2].

В этой статье произведены расчеты температуры подстилающей поверхности в зависимости от радиуса и концентраций аэрозолей. Для этого использовалась простейшая численная модель влияния аэрозоля на поток солнечного излучения, достигающего земной поверхности. В модели используется предположения о нулевом радиационном балансе на земной поверхности. Излучательная способность земной поверхности предполагается равной 0.95, слой монодисперсного аэрозоля толщиной 1000 м с радиусом  $r$  от  $10^{-6}$  до  $10^{-7}$  м, концентрацией  $N$  от 108 до  $109 \text{ м}^{-3}$ .

При отсутствии аэрозоля коэффициент прозрачности атмосферы составляет ~27%, с повышением содержания аэрозоля это значение понижается, что приводит к понижению потока солнечного излучения у земной поверхности, и, как следствие, приземной температуры. Так, например, при  $N = 109 \text{ м}^{-3}$  и при  $r = 0,1$  мкм коэффициент пропускания составляет 25%, а при размере частиц 1 мкм коэффициент уменьшается до 0.1%.

Расчеты показывают, что при  $r = 0,1$  мкм и  $N = 108 \text{ м}^{-3}$  температура понижается на ~0,6 К, а при увеличении концентрации до  $N = 109 \text{ м}^{-3}$  понижение составляет 5,9 К. Видно, что увеличение концентрации  $N$  в 10 раз ведет к пропорциональному понижению температуры. Результаты моделирования показали, что появление аэрозоля с радиусом 0,01; 0,1; 1 мкм приводит к уменьшению температуры на 0,005; 0,6; 43,5 К, соответственно. При увеличении радиуса в 10 раз, понижение температуры увеличивается почти в 100 раз! Эта зависимость практически линейна для аэрозолей радиусом более 0,6 мкм. Таким образом, наибольший радиационный эффект оказывают аэрозоли крупной фракции. Однако, такие частицы аэрозоля быстро исчезают из атмосферы в результате «сухого» и «влажного» механизмов осаждения и, таким образом, в атмосфере присутствует, в основном, субмикронная фракция.

Результаты исследования показывают, что изменение температуры подстилающей поверхности может произойти при усилении циркуляции атмосферы (скорости ветра), поскольку это сопровождается возрастанием ветровой эрозии, что ведет к увеличению концентраций аэрозолей и, соответственно, к уменьшению температуры воздуха. Подобное глобальное понижение температуры может привести к увеличению площади ледяного покрова в полярных областях и охлаждению воздуха близлежащих районов. Изменение климата может поменять условия жизни людей, например, изменить условия сельскохозяйственной деятельности, работу жилищно-коммунальных и городских служб.

Дальнейшее направление исследований может быть связано с разработкой технологии управления содержанием аэрозолей в атмосфере для предотвращения возможного ухудшения климата.

#### Список литературы

1. Lee S.S., Penner J.E. Aerosol effects on ice clouds: can the traditional concept of aerosol indirect effects be applied to aerosol-cloud interactions in cirrus clouds? // Atmos. Chem. Phys. – 2010. – Vol. 10. – P. 10345–10358.
2. Lohmann U., Feichter J. Global indirect aerosol effects: a review // Atmos. Chem. Phys. – 2004. – Vol. 5. – P. 715–737.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ В ПОЛИКРИСТАЛЛАХ С СУБМИКРОННЫМ РАЗМЕРОМ ЗЕРНА

<sup>1</sup>Алексеев В.И., <sup>2</sup>Иррибарра Э.Ф., <sup>2</sup>Кишин И.А.,  
<sup>1,2</sup>Кубанкин А.С., <sup>1,2</sup>Нажмудинов Р.М., <sup>2</sup>Насонов Н.Н.,  
<sup>1</sup>Полянский В.В., <sup>1</sup>Сергиенко В.И.

<sup>1</sup>Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва;  
<sup>2</sup>Лаборатория радиационной физики НИУ БелГУ, Белгород,  
e-mail: ivan.kishin@mail.ru

Измерен спектр поляризованного тормозного излучения в геометрии обратного рассеяния при взаимодействии 7 МэВ электронов с поликристаллической фольгой никеля. Результаты измерения позволяют рассчитывать на эффективность использования поляризованного тормозного излучения релятивистских электронов в качестве нового метода диагностики атомной структуры поликристаллов, имеющих субмикронные размеры зёрен.

Поляризованное тормозное излучение (ПТИ) релятивистских электронов [1–4] может использоваться для структурной диагностики поликристаллических сред на основе энергодисперсионной методики [5–9]. К потенциальным преимуществам обсуждаемого подхода относятся точное знание спектра псевдофотонов кулоновского поля быстрых электронов (псевдофотоны выступают в качестве первичного зондирующего излучения), что необходимо в рамках энергодисперсионной методики, а также возможность достижения высокого пространственного разрешения измерений за счет относительно простой магнитной фокусировки пучка электронов на мишень [6]. В работе [10] показана возможность существенного повышения энергетического разрешения измерений в схеме регистрации пиков ПТИ в направлении, противоположном скорости излучающих электронов, а в работе [9] данный эффект был впервые надёжно зафиксирован для текстурированного поликристалла меди.

В выполненных ранее экспериментальных исследованиях в качестве мишени использовались поликристаллы, размер зерна которых был порядка микрона. При рассмотрении ПТИ в качестве нового метода исследования атомной структуры вещества актуальным вопросом, требующим исследования, является возможность эффективного применения развиваемого метода для исследования наноструктурированных сред.

В настоящей работе выполнено измерение когерентных пиков ПТИ назад электронов с энергией 7 МэВ из безтекстурного поликристалла никеля, со средним размером зерна 300 нм. Полученные результаты свидетельствуют о возможности применения развиваемого метода для исследования мелкозернистых поликристаллических сред, в том числе наноструктурированных.

**Экспериментальная установка.** Экспериментальное исследование ПТИ назад было выполнено на модернизированной установке [9] отдела физики высоких энергий ФИАН. Установка схематически представлена на рис. 1. Было установлено два дополнительных коллиматора 8 в канал спектроскопии и изготовлен свободный от фона характеристического рентгеновского излучения держатель мишени 7. Система формирования электронного пучка, состоящая из двух пар магнитных квадрупольных линз 5 и корректора 6, позволяла сфокусировать электронный пучок в месте расположения мишени до поперечного размера около 3 мм и расходимостью не

более 5 мрад. Данные величины удовлетворяли условиям измерения ПТИ назад, ограничивающим ве-

личину размера поперечного сечения электронного пучка и его расходимость [9, 10].

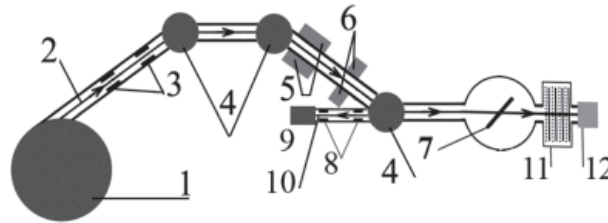


Рис. 1. Экспериментальная установка

Поперечный размер, положение в вакуумном канале и ток электронного пучка контролировались пропорциональной камерой 11 и цилиндром Фарадея 12. Установленная система коллимирования регистрируемого сигнала ПТИ позволила регистрировать сигнал только с области взаимодействия электронного пучка с мишенью и частично с поверхности держателя мишени. Коллиматоры системы были изготовлены из оргстекла, размер апертуры 2 мм (ближний к детектору) и 4 мм. Данная особенность позволила исключить из измеряемого сигнала фон, образующийся при взаимодействии рассеянных электронов и рентгеновского излучения с деталями установки. Сигнал ПТИ 10 регистрировался энергодисперсионным кремниевым дрейфовым детектором 9, имеющим энергетическое разрешение 130 эВ и эффективную площадь окна 7 мм<sup>2</sup>. Установка ближнего к мишени поворотного магнита 4 позволила создать геометрию эксперимента с минимальным фоном в месте расположения детектора, генерирующимся 7 МэВ микротроном 1 и рассеянным электронным пучком 2 на коллиматорах 3. Также, данный поворотный магнит позволил сфокусировать электронный пучок в горизонтальной плоскости в месте расположения мишени 7, установленной в вакуумной камере.

Для проведения экспериментальных исследований была изготовлена поликристаллическая 40 мкм фольга никеля со средним размером зерна около 300 нм. Толщина мишени выбиралась из условия поглощения фонового излучения в спектральной области измерений, образующегося при взаимодействии пучка электронов с пропорциональной камерой, и влияющего на форму регистрируемого спектра. Также, для уменьшения фона, крепление мишени было изготовлено из оргстекла, свободного от характеристического тормозного излучения в спектральной области измерения сигнала ПТИ назад. Мишень была дополнительно исследована на наличие текстуры методами рентгеноструктурного анализа.

Детектор был защищён от внешнего радиационного фона установки свинцовой защитой. Для уменьшения влияния электромагнитных наводок на спектроскопическую электронику время сбора данных детектором было синхронизировано с временными интервалами сброса электронного пучка микротроном.

**Измерения.** Созданная установка была разработана для проведения измерений в условиях наименьшего проявления фона, генерируемого электронами и рентгеновским излучением. Данная необходимость обусловлена возможным проявлением фона в спектре измеряемого сигнала в виде пиков, накладывающихся на исследуемые пики ПТИ назад. Для поликристаллического никеля расчётное положение спектральных пиков ПТИ назад соответствует следующим значениям: 3,05 КэВ (111), 3,52 КэВ (200), 4,97 КэВ (220),

5,83 КэВ (311), 6,09 КэВ (222) и 7,03 КэВ (400). Наряду с измеряемыми пиками ПТИ в регистрируемом сигнале присутствует вклад характеристического излучения никеля, положение линий  $K_{\alpha}$  и  $K_{\beta}$  которого соответствует энергиям 7,48 КэВ и 8,26 КэВ соответственно. Наличие пиков характеристического излучения препятствует измерению пиков ПТИ вблизи данных энергий в пределах энергетического разрешения детектора. Измерения, выполненные в [7-9], показали существенный вклад пика вылета в измеряемый спектр сигнала ПТИ. Пик вылета проявляется в виде фантомного пика, присутствующего в измеряемом спектре и образующегося вследствие неупругого рассеяния регистрируемых фотонов на кремниевом кристалле детектора. Расчётное положение пиков вылета, возникающих при неупругом рассеянии характеристических линий  $K_{\alpha}$  и  $K_{\beta}$  никеля, соответствует энергии 5,74 и 6,52 КэВ. Таким образом, беспрепятственно зафиксировать было возможно только пики ПТИ от плоскостей (111), (200) и (220), область проявления остальных пиков будет перекрываться с пиками характеристического излучения и пиками вылета.

Результат измерений ПТИ назад из поликристалла Ni представлен на рис. 2. Спектр обрезан в более жесткой области в начале проявления пика характеристического излучения линии  $K_{\alpha}$  никеля, амплитуда которого превосходит амплитуду сигнала ПТИ на два порядка.

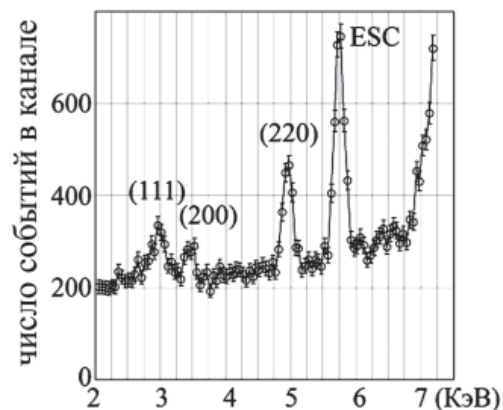


Рис. 2. Спектр ПТИ назад из поликристалла никеля, средний размер зерна 300 нм

На представленном спектре явно видно проявление пиков ПТИ от плоскостей (111), (200) и (220). Наличие остальных расчётных пиков спорно. Пик ПТИ от плоскости (400) может быть выделен путём фитирования характеристического пика  $K_{\alpha}$  с последующим вычетом результата фитирования из измеренного спектра. Из представленного рисунка видно,

что спектральная ширина измеренных когерентных пиков с точностью до ошибки измерений совпадает с энергетическим разрешением используемого детектора. Данное обстоятельство означает, что естественная ширина спектральных пиков ПТИ существенно меньше величины энергетического разрешения, что подтверждает результаты развитой теории и подтверждает перспективность использования ПТИ для исследования структуры поликристаллов. Сравнение выхода рефлексов ПТИ поликристаллов с микронными и субмикронными размерами зёрен может быть выполнено на основе сравнения амплитуды пика с пиком характеристического излучения. Сравнение амплитуд рефлекса (220) показало уменьшение выхода примерно в два раза для поликристалла со средним размером зерна 300 нм по отношению к поликристаллу с микронными размерами зёрен.

**Заключение.** Измерение спектра ПТИ назад из безтекстурной поликристаллической фольги Ni показало наличие когерентных пиков, положение которых хорошо согласуется с расчётными данными. Средний размер зерна изготовленной фольги составлял 300 нм. Надёжно зафиксированы рефлексы от кристаллографических плоскостей (111), (200) и (220). Рефлексы от остальных плоскостей сложно идентифицировать из-за наличия фона, имеющего форму близкую к форме исследуемых пиков ПТИ. Полученный результат демонстрирует перспективность развиваемого нового метода исследования атомной структуры поликристаллических сред в наномасштабной области размера зёрен, основанного на измерении спектра ПТИ в геометрии обратного рассеяния.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 12-02-31389-мол\_а.*

#### Список литературы

1. Амусья М.Я., Буймистров В.М., Зон Б.А., В.Н. Цытович и др., Поляризованное тормозное излучение частиц и атомов. – М.: Наука, 1987.
2. Король А.В., Лялин А.Г., Соловьев А.В. Поляризованное тормозное излучение. – СПб.: Изд. СПбГПУ, 2004.
3. Гришин В.К., Никитин Д.П. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2011. – № 4. – С. 90–93.
4. Гостищев Н.А., Насонов Н.Н., Жукова П.Н. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2008. – № 4. – С. 91–95.
5. Nasonov N. // Nucl. Instr. Meth. B. – 1998. – Vol. 145. – P. 19–24.
6. Жукова П.Н., Кубанкин А.С., Насонов Н.Н., Сергиенко В.И. // Заводская лаборатория, 2008. – № 10. – С. 32–38.
7. Астапенко В.А., Кубанкин А.С., Насонов Н.Н., Полянский В.В., Похил Г.П., Сергиенко В.И., Хабло В.А. // Письма в ЖЭТФ. – 2006. – Т. 84. – Вып. 6 – С. 341–344.
8. Гостищев Н.А., Кубанкин А.С., Насонов Н.Н., Полянский В.В., Сергиенко В.И., Хабло В.А. // Письма в ЖТФ. – 2008. – Т.34. – Вып. 17. – С. 98.
9. Алексеев В.И., Вохмянина К.А., Елисеев А.Н., Жукова П.Н., Кубанкин А.С., Нажмуудинов Р.М., Насонов Н.Н., Полянский В.В., Сергиенко В.И. // Письма в ЖТФ. – 2012. – Т. 38. – Вып. 6. – С. 83–89.
10. Astapenko V., Nasonov N., Zhukova P. // Journal of Physics B: Atomic, Molecular & Optical Physics. – 2007. – Vol. 40. – P. 1–10.

#### О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ РАЗНОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ, ПРИВОДЯЩЕМ К КОНТАКТНОМУ ПЛАВЛЕНИЮ

Ахкубекова С.Н., Найда А.А.

*Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова, Нальчик,  
e-mail: aminka07-07@mail.ru*

Контактным плавлением (КП) называется образование жидкости в контакте двух и более веществ при температуре, меньшей, чем температура плавления

наиболее легкоплавкого из них [1]. Температура, при которой начинается плавление образцов, получила название температуры контактного плавления ( $T_{\text{КП}}$ ). Она определяется только природой контактируемых веществ. КП возможно только в системах эвтектического типа (ЭТ), т.е. с точкой минимума на диаграмме состояния (ДС). Таким образом, КП и диаграмма состояния эвтектического типа тесно взаимосвязаны. Это означает, что КП может использоваться как метод получения сплавов эвтектического состава (ЭС).

Раскрытие начальной стадии КП в определенной степени способствует пониманию природы легкоплавкости эвтектик, т.к. любая жидкая зона, полученная между компонентами *A* и *B* при температуре  $T_{\text{опыта}} \geq T_{\text{эвт}}$ , как обязательное, содержит сплав эвтектического состава.

К настоящему времени, пока ещё нет однозначного ответа ни на природу и механизм КП, ни на легкоплавкость эвтектик. Поэтому новая идея, способствующая решению этой проблемы, представляющая большой научный интерес у исследователей этого направления.

Точка зрения на состав и структуру эвтектических сплавов менялась по мере исследования данного вопроса. В работах Д.И. Менделеева, А.И. Горбова, Н.В. Гевелинга и других она сводилась к тому, что эвтектика есть химическое соединение [2].

Однако, в 1912 г. Н.А. Пушкин и И.В. Гребенчиков показали, что «повышение давления изменяет положение эвтектической точки в системе из двух органических веществ». Именно это послужило причиной отказа от представления об эвтектике, как о химическом соединении [2].

Многочисленные рентгенофазовые и рентгеноструктурные исследования [3], проведенные в различных эвтектических сплавах согласуются с последним утверждением.

Позже появилась точка зрения об эвтектике как о механической смеси простых фаз, состав которых соответствует предельной растворимости компонента *A* в *B* ( $\alpha$ -фаза) и *B* в *A* ( $\beta$ -фаза). Вопрос об их образовании из жидкости или твердой фазы остаётся открытым.

Дальнейшее развитие это направление нашло в теоретических работах Ю.М. Гуфана, А.А. Ахкубекова и А.Ю. Гуфана [4]. Суть работы сводится к тому, что жидкая фаза вблизи  $T_{\text{эвт}}$ , каким бы образом она не была получена, находится в гетерогенном состоянии и является равновесным. Отмечается, «... что пространственно неоднородное состояние может быть равновесным и даже «основным», т.е. самым стабильным при данных условиях, это широко известный из физико-химического анализа факт».

Выше отмечали, что в контакте разнородных кристаллов, при  $T_{\text{эвт}}$  естественным образом, возникает жидкость ЭС, т.е. методом КП можно получать сплавы ЭС.

Теперь, кратко о КП. Существует следующие взгляды на природу КП: диффузионный [5], адсорбционно-полевой [6] и нуклеационный [7] и др. Во всех названных подходах не просматриваются ответы на вопросы: о причине возникновения очагов жидкой фазы, о скоротечность её возникновения, о её легкоплавкости.

Данное сообщение, являясь продолжением работы [8], ставит своей целью обсудить возможный вариант ответа на сформулированную выше проблему при  $T_{\text{опыта}} \geq T_{\text{эвт}}$ .