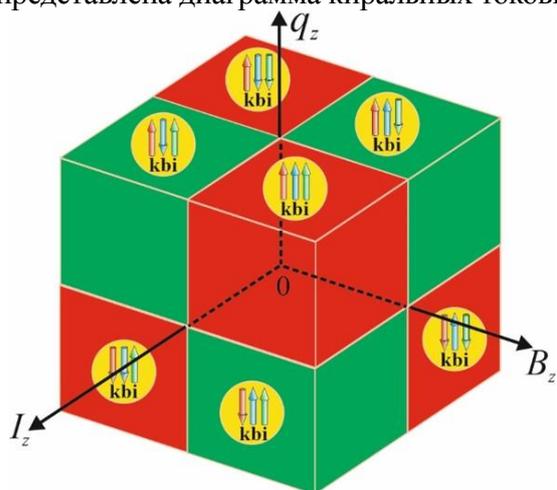


Электрический магнитокиральный эффект и кинетический магнитоэлектрический эффект, индуцированные киральным обменным полем в геликоидальных магнетиках

В.В. Устинов, И.А. Ясюлевич, М.А. Миляев, Л.И. Наумова, Р.С. Заворницын

Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН

Построена квантовая теория электронного спинового транспорта в проводящих магнетиках, описывающая целый круг новых гальваномагнитных явлений, обусловленных действием на спин электронов проводимости сил, создаваемых пространственно-неоднородными внешними магнитными полями и/или внутренними полями квантового обменного происхождения. Предсказано существование и дано описание двух новых спин-транспортных эффектов в проводящих киральных гелимагнетиках, которые получили названия «электрический магнитокиральный эффект Штерна-Герлаха» и «кинетический магнитоэлектрический эффект Штерна-Герлаха». Определены условия экспериментального наблюдения явления резонансного усиления новых эффектов до гигантских величин, получившего название «магнитокиральный кинетический резонанс». Синтезированы новые магнитные наногетероструктуры типа «киральный спиновый клапан» на основе гелимагнетиков Ho и Dy, экспериментально показана возможность эффективного управления их магнитотранспортными характеристиками путем вращения магнитной спирали конечного размера в киральном слое, имеющей нескомпенсированный магнитный момент, под действием внешнего магнитного поля. На рисунке представлена диаграмма киральных токовых состояний



гелимагнетика в магнитном поле в переменных «волновое число геликоиды (q_z) – электрический ток (I_z) – магнитное поле (B_z)». Цветные стрелки указывают направления единичных векторов киральности k , внешнего магнитного поля b и потока электронов i , присущие соответствующей области. В областях, обозначенных красным цветом, возможно появление гигантских значений электрического магнитокирального эффекта и кинетического магнитоэлектрического эффекта. При переходе из состояний области одного цвета в состояния области другого цвета будут проявляться эффекты невязности в спиновом и зарядовом транспорте.

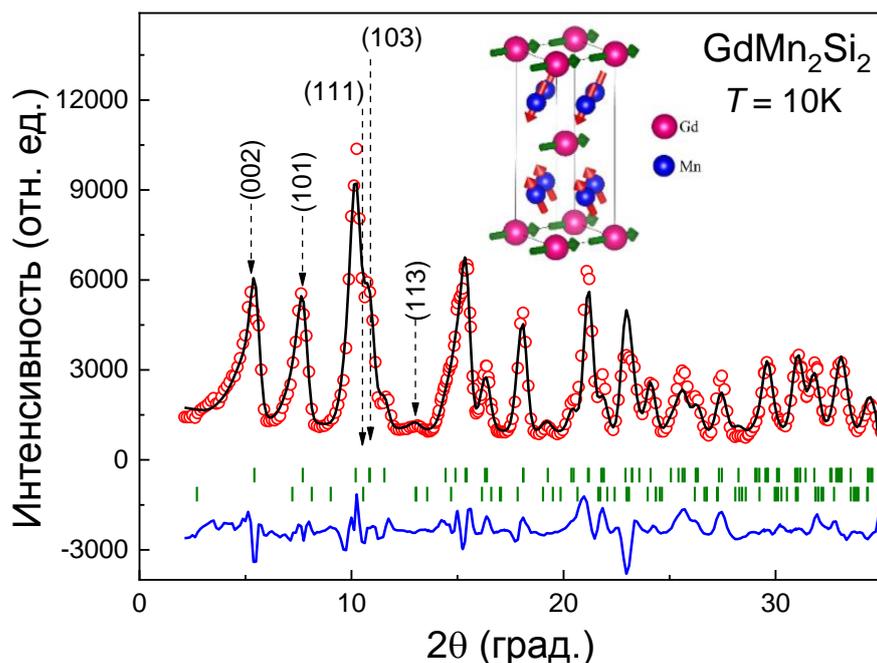
1. [Electrical magnetochiral effect and kinetic magnetoelectric effect induced by chiral exchange field in helical magnetics](#) [Текст] / V. V. Ustinov, I. A. Yasyulevich // *Physical Review B*. — 2020. — V. 102. — P. 134431—134441.
2. [Electron Spin Current and Spin-Dependent Galvanomagnetic Phenomena in Metals](#) [Текст] / V. V. Ustinov, I. A. Yasyulevich // *Physics of Metals and Metallography*. — 2020. — V. 121. — P. 223—234.
3. [Mobility of magnetic helicoid in holmium nano-layer](#) [Текст] / R.S.Zavornitsyn, L.I.Naumova, M.A.Milyaev, M.V.Makarova², V.V.Proglyado¹, I.K.Maksimova¹, V.V.Ustinov¹ // *Current Applied Physics*. — 2020. — V. 20. — P. 1328—1334.
4. [Noncollinear Magnetic Order in a Dysprosium Layer and Magnetotransport Properties of a Spin Valve Containing the CoFe/Dy/CoFe Structure](#) [Текст] / R. S. Zavornitsyn¹, L. I. Naumova¹, M. A. Milyaev¹, M. V. Makarova², T. P. Krinitsina¹, V. V. Proglyado¹, V. V. Ustinov¹ // *Physics of Metals and Metallography*. — 2020. — V. 121. — P. 624—630.

Анизотропия типа «легкая плоскость» в слоистом соединении $GdMn_2Si_2$ с магнито-кристаллической анизотропией типа «легкая ось»

П.Б. Терентьев^{1,2}, Е.Г. Герасимов^{1,2}, Н.В. Мушников^{1,2}, А.Ф. Губкин^{1,2},
Н.Е. Fischer³, Д.И. Горбунов⁴, В.С. Гавико^{1,2}

¹ Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, ²Уральский федеральный университет, ³Институт Лауэ-Ланжевена, Гренобль, Франция, ⁴Центр Гельмгольца Дрезден-Россендорф, Дрезден, Германия

Исследованы магнитные свойства монокристалла $GdMn_2Si_2$ в сильных магнитных полях. Определена температурная эволюция магнитной структуры $GdMn_2Si_2$ при помощи порошковой нейтронографии на уникальном дифрактометре D4, предназначенном для исследования материалов с высоким сечением захвата нейтронов. Полученные результаты непосредственно свидетельствуют о формировании в $GdMn_2Si_2$ необычной неколлинеарной магнитной структуры с анизотропией типа «легкая плоскость» при температуре ниже температуры магнитного упорядочения подрешетки Gd $T_{Gd} < 52$ К. Выше T_{Gd} наблюдается одноосная магнитная анизотропия антиферромагнитно упорядоченной подрешетки Mn. Произведено моделирование процессов намагничивания с помощью модели Яффета-Киттеля, которое позволило спрогнозировать индуцированные магнитным полем магнитные фазовые переходы при намагничивании вплоть до насыщения. Необычное магнитное упорядочение в $GdMn_2Si_2$ связано с возникновением фрустрированного магнитного состояния слоев атомов Gd, находящихся между двумя антиферромагнитно связанными слоями Mn.



На рисунке представлены: нейтронограмма (символы), Ритвельдовский анализ (линии) соединения $GdMn_2Si_2$ при 10 К и схематическое изображение магнитной структуры.

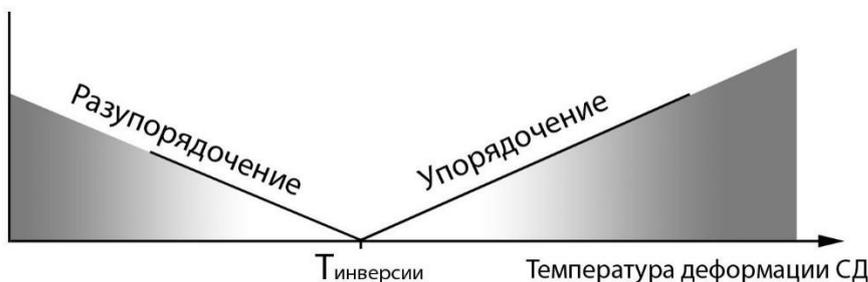
1. [Exchange-induced spin reorientation in \$La_{1-x}Gd_xMn_2Si_2\$](#) / E.G. Gerasimov, P.B. Terentev, N.V. Mushnikov, V.S. Gaviko // Journal of Alloys and Compounds. — 2018. — V. 769. — P. 1096—1101.
2. [Easy-plane magnetic anisotropy in layered \$GdMn_2Si_2\$ compound with easy-axis magnetocrystalline anisotropy](#) / E.G. Gerasimov, P.B. Terentev, A.F. Gubkin, N.E. Fischer, D.I. Gorbunov, N.V. Mushnikov // Journal of Alloys and Compounds. — 2020. — V. 818. — P. 152902—152907.

Ускоренное атомное перераспределение и инверсия направления структурно-фазовых переходов в сплавах железа при большой пластической деформации

В.А. Шабашов, К.А. Козлов, В.В. Сагарадзе, А.Е. Заматовский, Н.В. Катаева, Т.П. Толмачев, А.Л. Николаев, Ю.М. Устюгов

Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН

В сплавах железа впервые обнаружено деформационно-индуцированное ускоренное диффузионное превращение, приводящее к инверсии атомного перераспределения в узкой области температур деформации $T < 0.3T_{пл}$. Эффект проявляется: в изменении знака ближнего упорядочения в бинарных сплавах Fe-Cr, Fe-Mn и Fe-Ni; смене деформационного растворения карбидов, нитридов и интерметаллидов в матрицах сплавов Fe-Ni-C, Fe-Cr-Mn-N и Fe-Ni-Al (Ti, Zr, Si) на ускоренное образование дисперсных вторичных фаз внедрения и интерметаллидов при увеличении температуры деформации. Сопоставлением результатов атомного перераспределения при деформации и облучении установлено, что направление и кинетика упорядочения определяется конкуренцией дислокационного (при деформации) и в каскадах атомных смещений (при облучении нейтронами) разрушения порядка и упорядочения, ускоренного подвижными точечными дефектами – вакансионными комплексами.



Инверсия атомного перераспределения в зависимости от температуры деформации

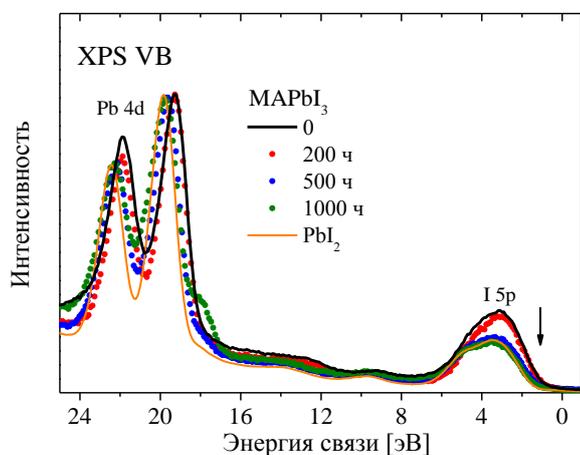
1. Mössbauer analysis of deformation-induced acceleration of short-range concentration separation in Fe-Cr alloys — effect of the substitution impurity: Sb and Au [Текст] / Valery Shabashov, Kirill Kozlov, Yurii Ustyugov, Andrey Zamatovskii, Timofey Tolmachev, Evgenii Novikov // Metals. — 2020. — V. 10. — P. 725—736.
2. Inversion of the Sign of the Short-Range Order as a Function of the Composition of Fe-Cr Alloys at Warm Severe Plastic Deformation and Electron Irradiation [Текст] / Kirill Kozlov, Valery Shabashov, Andrey Zamatovskii, Evgenii Novikov, Yurii Ustyugov // Metals. — 2020. — V. 10. — P. 659—671.
3. The short-range clustering in Fe-Cr alloys enhanced by severe plastic deformation and electron irradiation [Текст] / V.A. Shabashov, K.A. Kozlov, A.L. Nikolaev, A.E. Zamatovskii, V.V. Sagaradze, E.G. Novikov, K.A. Lyashkov // Philosophical Magazine. — 2020. — V. 100. — P. 1—17.
4. Short-Range Atomic Ordering Accelerated by Severe Plastic Deformation in FCC Invar Fe-Ni Alloys [Текст] / V. A. Shabashov, K. A. Kozlov, A. E. Zamatovskii, K. A. Lyashkov, V. V. Sagaradze, S. E. Danilov // Physics of Metals and Metallography. — 2019. — V. 120. — P. 686—693.
5. Atomic Ordering in a Low-Concentrated Fe-Cr Alloy upon Severe Plastic Deformation [Текст] / K.A. Kozlov, V.A. Shabashov, A.E. Zamatovskii, V.V. Sagaradze, K.A. Lyashkov // Physics of Metals and Metallography. — 2018. — V. 119. — P. 1093—1100.
6. Atomic order and submicrostructure in iron alloys at megaplastic deformation [Текст] / V.A. Shabashov, V.V. Sagaradze, K.A. Kozlov, Yu.M. Ustyugov // Metals. — 2018. — V. 8. — P. 995—1017.
7. Structure Modification of High-Nitrogen and High-Carbon Austenitic Steels by Megadeformation [Текст] / V.A. Shabashov, V.V. Sagaradze, A.V. Makarov // Physics of Metals and Metallography. — 2018. — V. 119. — P. 1087—1092.
8. Low Temperature Diffusion Transformations in Fe-Ni-Ti Alloys During Deformation and Irradiation [Текст] / Victor Sagaradze, Valery Shabashov, Natalya Kataeva, Kirill Kozlov, Vadim Arbutov, Sergey Danilov, Yury Ustyugov // Metals and Materials International. — 2018. — V. 24. — P. 249—254.

Определение фотохимической устойчивости гибридных перовскитных солнечных элементов по рентгеновским фотоэлектронным спектрам

Э.З. Курмаев¹, И.С. Жидков^{1,2}, Л.Д. Финкельштейн¹, А.И. Потеряев¹, А.Ф. Акбулатов³, П.А. Трошин³

¹ Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, ²Уральский федеральный университет, ³Институт проблем химической физики РАН

Развит метод рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (XPS) для определения устойчивости гибридных перовскитов типа $APbI_3$ ($A = MA$ -methylammonium (CH_3NH_3), FA -formamidinium ($CH(NH_2)_2$) и Cs) к облучению видимым светом. Установлено, что измерения тонкой структуры, энергетического положения и относительной интенсивности XPS спектров основных уровней и валентных полос позволяют контролировать разложение органических катионов и формирование PbI_2 -дефектов, ответственных за деградацию гибридных перовскитов. Показано, что замена A -катиона $MA \rightarrow FA \rightarrow Cs$ повышает фотохимическую устойчивость гибридных перовскитов.



На рисунке приведены XPS валентные спектры гибридного перовскита $CH_3NH_3PbI_3$, нормированные на XPS $Pb\ 4d$, которые показывают резкое уменьшение $I\ 5p:Pb\ 4d$ при облучении видимым светом в течение 500 часов за счет выделения PbI_2 -фазы как продукта фотохимической деградации.

1. XPS evidence of degradation mechanism in $CH_3NH_3PbI_3$ hybrid perovskite [Текст] / I.S. Zhidkov, A.I. Poteryaev, A.I. Kukhareno, L.D. Finkelstein, S.O. Cholakh, A.F. Akbulatov, P.A. Troshin, C-C. Chueh, E.Z. Kurmaev // *Journal of Physics: Condensed Matter*. — 2020. — V. 32. — P. 95501—95507.
2. Influence of Ion Migration from ITO and SiO_2 Substrates on Photo and Thermo Stability of $CH_3NH_3SnI_3$ Hybrid Perovskites [Текст] / Ivan S. Zhidkov, Danil W. Boukhvalov, Andrey I. Kukhareno, Larisa D. Finkelstein, Seif O. Cholakh, Azat F. Akbulatov, Emilio José Juárez-Perez, Pavel A. Troshin, Ernst Z. Kurmaev // *Journal of Physical Chemistry C*. — 2020. — V. 124. — P. 14928—14934.
3. Thermal Effects and Halide Mixing of Hybrid Perovskites: MD and XPS Studies [Текст] / Danil W. Boukhvalov, Ivan S. Zhidkov, Azat F. Akbulatov, Andrey I. Kukhareno, Seif O. Cholakh, Keith J. Stevenson, Pavel A. Troshin, Ernst Z. Kurmaev // *The Journal of Physical Chemistry A*. — 2020. — V. 124. — P. 135—140.
4. Light or Heat: What is killing Lead Halide Perovskites under Solar Cell Operation Conditions? [Текст] / A.F. Akbulatov, L.A. Frolova, N.N. Dremova, I. Zhidkov, V.M. Martynenko, S.A. Tsarev, S.Yu. Luchkin, E.Z. Kurmaev, S.M. Aldoshin, K.J. Stevenson, P.A. Troshin // *Journal of Physical Chemistry Letters*. — 2020. — V. 11. — P. 333—339.
5. XPS spectra as a tool for studying photochemical and thermal degradation in $APbX_3$ hybrid halide perovskites. [Текст] / I.S. Zhidkov, D.W. Boukhvalov, A.F. Akbulatov, L.D. Finkelstein, A.I. Kukhareno, S.O. Cholakh, C-C. Chueh, P.A. Troshin, and E.Z. Kurmaev // *Nano Energy*. — 2021. — V. 79. — P. 105421 — 105430.

Наиболее значимые результаты исследований ИФМ УрО РАН в 2020 году, выполняемые в рамках государственного задания

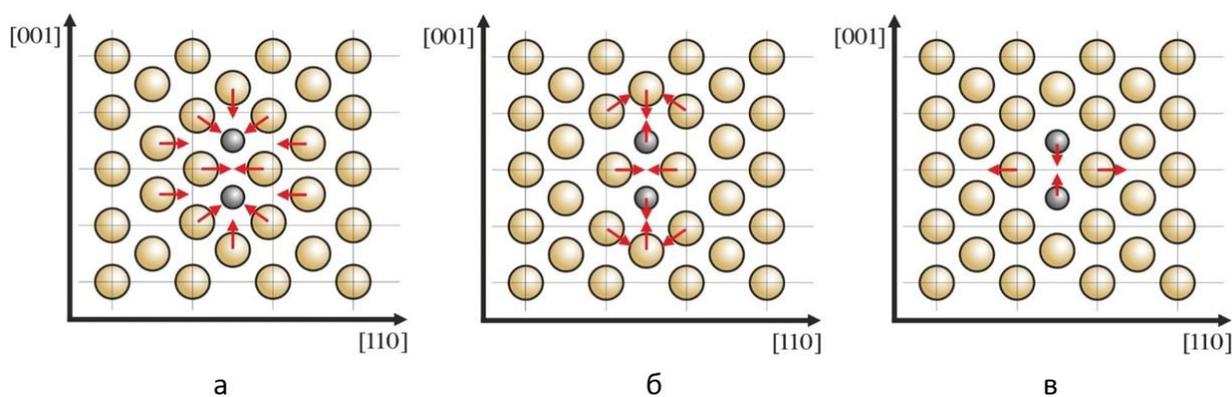
Ближний порядок и магнитные свойства магнитомягких сплавов железо-алюминий и железо-галлий

Н.В. Ершов¹, В.А. Лукшина¹, Д.А. Шишкин¹, Ю.П. Черненко², О.П. Смирнов²

¹Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург,

²Петербургский институт ядерной физики, НИЦ «Курчатовский институт», Гатчина, Россия

В магнитомягких сплавах железа с алюминием и галлием впервые обнаружены и детально описаны кластеры с упорядочением типа $B2$, ответственные за эффект формирования наведенной магнитной анизотропии при отжиге в магнитном поле и за параболический по концентрации рост коэффициента тетрагональной магнитострикции ($\lambda_{100} \sim C^2$) при легировании железа алюминием (до ~ 100 ppm) или галлием (в максимуме при 18 ат.% Ga до ~ 400 ppm). Последующее снижение λ_{100} и его уменьшение в медленно охлажденных образцах сплава железо-галлий объясняется появлением, ростом размеров и объемной доли областей $D0_3$ фазы, оказывающей негативное влияние на магнитоупругие свойства. Полученный результат вносит существенный вклад в развитие представлений о механизмах формирования магнитных свойств магнитомягких сплавов железа, указывает способы их совершенствования.



На рисунке представлена атомная структура $B2$ кластера в сплавах железа с кремнием (а), алюминием (б) и галлием (в) в проекции на плоскость (1-1 0). Атомы железа - \bigcirc , атомы примеси замещения - \bullet . Химический порядок типа $B2$, направления деформации, которые приводят к смещениям диффузных сверхструктурных пиков из узлов обратной решетки, показаны красными стрелками.

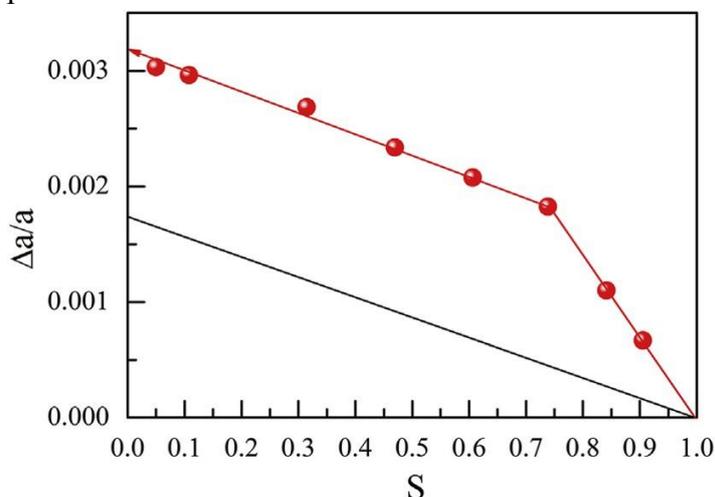
1. Влияние отжига в постоянном магнитном поле на магнитные свойства сплавов железо-галлий [Текст] / В.А. Лукшина, Д.А. Шишкин, А.Р. Кузнецов, Н.В. Ершов, Ю.Н. Горностырев // Физика твёрдого тела. — 2020. — V. 62. — P. 1578—1586.
2. Yu.P.Chernenkov. Atomic structure of soft magnetic iron-based alloys of high (Fe-Al) or giant (Fe-Ga) magnetostriction [Текст] / Yu.P. Chernenkov, N.V. Ershov, V.A. Lukshina, O.P. Smirnov // VII Euro-Asian Symp. «Trends in MAGnetism» (EASTMAG-2019), Ekaterinburg, 8-13 сентября, 2019:- 523 с.
3. Обнаружение новой фазы типа $B1$ в монокристаллах магнитомягких сплавов Fe-Al и Fe-Ga [Текст] / Черненко Ю.П., Ершов Н.В., Лукшина В.А. // Физика твёрдого тела. — 2019. — V. 61. — P. 2000—2009.
4. Влияние отжига в ферромагнитном состоянии на структуру сплава железа с 18 ат.% галлия [Текст] / Ю.П. Черненко, Н.В. Ершов, В.А. Лукшина // Физика твёрдого тела. — 2019. — V. 61. — P. 12—22.

Пост-радиационное дефектное состояние сплава Cu_3Au как модель радиационного поведения precipитатов γ' - фазы в реакторных сталях

В.И. Воронин, В.И. Бобровский, А.Ю. Волков, Б.Н. Гощицкий, Н.В. Проскурнина

Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург

Рентгеновскими дифракционными методами впервые обнаружено, что процессы, развивающиеся под влиянием облучения быстрыми нейтронами в структуре модельного сплава Cu_3Au , проявляющиеся в поведении относительного изменения параметра решетки, а также фактора Дебая-Валлера в зависимости от флюенса быстрых нейтронов, носят отчетливый двустадийный характер. Установлено, что по достижении некоторой величины радиационного разупорядочения в системе происходит неожиданно резкое включение механизма подавления накопления точечных дефектов, предположительно связанного с формированием вакансионных кластеров. Система Cu_3Au изоструктурна precipитатам γ' - фазы Ni_3Ti , формируемым в некоторых реакторных сталях для повышения радиационной стойкости материала, на выяснение механизма действия которых ориентирована данная работа.



На рисунке представлено относительное изменение параметра решетки системы A_3B от степени дальнего порядка.

Cu_3Au - при облучении быстрыми нейтронами (красные кружки);

Cu_3Au и Ni_3Al - при термическом разупорядочении (черная линия).

1. [Radiation induced disordering in \$\text{Cu}_3\text{Au}\$](#) [Текст] / N.V. Proskurnina, V.I. Bobrovskii, B.N. Goshchitskii, A.Yu. Volkov, V.I. Voronin // Radiation Physics and Chemistry. — 2020. — V. 170. — P. 108654—108658
2. [On models for estimating the post-radiation defect state of the \$\gamma'\$ -phase](#) [Текст] / В.И.Бобровский // Diagnostics, Resource and Mechanics of materials and structures. — 2020. — V. 3. — P. 47—60.

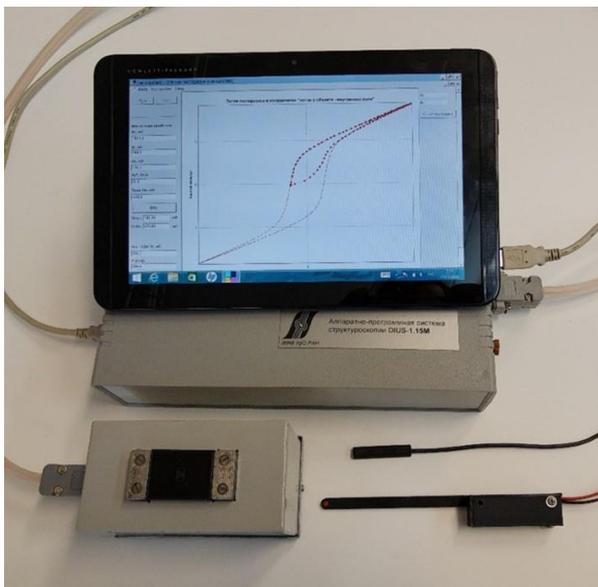
Раздел II. Физические науки. Направление 9. Тема № 0388-2019-0008.

Многоцелевая портативная система магнитной диагностики

В.Н. Костин, О.Н. Василенко, Д.Г. Ксенофонтов, А.В. Михайлов

Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург

Доказана необходимость многопараметровых методов магнитной структуроскопии на основе локально измеряемых свойств испытуемых объектов и характеристик измерительной цепи. Разработана многоцелевая портативная программно-аппаратная система с применением цифровых методов генерации и анализа сигналов, позволяющая выполнять диагностику материалов по совокупности их магнитных свойств, а также по полям рассеяния обнаруживать дефекты сплошности ферромагнитных объектов.



На рисунке представлена многоцелевая портативная система магнитной диагностики с комплектом преобразователей

Область применения: Мобильная аппаратно-программная система, обладающая функциями локального измерения комплекса магнитных параметров, а также возможностями магнитометра общего назначения, может быть использована в заводских лабораториях для оценки качества изделий, а также при диагностике объектов в полевых условиях как для оценки их структурно-фазового и напряженно-деформированного состояний,

так и для их магнитной дефектоскопии.

1. Multipurpose software-hardware systems for active electromagnetic testing as a trend [Текст] / V. N. Kostin, Ya. G. Smorodinskii // Russian journal of nondestructive testing. — 2017. — V. 53. — P. 493—504.
2. DIUS-1.15M Mobile Hardware–Software Structuraloscopy System [Текст] / V.N. Kostin, O.N. Vasilenko, A.V. Byzov // Russian journal of nondestructive testing. — 2018. — V. 54. — P. 654—661.
3. Structural Sensitivity of the Parameters of Asymmetric “Coercive Return–Magnetization” Cycle in Heat-Treated Low-Carbon Steels [Текст] / V.N. Kostin, O.N. Vasilenko, S.G. Sandomirskii // Russian journal of nondestructive testing. — 2018. — V. 54. — P. 776—783.
4. On the Advantages of Local Measurement of Coercive Force of Ferromagnetic Objects Based on Internal Field [Текст] / V. N. Kostin, O. N. Vasilenko, A. V. Mikhailov, N. P. Lukinykh, D. G. Ksenofontov // Russian journal of nondestructive testing. — 2020. — V. 56. — P. 574—580.
5. Свидетельство 2020614584. Гистерезис 1.15М: программа для ЭВМ / Костин В. Н., Ксенофонтов Д. Г., Бызов А. В., Василенко О. Н. (RU); правообладатель ФГБУН ИФМ УрО РАН (RU). № 2020614584; заявл. 13.02.2020 ; опубл. 15.04.2020 Бюл. № 4, 1 Мб.

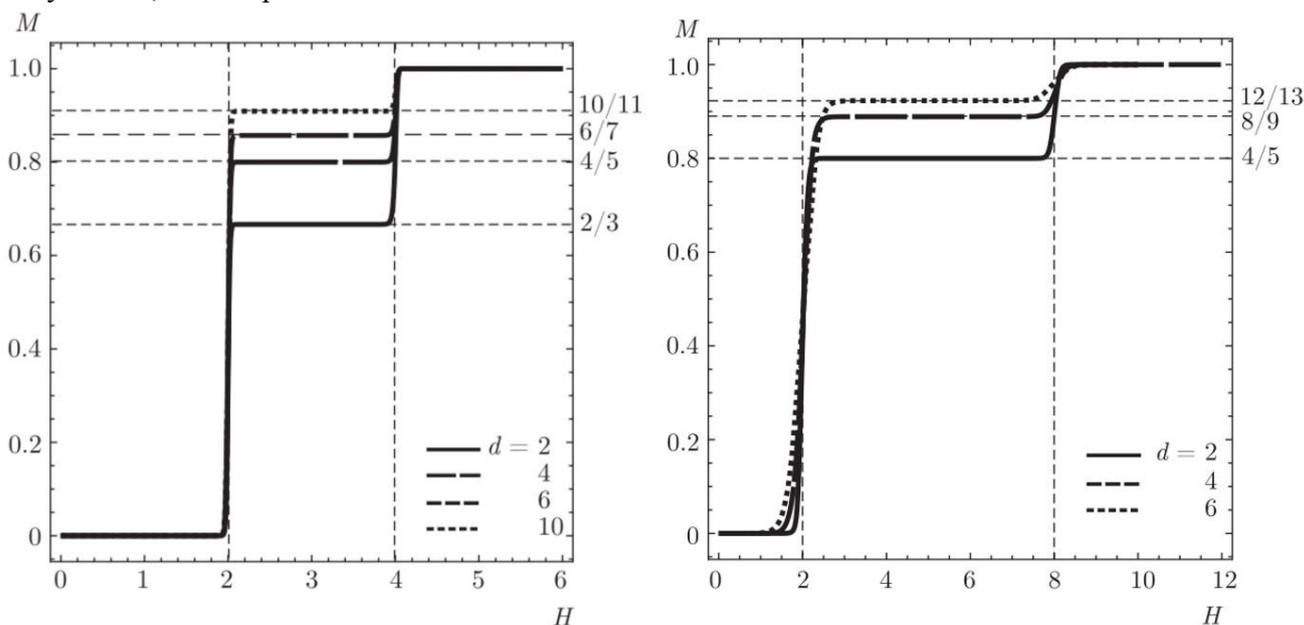
Раздел III. Технические науки. Направление 28. Тема № 0388-2019-0009.

Обобщенная модель Изинга на линейной цепочке

Е.С. Цуварев, Ф.А. Кассан-Оглы

Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург

Получено точное решение обобщенной модели Изинга на 1D решетке на основе впервые выведенной трансфер-матрицы Крамерса – Ваннье с переносами на произвольное число трансляций с взаимодействиями между первыми и вторыми соседями, а также с учетом декорирования и магнитного поля. Построены фазовые диаграммы, представляющие все возможные магнитные типы упорядочения в основном состоянии. Различные мультипликативные варианты схождения фаз соответствуют правилу фаз Гиббса. Вблизи точек фрустраций наблюдается явление существования одной фазы в области другой фазы, вполне аналогичное явлению перегрева и переохлаждения в термодинамике. В тройных точках пересечения линий парного существования фаз, фазы не индивидуализированы, а существенно фрустрированы, поскольку в этих точках помимо упорядоченных конфигураций существует бесконечное множество конфигураций без какой-либо трансляционной инвариантности, о чем свидетельствует ненулевая величина энтропии при нулевой температуре. Это свойство соответствует явлению критической опалесценции. Обнаружены множественные плато низкотемпературной намагниченности, и расщепление теплоемкости на пять пиков. Установлено качественное соответствие линейной декорированной цепочки с квадратной декорированной решеткой, как в отсутствие, так и при наличии магнитного поля.



На рисунке представлены: слева - Намагниченность антиферромагнитной модели Изинга ($J_d = -1, J = -1$) для двукратно-, четырехкратно-, шестикратно- и десятикратно-декорированной линейной цепочки $T = 0.02$; справа - Намагниченность антиферромагнитной модели Изинга двукратно-, четырехкратно- и шестикратно-декорированной квадратной решетки ($J_{dx} = -1, J_{dy} = -1, J_x = -1, J_y = -1$) при $T = 0.005$

1. Ordering and frustrations in generalized Ising chain / E. S. Tsuvarov, F. A. Kassan-Ogly, A. I. Proshkin // Journal of Physics: Conference Series. — 2019. — V. 1389. — P. 12008—12014.
2. Обобщенная модель Изинга в отсутствие магнитного поля / Цуварев Е.С., Кассан-Оглы Ф.А., Прошкин А.И. // Журнал экспериментальной и теоретической физики. — 2020. — V. 158. — P. 504—514.
3. Декорированная изинговская цепочка в магнитном поле / Цуварев Е.С., Кассан-Оглы Ф.А. // Журнал экспериментальной и теоретической физики. — 2020. — [в печати].

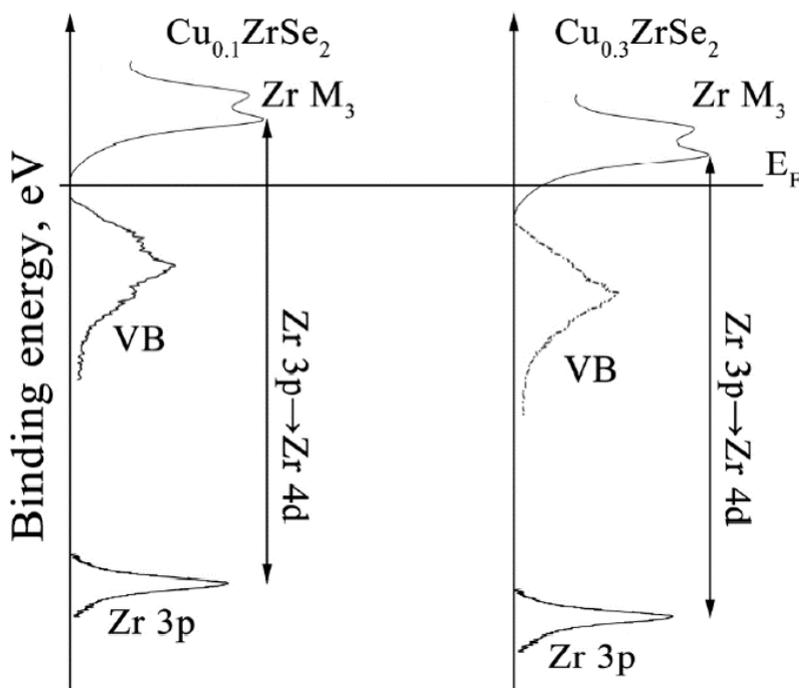
Раздел II. Физические науки. Направление 8. Тема № 0311-2019-0021.

Синтез, кристаллическая и электронная структура интеркалатного соединения Cu_xZrSe_2

М.С. Постников¹, А.С. Шкварин¹, А.И. Меренцов¹, Ю.М. Ярмошенко¹, Е.Г. Шкварина¹, Е.В. Мостовщикова¹, А.А. Титов¹, С.А. Упоров², С.Ю. Мельчаков², А.Н. Титов¹, I. Pis^{3,4}, F. Bondino⁴

¹ Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург, г. Екатеринбург, Россия, ² Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург, Росси, ³ Elettra-Sincrotrone Trieste S.C.p.A, Basovizza, Trieste, Italy, ⁴ IOM-CNR, Laboratorio TASC, Basovizza, Trieste, Italy

Исходный ZrSe_2 является полупроводником с прямой запрещенной зоной и шириной щели около 1.1 эВ. Интеркаляция меди приводит к образованию дополнительных состояний внутри запрещенной зоны $\text{Zr } 4d / \text{Se } 4p$. Увеличение концентрации меди приводит к уширению этой полосы гибридизированных состояний и уменьшению эффективной ширины запрещенной зоны, что приводит к переходу полупроводник-металл. Возможность постепенного изменения ширины прямой запрещенной зоны и управления переходом металл-полупроводник делает интеркалированный ZrSe_2 перспективным материалом для электронных устройств будущего.



На рисунке представлена схема изменения энергетического положения спектров основных уровней и спектров поглощения в зависимости от концентрации меди

1. Band Gap Width Control by Cu Intercalation Into ZrSe_2 / A.S.Shkvarin, A.I.Merentsov, Yu.M.Yarmoshenko, M.S.Postnikov, E.G.Shkvarina, A.A.Titov, I.Pis, S.Nappini, F.Bondino, A.N.Titov // Journal of Physical Chemistry C. — 2019. — V. 123. — P. 410—416.
2. Specific features of the electronic and crystal structure of Cu_xZrSe_2 ($0 < x \leq 0.3$) / A.S.Shkvarin, A.I.Merentsov, Yu.M.Yarmoshenko, M.S.Postnikov, E.G.Shkvarina, E.V.Mostovshchikova, A.A.Titov, I.Pis, F.Bondino, S.A.Uporov, S.Yu.Melchakov, A.N.Titov // Journal of Materials Chemistry C. — 2020. — V. 8. — P. 8290—8304.

Раздел II. Физические науки. Направление 8. Тема № 0388-2019-0003.

Экспериментальное исследование и термодинамическое моделирование фазового состава и структуры высокоэнтропийного сплава $Al_{0.5}CrMoNbTa_{0.5}$, ориентированного на применение в аддитивных технологиях

И.И. Горбачев¹, В.В. Попов¹, А. Кац-Деменец², Е. Эшед², В.В. Попов Мл.², М. Бамбергер²

¹Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург, ² Израильский Институт металлов, Технион, Хайфа, Израиль

Исследована микроструктура и фазовый состав высокоэнтропийного сплава (ВЭС) $Al_{0.5}CrMoNbTa_{0.5}$, синтезированного электродуговой плавкой и аддитивными технологиями методом электронно-лучевой печати. Вторым методом был впервые применён для формирования образцов данного ВЭС из смеси элементных порошков. Синтезированные образцы имели сложный фазовый состав и содержали, в основном, ОЦК-твёрдый раствор, а также фазы С14, С36 и 6Н. Фазовый состав и структура сплава исследовались непосредственно после синтеза, а также после изотермической выдержки при 1000 и 1300°C в течение 24 ч. На основе CALPHAD-метода построено термодинамическое описание системы Al-Cr-Mo-Nb-Ta и выполнены термодинамические расчёты фазового состава, полученного ВЭС, которые показали удовлетворительное согласие с экспериментом. Такие термодинамические расчеты помогут при разработке ВЭС с требуемым фазовым составом, а также в интерпретации экспериментальных результатов. Выполненное исследование поможет полнее раскрыть потенциал использования ВЭС на основе указанных металлов в качестве основы для жаропрочных материалов, применяемых в 3D-печати.



Рисунок иллюстрирует синтез образцов методом электронно-лучевой печати.

High entropy $Al_{0.5}CrMoNbTa_{0.5}$ alloy: Additive manufacturing vs. casting vs. CALPHAD approval calculations [Текст] / А. Katz-Demyanetz, I.I. Gorbachev, E. Eshed, V.V. Popov Jr., V.V. Popov, M. Bamberger // Materials Characterization. — 2020. — V. 167. — P. 110505—110512.

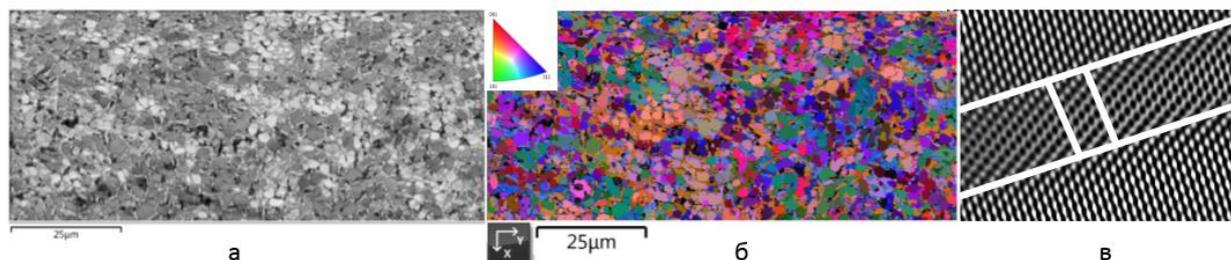
Раздел II. Физические науки. Направление 8. Тема № 0388-2019-0004.

Разработка высокопрочных и пластичных эвтектоидных сплавов на основе Cu-Al-Ni с эффектами памяти формы

В.Г. Пушин, Н.Н. Куранова, А.Э. Свирид, В.В. Макаров, Н.В. Николаева, А.В. Пушин, А.Н. Уксусников, С.В. Афанасьев, А.В. Королев, В.В. Марченков, В.П. Пилюгин

Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург

Впервые в мире получены высокопрочные и пластичные мелкозернистые сплавы на медной основе с термоупругими мартенситными превращениями и обусловленными ими эффектами памяти формы (ЭПФ) и разработаны новые способы их создания для широкого применения. При этом ключевым императивом является мелкозернистость сплавов, обеспечивающая их повышенную пластичность наряду с реализацией обратимых ЭПФ, прочностью и термостабильностью структуры и физико-механических свойств. Экспериментально данный вывод установлен для различных схем механического нагружения в разных структурных состояниях сплавов (аустенитном или мартенситном). Доказано, что наличие мелко- (размером менее 150-200 мкм) и ультрамелкозернистой (размером в единицы микрон и менее) структуры практически исключает развитие катастрофической зернограницной хрупкости, предотвращая негативное влияние большой упругой анизотропии и возможного проэвтектоидного и эвтектоидного распада, ответственных за хрупкость обычных крупнозернистых медных сплавов. Разработаны способы радикального измельчения зеренной структуры сплавов, основанные на легировании и применении высокотемпературной термомеханической обработки с последующей закалкой, мегапластической деформации сдвигом или осадкой.



РЭМ-изображения при ДОРЭ сплава Cu-14Al-3Ni после КВД на 10 оборотов и отжига при 873 К 60 мин: комбинированный контраст (в отраженных и ОЖЭ электронах) (а), ориентационный контраст (б), ПЭМ-изображение прямого разрешения (в)

Область применения: Высококонкурентные методы получения МЗ и УМЗ сплавов с ЭПФ эвтектоидной системы Cu-Al-Ni, основанные на легировании, применении ВТМО с последующей закалкой, МПД кручением, прокаткой, волочением или одноосным сжатием, разработаны для широкого практического применения в технике и медицине.

1. [Design and Development of Ti-Ni, Ni-Mn-Ga and Cu-Al-Ni-based Alloys with High and Low Temperature Shape Memory Effects](#) [Текст] / V. Pushin, N. Kuranova, E. Marchenkova, A. Pushin // Materials. — 2019. — V. 12. — P. 2616—2639.
2. [The Effect of Plastification of Cu-14Al-4Ni Alloy with the Shape Memory Effect in High-Temperature Isothermal Precipitation](#) [Текст] / A.E. Svirid, V.G. Pushin, N.N. Kuranova, E.S. Belosludtseva, A.V. Pushin, A. V. Lukyanov // Technical Physics Letters. — 2020. — V. 46. — P. 118—121.
3. [Application of Isothermal Upset for Megaplastic Deformation of Cu-Al-Ni \$\beta\$ Alloys](#) [Текст] / A.E. Svirid, A.V. Lukyanov, V.G. Pushin, N.N. Kuranova, V.V. Makarov, A.V. Pushin, A.N. Uksusnikov // Technical Physics. — 2020. — V. 65. — P. 1044—2093.
4. Актуальные проблемы прочности / В.А. Андреев [и др.]; монография под ред. В.В. Рубаника. – Молодечно: ОАО «Типография «Победа», 2020. – 453 с.

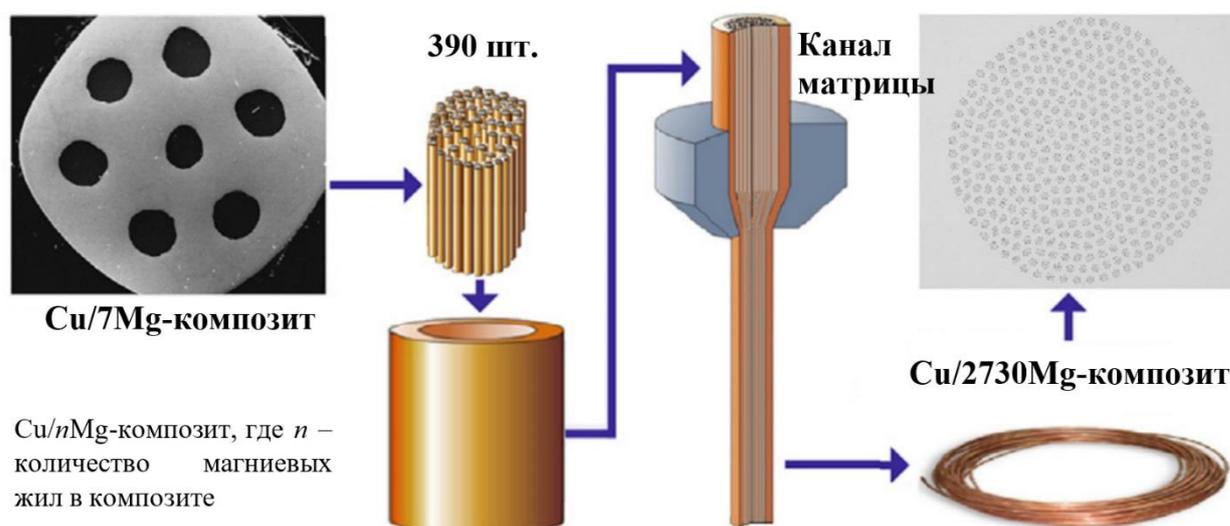
Представлены 3 заявки на оформление свидетельства о «ноу-хау» ИФМ УрО РАН: 2 заявки на способ и 1 заявка на вещество.

Получение, структура, прочностные и электрические свойства бинарных и тройных композитных проводников с большим количеством Mg-волокон в медной или алюминиевой матрице

А.Ю. Волков, А.А. Калонов, И.Г. Бродова, А.В. Глухов, Е.Г. Волкова,
Д.А. Комкова, Е.И. Патраков, В.А. Завалишин

Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург

Методом гидроэкструзии при комнатной температуре получены бинарные Cu/Mg- и Al/Mg-композиты с большим количеством тонких Mg-волокон, а также тройные Al/Cu/Mg-композиты с разной последовательностью слоев. Выявлено деформационно-индуцированное формирование на Cu/Mg-интерфейсах неравновесных пересыщенных твердых растворов магния в меди, а также интерметаллидов, что приводит к аномально высоким прочностным свойствам полученных композитов. Электрические свойства композитов обеспечиваются медной матрицей и поэтому сопоставимы с чистой медью. Результаты работы могут быть использованы для создания высокопрочных проводников электрического тока, а также в медицине – для получения ультратонких Mg-нитей, востребованных в хирургии в качестве биорастворимого шовного материала.



На рисунке показан процесс получения Cu/Mg-композитов с разным количеством Mg-волокон

1. [Abnormally high strength and low electrical resistivity of the deformed Cu/Mg-composite with a big number of Mg-filaments](#) [Текст] / A.Yu. Volkov, B.D. Antonov, E.I. Patrakov, E.G. Volkova, D.A. Komkova1, A.A. Kalonov, A.V. Glukhov // *Materials & Design*. — 2020. — V. 185. — P. 108276.
2. [Влияние интерфейсов на физико-механические свойства Cu/Mg-композитов](#) [Текст] / А. Ю. Волков, А. А. Калонов, В. А. Завалишин, А. В. Глухов, Д. А. Комкова, Б. Д. Антонов // *Физика металлов и металловедение*. — 2020. — V. 121. — P. 628—634.
3. [Development, structure and properties of Cu/Mg and Al/Mg composite wires](#) [Текст] / A. Kalonov, A. Glukhov, A.Yu. Volkov // *Procedia Manufacturing*. — 2020. — V. 50. — P. 800—803.
4. Cu/Mg-composites: processing, structure and properties [Текст] / A.Yu. Volkov, D.A. Komkova, A.A. Kalonov // *Letters on Materials*. — 2019. — V. 9. — P. 517—522. DOI: 10.22226/2410-3535-2019-4-517-522.

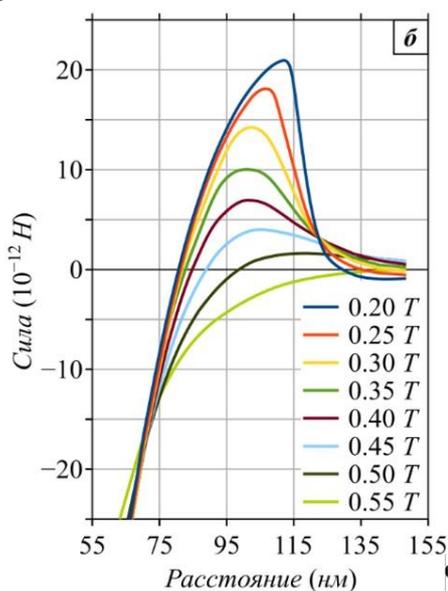
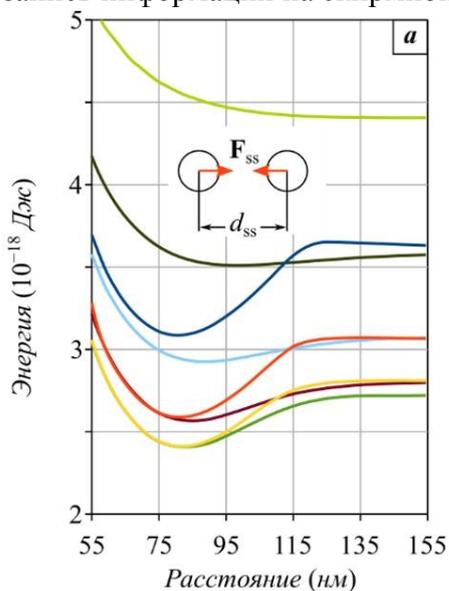
Раздел II. Физические науки. Направление 9. Тема № 0388-2019-0007.

Взаимодействие изолированных скирмионов в наноструктурированных кубических киральных магнетиках

Haifeng D^{1,2}, Xuebing Zhao³, Filipp.N.Rybakov⁴, Александр.Б. Борисов⁵, Shasha Wang¹, Jin Tang¹, Chiming Jin¹, Chao Wang³, Wensheng Wei¹, Nikolai S. Kiselev⁶, Stefan Blügel⁶, Yuheng Zhang^{1,7,8}, Renchao Che³, Mingliang Tian^{1,2,8}

¹High Magnetic Field Laboratory, Chinese Academy of Sciences and University of Science and Technology of China, Hefei, China, ²School of Physics and Materials Science, Anhui University, Hefei, China, ³Laboratory of Advanced Materials, Fudan University, Shanghai, China, ⁴Department of Physics, KTH-Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, ⁵M.N. Miheev Institute of Metal Physics of UB RAS, Ekaterinburg, Russia, ⁶Peter Grünberg Institute, Jülich, Germany, ⁷University of Science and Technology of China, Hefei, China, ⁸Nanjing University, Nanjing, China

Впервые теоретически и экспериментально показано, что взаимодействие между (скирмионами (вихрями) в магнитных системах без центра инверсии имеет не только отталкивающий характер (как предполагалось ранее), но и притягивающий характер. На основе теоретических расчетов получены первые экспериментальные доказательства для взаимодействия типа Леннарда-Джонса (характерного для взаимодействия атомов в твердых телах) между отдельными вихрями, выявленные прямым наблюдением обратимой эволюции равновесного межскирмионного расстояния под действием поля. Открытый механизм притягивающего взаимодействия для магнитных вихрей полностью отличается от взаимодействия вихрей в других системах, таких как, двумерные магнетики или сверхпроводники. Эти результаты имеют важное значение для возможных технологических приложений в «race-track» памяти, где предполагается использовать запись информации на скирмионах.



На рисунке представлена зависимость потенциальной энергии взаимодействия между скирмионами (а) и между скирмионом и краем образца (б) от магнитного поля

1. [Interaction of Individual Skyrmions in a Nanostructured Cubic Chiral Magnet](#) [Текст] / Haifeng Du⁰, Xuebing Zhao⁰, Filipp N. Rybakov¹, Aleksandr B. Borisov¹, Shasha Wang⁰, Jin Tang⁰, Chiming Jin⁰, Chao Wang⁰, Wensheng Wei⁰, Nikolai S.Kiselev⁰, Yuheng Zhang⁰, Renchao Che⁰, Stefan Blügel⁰, Mingliang Tian⁰ // Physical Review Letters. — 2018. — V. 120. — P. 197203—197208.
2. [Localized structures in magnetic systems without the center of inversion](#) [Текст] / A. B. Borisov² // PHYSICS-USPEKHI. — 2020. — V. 63. — P. 269—288.

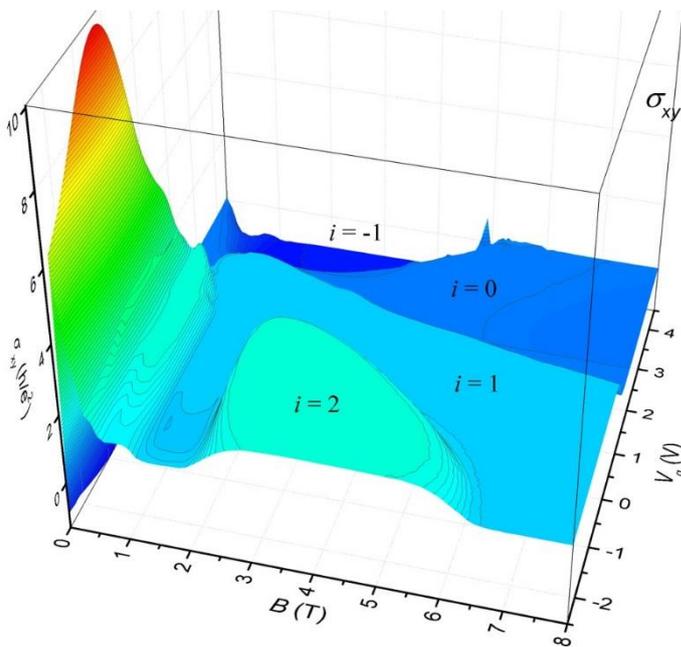
Раздел II. Физические науки. Направление 8. Тема № 0388-2019-0002.

Необычная структура квантового эффекта Холла в двойной квантовой яме HgTe/CdHgTe

М.В. Якунин¹, С.М. Подгорных¹, М.Р. Попов¹, В.Н. Неверов¹, С.С. Криштопенко², В. Jouault², W. Desrat², F. Teppe², Н.Н. Михайлов³, С.А. Дворецкий³

¹ ИФМ УрО РАН, ² Laboratoire Charles Coulomb, Centre National de la Recherche Scientifique, University of Montpellier, Montpellier, France, ³ Институт физики полупроводников СО РАН

Обнаружена необычная структура квантового эффекта Холла (КЭХ) в двойной квантовой яме со слоями HgTe критической толщины и туннельнопрозрачным барьером, с проводимостью p -типа. Найденный КЭХ представляет собой возвратную функцию магнитного поля, когда фаза с фактором заполнения $i = 1$ находится между двумя фазами $i = 2$ и с ростом поля появляется вновь. При этом часть структуры КЭХ в относительно слабых полях показывает концентрацию дырок в несколько раз меньше, чем это следует из структуры КЭХ в сильных полях; структура в сильных полях реагирует на приложение напряжения затвора или ИК освещение, тогда как структура в слабых полях почти не реагирует; в структуре в сильных полях наблюдается аномально широкое плато $i = 2$. Показано, что найденные особенности могут быть объяснены без привлечения краевых состояний и коллективных эффектов при правильном учете электронного или дырочного вклада в проводимость от носителей на аномальных уровнях Ландау, а также с учетом боковых максимумов валентной подзоны, которые выполняют роль резервуара, замораживающего часть дырок в слабых полях, но в сильных полях все дырки из него высвобождаются.



Необычная структура недиагональной компоненты проводимости $\sigma_{xy}(B, V_g)$ в режиме квантового эффекта Холла в двойной квантовой яме со слоями HgTe критической толщины.

При напряжении затвора $V_g < 0.5$ V проявляется возвратный характер, когда с ростом поля B плато $i = 1$ или $i = 2$ появляются вновь, тогда как в традиционной картине номера i только убывают. При этом в полях $B < 3$ Т границы между плато $i = 1$ и $i = 2$ практически не двигаются с изменением V_g . Температура 0.3 К.

1. Unconventional reentrant quantum Hall effect in a HgTe/CdHgTe double quantum well [Текст] / M. V. Yakunin, S. S. Krishtopenko, W. Desrat, S. M. Podgornykh, M. R. Popov, V. N. Neverov, S. A. Dvoretzky, N. N. Mikhailov, F. Teppe, B. Jouault // Physical Review B. — 2020. — V. 102. — P. 165305—165314
2. HgTe/CdHgTe double quantum well with a spectrum of bilayer graphene and peculiarities of its magnetotransport [Текст] / M. V. Yakunin, S. S. Krishtopenko, S. M. Podgornykh, M. R. Popov, V. N. Neverov, N. N. Mikhailov, S. A. Dvoretzky // JETP Letters. — 2016. — V. 104. — P. 403—410

Раздел II. Физические науки. Направление 8. Тема № 0388-2019-0001.

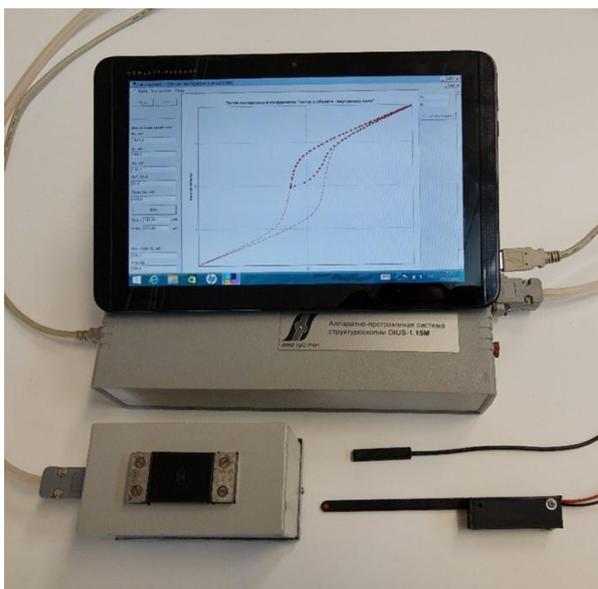
Наиболее значимые результаты исследований ИФМ УрО РАН в 2020 году, имеющие инновационный потенциал

Многоцелевая портативная система магнитной диагностики

В.Н. Костин, О.Н. Василенко, Д.Г. Ксенофонтов, А.В. Михайлов

Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург

Доказана необходимость многопараметровых методов магнитной структуроскопии на основе локально измеряемых свойств испытуемых объектов и характеристик измерительной цепи. Разработана многоцелевая портативная программно-аппаратная система с применением цифровых методов генерации и анализа сигналов, позволяющая выполнять диагностику материалов по совокупности их магнитных свойств, а также по полям рассеяния обнаруживать дефекты сплошности ферромагнитных объектов.



На рисунке представлена многоцелевая портативная система магнитной диагностики с комплектом преобразователей

Область применения: Мобильная аппаратно-программная система, обладающая функциями локального измерения комплекса магнитных параметров, а также возможностями магнитометра общего назначения, может быть использована в заводских лабораториях для оценки качества изделий, а также при диагностике объектов в полевых условиях как для оценки их структурно-фазового и напряженно-деформированного состояний, так и для их маг-

нитной дефектоскопии.

1. Multipurpose software-hardware systems for active electromagnetic testing as a trend [Текст] / V. N. Kostin, Ya. G. Smorodinskii // Russian journal of nondestructive testing. — 2017. — V. 53. — P. 493—504.
2. DIUS-1.15M Mobile Hardware–Software Structuroscopy System [Текст] / V.N. Kostin, O.N. Vasilenko, A.V. Byzov // Russian journal of nondestructive testing. — 2018. — V. 54. — P. 654—661.
3. Structural Sensitivity of the Parameters of Asymmetric “Coercive Return–Magnetization” Cycle in Heat-Treated Low-Carbon Steels [Текст] / V.N. Kostin, O.N. Vasilenko, S.G. Sandomirskii // Russian journal of nondestructive testing. — 2018. — V. 54. — P. 776—783.
4. On the Advantages of Local Measurement of Coercive Force of Ferromagnetic Objects Based on Internal Field [Текст] / V. N. Kostin, O. N. Vasilenko, A. V. Mikhailov, N. P. Lukinykh, D. G. Ksenofontov // Russian journal of nondestructive testing. — 2020. — V. 56. — P. 574—580.
5. Свидетельство 2020614584. Гистерезис 1.15М: программа для ЭВМ / Костин В. Н., Ксенофонтов Д. Г., Бызов А. В., Василенко О. Н. (RU); правообладатель ФГБУН ИФМ УрО РАН (RU). № 2020614584; заявл. 13.02.2020 ; опубл. 15.04.2020 Бюл. № 4, 1 Мб.

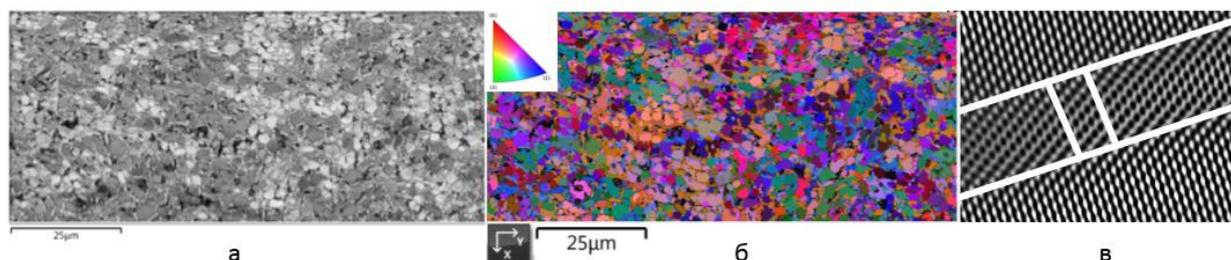
Раздел III. Технические науки. Направление 28. Тема № 0388-2019-0009.

Разработка высокопрочных и пластичных эвтектоидных сплавов на основе Cu-Al-Ni с эффектами памяти формы

В.Г. Пушин, Н.Н. Куранова, А.Э. Свирид, В.В. Макаров, Н.В. Николаева, А.В. Пушин, А.Н. Уксусников, С.В. Афанасьев, А.В. Королев, В.В. Марченков, В.П. Пилюгин

Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург

Впервые в мире получены высокопрочные и пластичные мелкозернистые сплавы на медной основе с термоупругими мартенситными превращениями и обусловленными ими эффектами памяти формы (ЭПФ) и разработаны новые способы их создания для широкого применения. При этом ключевым императивом является мелкозернистость сплавов, обеспечивающая их повышенную пластичность наряду с реализацией обратимых ЭПФ, прочностью и термостабильностью структуры и физико-механических свойств. Экспериментально данный вывод установлен для различных схем механического нагружения в разных структурных состояниях сплавов (аустенитном или мартенситном). Доказано, что наличие мелко- (размером менее 150-200 мкм) и ультрамелкозернистой (размером в единицы микрон и менее) структуры практически исключает развитие катастрофической зернограницной хрупкости, предотвращая негативное влияние большой упругой анизотропии и возможного проэвтектоидного и эвтектоидного распада, ответственных за хрупкость обычных крупнозернистых медных сплавов. Разработаны способы радикального измельчения зеренной структуры сплавов, основанные на легировании и применении высокотемпературной термомеханической обработки с последующей закалкой, мегапластической деформации сдвигом или осадкой.



РЭМ-изображения при ДОРЭ сплава Cu-14Al-3Ni после КВД на 10 оборотов и отжига при 873 К 60 мин: комбинированный контраст (в отраженных и ОЖЕ электронах) (а), ориентационный контраст (б), ПЭМ-изображение прямого разрешения (в)

Область применения: Высококонкурентные методы получения МЗ и УМЗ сплавов с ЭПФ эвтектоидной системы Cu-Al-Ni, основанные на легировании, применении ВТМО с последующей закалкой, МПД кручением, прокаткой, волочением или одноосным сжатием, разработаны для широкого практического применения в технике и медицине.

1. [Design and Development of Ti-Ni, Ni-Mn-Ga and Cu-Al-Ni-based Alloys with High and Low Temperature Shape Memory Effects](#) [Текст] / V. Pushin, N. Kuranova, E. Marchenkova, A. Pushin // Materials. — 2019. — V. 12. — P. 2616—2639.
2. [The Effect of Plastification of Cu-14Al-4Ni Alloy with the Shape Memory Effect in High-Temperature Isothermal Precipitation](#) [Текст] / A.E. Svirid, V.G. Pushin, N.N. Kuranova, E.S. Belosludtseva, A.V. Pushin, A. V. Lukyanov // Technical Physics Letters. — 2020. — V. 46. — P. 118—121.
3. [Application of Isothermal Upset for Megaplastic Deformation of Cu-Al-Ni \$\beta\$ Alloys](#) [Текст] / A.E. Svirid, A.V. Lukyanov, V.G. Pushin, N.N. Kuranova, V.V. Makarov, A.V. Pushin, A.N. Uksusnikov // Technical Physics. — 2020. — V. 65. — P. 1044—2093.
4. Актуальные проблемы прочности / В.А. Андреев [и др.]; монография под ред. В.В. Рубаника. — Молодечно: ОАО «Типография «Победа», 2020. — 453 с.

Представлены 3 заявки на оформление свидетельства о «ноу-хау» ИФМ УрО РАН: 2 заявки на способ и 1 заявка на вещество.

Раздел II. Физические науки. Направление 9. Тема № 0388-2019-0006

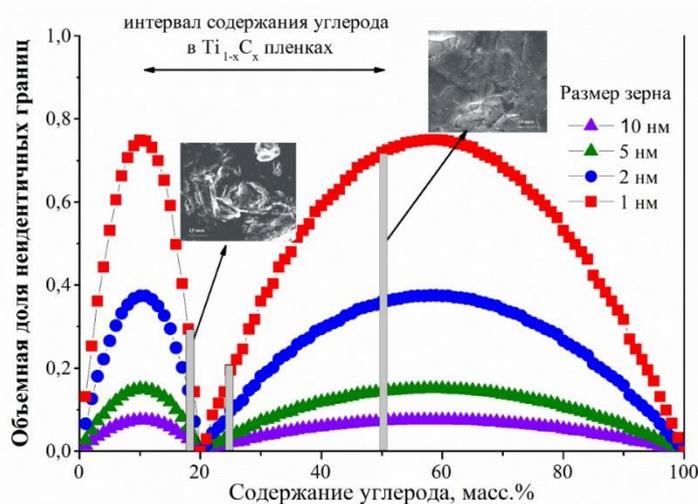
Создание многослойных покрытий

с учетом структурных особенностей отдельных слоев

А.П. Рубштейн, А.Б. Владимиров, Ю.В. Корх, А.Б. Ринкевич, С.А. Плотников,
Ю.С. Поносов, В.А. Завалишин, Е.Г. Волкова

Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург

Получены многослойные $[\text{Ti}_{1-x}\text{C}_x/\text{a-C}]_n$ покрытия с прочной межслоевой адгезией и большим содержанием межфазных границ, обеспечивающих повышенные эксплуатационные характеристики покрытий (твердость, трещиностойкость и износостойкость). Хорошая межслоевая адгезия достигнута подбором фазового состава $\text{Ti}_{1-x}\text{C}_x$ слоя. При осаждении слоев происходит когезионное сцепление между одинаковыми фазами (углеродными) и адгезионное сцепление между разными фазами (углеродной и карбидом титана). Межфазные границы, объемная доля которых зависит от массовой доли углерода в $\text{Ti}_{1-x}\text{C}_x$, тормозят движение и генерацию дислокаций, препятствуя зарождению, ветвлению и распространению трещин, разрушающих покрытие. Покрытия апробированы на металлообрабатывающем инструменте отечественного производства. Результат не уступает лучшим мировым образцам.



На рисунке представлены зависимости объемной доли неидентичных границ от содержания углерода в $\text{Ti}_{1-x}\text{C}_x$ пленках. Расчет сделан для размеров TiC зерен от 1 до 10 нм. Столбцами серого цвета отмечены составы, используемые в $\text{Ti}_{1-x}\text{C}_x$ слоях многослойных покрытий. В квадратах – СЭМ изображения покрытий после эрозионного изнашивания.

Область применения: Разработанные твердые износостойкие покрытия могут быть использованы на машиностроительных, металлообрабатывающих, деревообрабатывающих предприятиях для повышения качества и ресурса работы инструмента и деталей машин и механизмов, а также для защиты поверхностей от воздействия агрессивных сред.

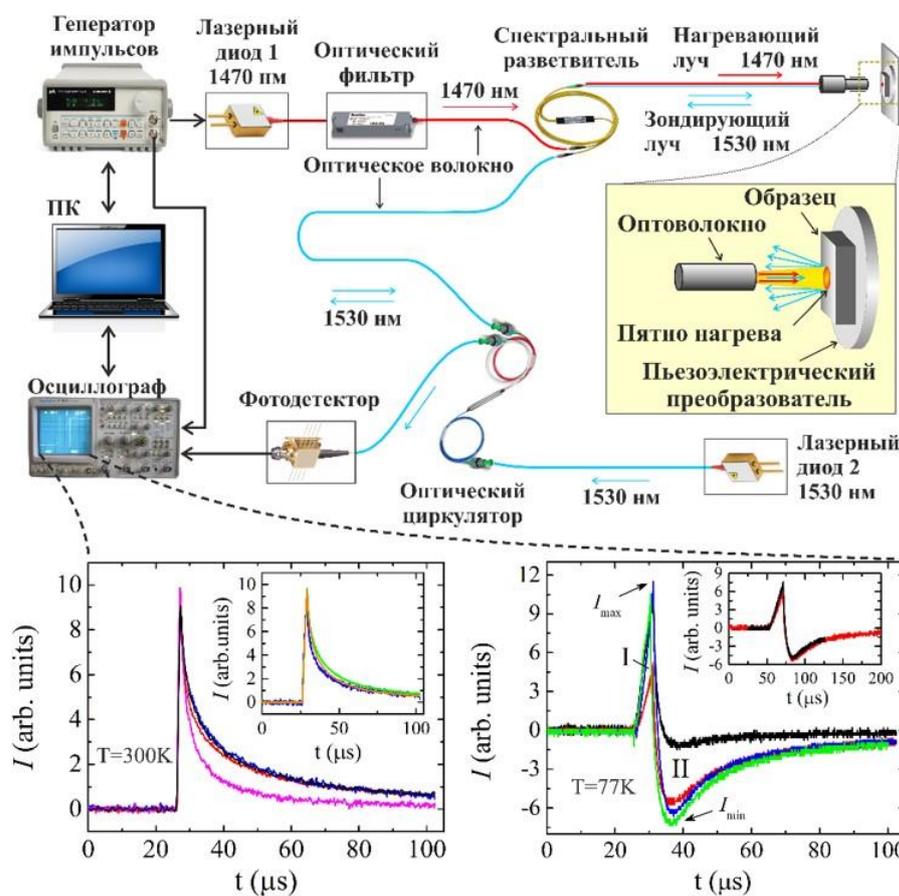
1. Особенности эрозионного изнашивания покрытий со структурообразующей парой « $\text{Ti}_{1-x}\text{C}_x$ – алмазоподобный углерод» ($x = 0,2, 0,8$) [Текст] / А.П. Рубштейн, А.Б. Владимиров, С.А. Плотников // Физика металлов и металловедение. — 2020. — V. 121(12). — P. 1307—1314.
2. Многослойное износостойкое покрытие на стальной подложке, патент N 2674795 / А.П. Рубштейн, А.Б. Владимиров, С.А. Плотников, В.А. Югов; 13.12.2018
3. Studying nanocomposite films with matrix-forming carbon by kelvin probe force microscopy [Текст] / А. P. Rubshtein, Yu. V. Korkh, A. B. Vladimirov, A. B. Rinkevich, S. A. Plotnikov // Diagnostics, Resource and Mechanics of materials and structures. — 2015. — V. 6. — P. 104—113.
4. Абразивная стойкость наноламинарных покрытий с чередованием углеродных алмазоподобных и наноккомпозитных титан-углеродных слоев [Текст] / А.Б.Владимиров, С.А.Плотников, А.П.Рубштейн, Д.Р.Емлин // Известия высших учебных заведений. Физика. — 2014. — V. 57. — P. 122—125.
5. Nanocomposite Films Prepared by Arc-Plasma Deposition of Titanium and Carbon [Текст] / A. B. Vladimirov, S. A. Plotnikov, I. Sh. Trakhtenberg, A. P. Rubshtein, E. G. Volkova // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. — 2015. — V. 51. — P. 230—233.
6. Comparative analysis of properties of the carbon-based coatings obtained through various PVD and CVD deposition [Текст] / D.V Korzhenko, Y.N. Yurjev, D.R. Emlin, S.A. Plotnikov, A.B. Vladimirov, I.Y. Romanov, V.A. Loginov, A.B. Loginov // Journal of Physics: Conference Series. — 2020. — V. 1443. — P. 012006.

Лазерный оптоволоконный термооптический метод для характеристики приповерхностных слоев твердых тел: разработка и результаты применения для исследования полупроводниковых материалов

А.А. Старостин¹, В.В. Шангин¹, А.Т. Лончаков², А.Н. Котов¹, С.Б. Бобин²

¹ ИТФ УрО РАН, ² Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург

Разработана и апробирована на ряде полупроводниковых материалов семейства $A^{II}B^{VI}$ (ZnSe, HgSe) и $A^{III}B^V$ (n-InSb) оригинальная лазерная оптоволоконная установка. В основе ее работы лежит термооптический метод, сочетающий в себе принципы термотражения (отклик на изменение амплитуды отраженной волны) и интерферометра Фабри-Перо (отклик на изменение фазы отраженной волны). Длина волны греющего и зондирующего излучения составляет 1470 и 1530 нм, соответственно. Установка действует в микросекундном диапазоне импульсов нагрева и, благодаря специальной вакуумной камере, может перекрывать широкий (от 4,2 до 300 К) интервал температур.



Принципиальная схема оптоволоконной установки для исследования приповерхностных слоев твердых тел комбинированным методом термотражения и интерферометра Фабри-Перо (верхняя панель). Результат апробации термооптического метода на материале с нетривиальной топологией – селениде ртути с разной концентрацией электронов (нижняя панель): монотонное затухание сигнала при $T = 300$ K (левый рисунок) сменяется глубоким провалом при $T = 77$ K (правый рисунок).

Область применения: Разработанный метод может быть использован для диагностики качества приповерхностных слоев и покрытий в микроэлектронных технологиях, а также для изучения физических свойств многокомпонентных структур и топологических материалов.

[Laser Pump-Probe Fiber-Optic Technique for Characterization of Near-Surface Layers of Solids: Development and Application Prospects for Studying Semiconductors and Weyl Semimetals](#) [Текст] / А. А. Старостин, В. В. Шангин, А. Т. Лончаков, А. Н. Котов, С. Б. Бобин // Annalen der Physik. — 2020. — V. 532. — P. 1900586—1900593

Раздел II. Физические науки. Направление 8. Тема № 0388-2019-0001.
Работа проведена совместно с Институтом теплофизики УрО РАН

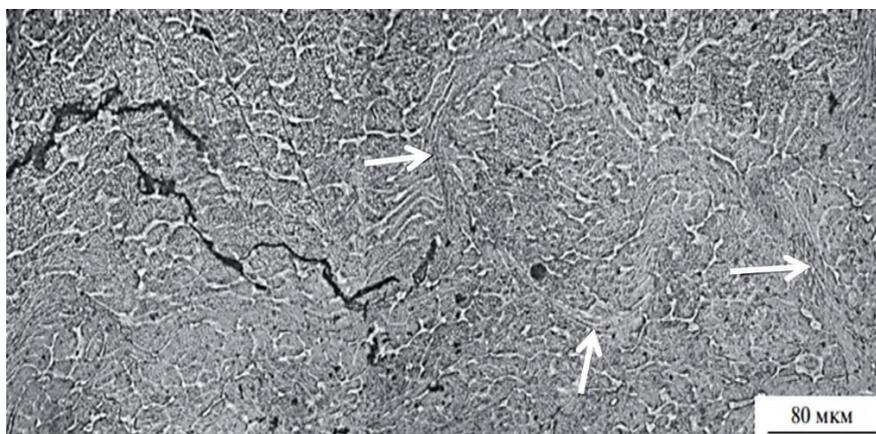
Инновационный подход к повышению качества сварных соединений из высокопрочных конструкционных сталей

Т.И. Табатчикова¹, Н.А. Терещенко¹, И.Л. Яковлева¹, А. Н. Морозова¹, Н.З. Гуднев²

¹ Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург,

² АО «Уралтрансаш»

Реализован инновационный подход к изготовлению сварных соединений из листового проката высокопрочных конструкционных сталей. Для раскроя заготовок предложена гидроабразивная резка, исключая локальный разогрев металла. Выявлено, что влияние гидроабразивной струи ограничено приповерхностным слоем материала глубиной до 60 мкм. Установлено, что сварные соединения, выполненные из раскроенных заготовок без дополнительной механической зачистки поверхности реза, обладают высоким уровнем механических свойств до температуры -40°C включительно. Установлена эффективность использования сварочной проволоки нового класса ПП-УТМ для повышения конструктивной прочности сварных соединений в условиях высокоскоростного ударного воздействия, при котором локальное упрочнение металла шва достигается за счет образования мартенсита деформации. Преимущество такого подхода подтверждено в заводских условиях при производстве крупногабаритных сварных конструкций ответственного назначения.



Разветвленные трещины и полосы локализованной деформации в многофазной структуре металла шва, выполненного сварочной проволокой нового класса, возникшие при высокоскоростном ударном воздействии

Область применения: На машиностроительных предприятиях при производстве сварных конструкций, стойких к экстремальным внешним воздействиям.

1. [Phase and Structural Transformations of Weld Metal under High-Velocity Impact](#) [Текст] / Т. И. Tabatchikova¹, А. Н. Morozova¹, N. A. Tereshchenko¹ // Combustion, Explosion, and Shock Waves. — 2020. — V. 56. — P. 365—373
2. [Influence of Severe Dynamic Action on Phase and Structural Transformations in a Metal of Welded Joints](#) [Текст] / Т. И. Tabatchikova¹, N. A. Tereshchenko¹, А. Н. Morozova¹, N. Z. Gudnev // Physics of Metals and Metallography. — 2019. — V. 120. — P. 607—613.
3. [Structural Transformation of the Surface of a High-Strength Steel after Hydroabrasive Action](#) [Текст] / N. A. Tereshchenko¹, Т. И. Tabatchikova¹, I. L. Yakovleva¹, N. Z. Gudnev // Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. — 2019. — V. 13. — P. 1336—1342.
4. [Effect of Preliminary Hydroabrasive Cutting on the Imperfection of Welded Joints and Their Mechanical Properties](#) [Текст] / Т. И. Tabatchikova¹, А. Н. Morozova¹, N. Z. Gudnev // Russian Metallurgy (Metally). — 2019. — V. 9. — P. 901—908.
5. [Structure of Near-Surface Layer of High-Strength Steel Subjected to Abrasive Waterjet Cutting](#) [Текст] / Т. И. Tabatchikova¹, N. A. Tereshchenko¹, I. L. Yakovleva¹, N. Z. Gudnev // Physics of Metals and Metallography. — 2018. — V. 119. — P. 871—879.
6. [Structure and Mechanical Properties of Steel Welding Joints Produced Using Abrasive Waterjet Cutting](#) [Текст] / Т. И. Tabatchikova¹, S. V. Lepikhin, А. Н. Morozova¹, N. Z. Gudnev // Physics of Metals and Metallography. — 2018. — V. 119. — P. 691—699.

Раздел II. Физические науки. Направление 9. Тема № 0388-2019-0006.