

Краткие сообщения

Обнаружение сильного влияния на низкотемпературный магнетизм малых вариаций содержания непереходного элемента в стехиометрическом составе сплава железо–ванадий–алюминий

А.Т. Лончаков¹, В.В. Марченков^{1,2}, В.И. Окулов¹, Т.Е. Говоркова¹, К.А. Окулова¹, С.Б. Бобин¹, В.В. Дерюшкин¹, С.М. Емельянова¹, А.Ю. Усик¹, Х.В. Вебер³

¹*Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург, 620990, Россия*
E-mail: okulov@imp.uran.ru

²*Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, 620002, Россия*

³*Атоминститут Венского технологического университета, Вена, 1020, Австрия*

Статья поступила в редакцию 21 сентября 2015 г., после переработки 2 ноября 2015 г., опубликована онлайн 26 января 2016 г.

В итоге низкотемпературных экспериментальных исследований электросопротивления и гальваномагнитных свойств магнитных сплавов железо–ванадий–алюминий с составами вблизи стехиометрического Fe_2VAl обнаружено аномально сильное изменение параметров ферромагнитного упорядочения при малой вариации содержания алюминия. С помощью сравнения температурных и магнитопольевых зависимостей электросопротивления и эффекта Холла в сплавах $\text{Fe}_{2,1}\text{V}_{0,91}\text{Al}_{0,99}$ и $\text{Fe}_{2,05}\text{V}_{0,91}\text{Al}_{1,04}$ показано, что малое возрастание содержания алюминия приводит к двукратному росту температуры Кюри и к резкому изменению характера температурной зависимости магнитосопротивления и насыщения спонтанной намагниченности.

У результаті низькотемпературних експериментальних досліджень електроопору та гальваномагнітних властивостей магнітних сплавів залізо–ванадій–алюміній із складами поблизу стехіометричного Fe_2VAl виявлено аномально сильну зміну параметрів феромагнітного впорядкування при малій варіації вмісту алюмінію. За допомогою порівняння температурних та магнітопольових залежностей електроопору та ефекту Холла в сплавах $\text{Fe}_{2,1}\text{V}_{0,91}\text{Al}_{0,99}$ та $\text{Fe}_{2,05}\text{V}_{0,91}\text{Al}_{1,04}$ показано, що мале зростання вмісту алюмінію призводить до двократного зростання температури Кюрі та до різкої зміни характеру температурної залежності магнітоопору і насичення спонтанної намагніченості.

PACS: 71.20.Be Переходные металлы и сплавы;

72.15.Eb Электрическая и тепловая проводимость в кристаллических металлах и сплавах;

75.20.En Металлы и сплавы.

Ключевые слова: сплав железо–ванадий–алюминий, гальваномагнитные эффекты, спиновое рассеяние, магнитосопротивление, локализованный магнитный момент, аномальный эффект Холла.

Сплавы железо–ванадий–алюминий с составами вблизи стехиометрического Fe_2VAl обладают уникальными особенностями электронной структуры, которые проявляются в характерных аномалиях низко-

температурных свойств, возникающими при малых вариациях состава. Начало исследований электронных свойств этих объектов по существу было положено работой [1], а недавние результаты исследований упо-

мянутых аномалий изложены в статьях [2–4]. Сплавы с малым обогащением ванадием обладают узкой псевдощелью в электронной плотности состояний в окрестности энергии Ферми и полупроводниковым характером температурной зависимости электросопротивления. С другой стороны, малое обогащение стехиометрического состава железом приводит к появлению ферромагнитного состояния и существенно иных температурных и магнитопольевых зависимостей электронных свойств. В целом была выявлена картина сильной чувствительности свойств сплава к малым вариациям содержания компонентов вблизи стехиометрического состава. При этом, однако, во многих проведенных до сих пор исследованиях интерес вызывали, как правило, лишь эффекты, связанные с вариациями содержания в сплаве атомов переходных элементов — железа и ванадия. В настоящей работе в целях получения полной картины наблюдаемых аномалий предпринято изучение роли малого изменения содержания атомов неперегородного элемента — алюминия. За исходный состав принят магнитный сплав со слабым обогащением содержания железа, в нем было увеличено содержание алюминия. Полученные результаты изучения электросопротивления и гальваномангнитных эффектов было трудно предсказать. Оказалось, что обогащенный алюминием сплав имеет значительно более высокую температуру Кюри и более резкий характер насыщения спонтанной намагниченности.

Сплавы для исследований были выплавлены индукционным методом в атмосфере очищенного аргона. Химический состав и однородность образцов определяли методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии с точностью около 1%. Другие детали приготовления образцов приведены в статьях [3,4]. Для решения поставленной задачи были приготовлены два образца. Один из них, служивший исходным, состоял из слабообогащенного железом магнитного сплава $Fe_{2,1}V_{0,91}Al_{0,99}$, а другой — из сплава $Fe_{2,05}V_{0,91}Al_{1,04}$, обогащенного алюминием; небольшое различие в содержании железа оказывало лишь незначительное для обнаруженных эффектов влияние. Эксперименты были выполнены в лаборатории полупроводников и полуметаллов Института физики металлов УрО РАН (Екатеринбург) и в Атоминституте Венского технологического университета (Вена). Электросопротивление, магнитосопротивление и холловское сопротивление измерялись в магнитном поле напряженностью H до 100 кЭ в интервале температур T 4,2–80 К стандартным методом постоянного тока.

Полученные экспериментальные данные иллюстрируются рис. 1–3. Температурные зависимости электросопротивления (рис. 1) имеют максимумы, отвечающие температурам Кюри изучаемых сплавов. Не останавливаясь на обсуждении непростой природы самого ферромагнитного упорядочения, обнаруживаем рост тем-

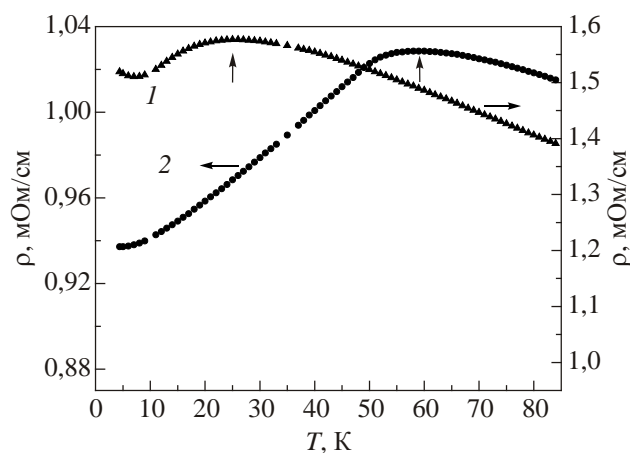


Рис. 1. Зависимость удельного сопротивления от температуры для образца $Fe_{2,1}V_{0,91}Al_{0,99}$ (кривая 1), и образца $Fe_{2,05}V_{0,91}Al_{1,04}$ (кривая 2). Вертикальными стрелками отмечены значения температур максимумов кривых.

пературы Кюри более чем в два раза при малом увеличении содержания алюминия. Столь же интересный результат приведен на рис. 2, демонстрирующем сильное изменение с температурой магнитосопротивления обогащенного алюминием сплава (резкий максимум в точке Кюри) наряду с плавным поведением зависимости исходного сплава. Важная для изучения закономерность обнаружена и при получении данных по аномальному эффекту Холла. Насыщение спонтанной намагниченности в сплаве, немного больше обогащенном алюминием, как оказалось, идет существенно иначе и резче, чем в исходном. Для полной количественной интерпретации представленных результатов требуется достаточно глубокая разработка адекватных представлений об электронной структуре кристаллов стехиометрического состава исследуемых сплавов. При этом накопленный уже значительный объем знаний о данных объектах позволяет считать, что для объяснения упомянутых результатов основное значение имеет существование у

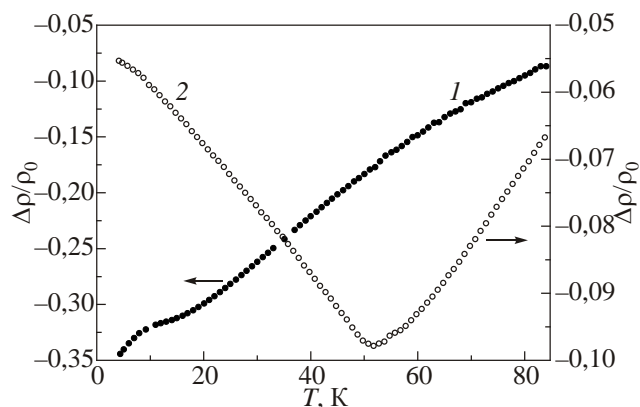


Рис. 2. Зависимость поперечного магнитосопротивления $\Delta\rho/\rho_0$ от температуры в магнитном поле $H = 100$ кЭ для образца $Fe_{2,1}V_{0,91}Al_{0,99}$ (кривая 1) и образца $Fe_{2,05}V_{0,91}Al_{1,04}$ (кривая 2).

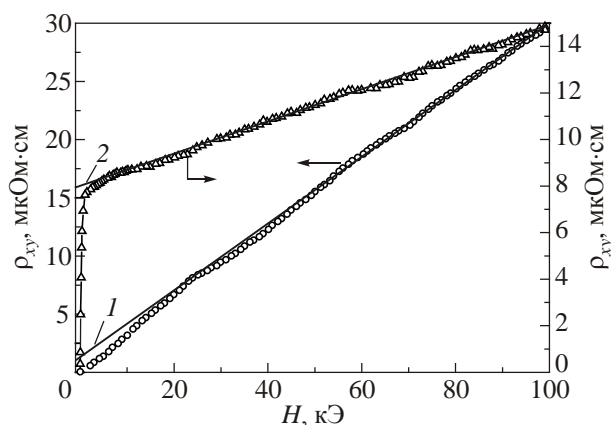


Рис. 3. Зависимость холловского сопротивления ρ_{xy} от магнитного поля для образца $\text{Fe}_{2.1}\text{V}_{0.91}\text{Al}_{0.99}$ (\circ) и образца $\text{Fe}_{2.05}\text{V}_{0.91}\text{Al}_{1.04}$ (\triangle). Прямые 1 и 2 отвечают нормальной составляющей холловского сопротивления.

рассматриваемых кристаллов аномально резких особенностей электронной плотности состояний, заполнение которых дополнительными электронами приводит к усилению проявлений обменного взаимодействия между электронами, значительно влияющего на величину и поведение спонтанной намагниченности. Общим итогом настоящей работы является также и подтверждение вывода о том, что компонент атомов непереходных элементов в сплавах может усиливать те свойства, которые по существу обусловлены переходными элементами.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема «Электрон», № 01201463326) при частичной поддержке РФФИ (проект №14-02-01238) и программы фундаментальных исследований УрО РАН 2015-2017 гг. (проект № 15-17-2-32).

1. Y. Nishino, M. Kato, S. Asano, K. Soda, M. Hayasaki, and U. Mizutani, *Phys. Rev. Lett.* **79**, 1909 (1997).
2. В.И. Окулов, В.Е. Архипов, Т.Е. Говоркова, А.В. Королев, В.В. Марченков, К.А. Окулова, Е.И. Шредер, Х.В. Вебер, *ФНТ* **33**, 907 (2007) [*Low Temp. Phys.* **33**, 692 (2007)].

3. А.Т. Лончаков, В.В. Марченков, В.И. Окулов, К.А. Окулова, *ФНТ* **39**, 109 (2013) [*Low Temp. Phys.* **39**, 84 (2013)].
4. А.Т. Лончаков, В.В. Марченков, В.И. Окулов, К.А. Окулова, Т.Е. Говоркова, С.М. Подгорных, *ФНТ* **41**, 196 (2015) [*Low Temp. Phys.* **41**, 150 (2015)].

Revealing the low-temperature effect of strengthening the magnetism of iron-vanadium-aluminum alloy at small variation of non-transition element in stoichiometric composition

A.T. Lonchakov, V.V. Marchenkov, V.I. Okulov, T.E. Govorkova, K.A. Okulova, S.B. Bobin, V.V. Deryushkin, S.M. Emel'yanova, A.Yu. Usik, and H.W. Weber

Anomalously strong change of ferromagnetic ordering parameters for a small variation of aluminum content was found as a result of low-temperature experimental studies of electrical resistivity and galvanomagnetic properties of iron-vanadium-aluminum magnetic alloys with compositions near a stoichiometric Fe_2VAl . By comparing the temperature and magnetic field dependences of electrical resistivity and Hall effect in $\text{Fe}_{2.1}\text{V}_{0.91}\text{Al}_{0.99}$ and $\text{Fe}_{2.05}\text{V}_{0.91}\text{Al}_{1.04}$ alloys it is shown that a small increase of aluminum content leads to a double rise of the Curie temperature and to a sharp change of temperature dependence of the magnetoresistance and saturation of the spontaneous magnetization.

PACS: 71.20.Be Transition metals and alloys;
72.15.Eb Electrical and thermal conduction in crystalline metals and alloys;
75.20.En Metals and alloys.

Keywords: iron–vanadium–aluminum alloy, galvanomagnetic effects, spin scattering, magnetoresistance, localized magnetic moment, anomalous Hall effect.