

5. Маренкин С. Ф., Пищиков Д. И., Чукичев М. В.//Там же. 1991. 27, № 3. С. 677.
6. Tigner W. J., Fischler A. S., Reese W. E.//Phys. Rev. 1961. 121, N 3. P. 759.
7. Морозова В. А., Пищиков Д. И., Лосева С. М. и др.//ФТП. 1991. 25, № 9. С. 1664.
8. Котосонов Н. В., Артюхов С. П., Зюбина Т. А.//Изв. АН СССР. Неорганические материалы. 1969. 5, № 12. С. 2207.
9. Угай Я. А., Зюбина Т. А.//Там же. 1966. 2, № 1. С. 9.
10. Physics of Thin Films/Ed. G. Hass. V. 1. N. Y.; L. 1963 (Русский перевод: Физика тонких пленок/Ред. Г. Хасс. Т. 1. М., 1967).

Поступила в редакцию
25.12.95

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА, АСТРОНОМИЯ. 1996. № 4

УДК 538.22:539.28

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СВЕРХТОНКИХ ПОЛЕЙ В ПОЛУМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ФЕРРОМАГНЕТИКАХ $\text{NiMnSb}_{1-x}\text{Si}_x$

В. В. Суриков, П. Н. Стеценко, С. Д. Антипов, Г. Е. Горюнов, А. В. Гармашов,
А. Л. Колумбаев

(кафедра общей физики для естественных факультетов)

Методом ядерного спинного эха измерено распределение сверхтонких полей на ядрах ^{55}Mn , ^{121}Sb и ^{123}Sb в новых полуметаллических ферромагнетиках $\text{NiMnSb}_{1-x}\text{Si}_x$. Показано, что локальные магнитные моменты определяются прежде всего локальным атомным окружением данного иона, а не общим составом образца и его усредненными макроскопическими характеристиками.

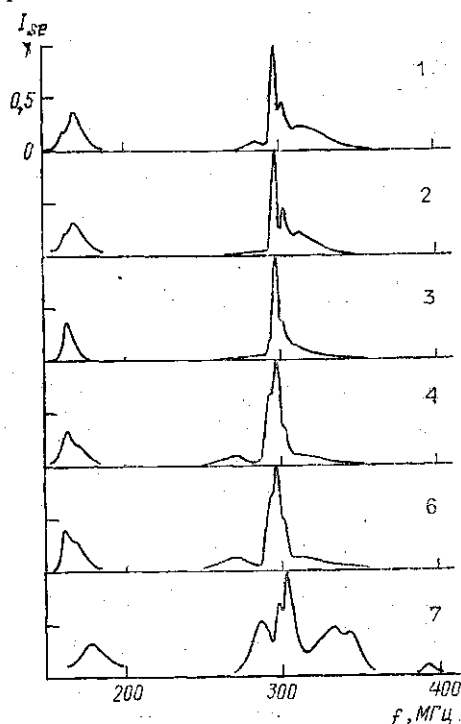
В 1983 г. де Гроотом открыт новый перспективный класс магнитных материалов — полуметаллические ферромагнетики [1], уникальная зонная структура которых весьма привлекает исследователей. Однако информации о синтезе новых полуметаллических материалов и их физических свойствах практически нет. Это естественно, потому что необычная зонная структура материалов требует особой тщательности при приготовлении. Цель данной работы — синтез и комплексное исследование новых полуметаллических ферромагнетиков $\text{NiMnSb}_{1-x}\text{Si}_x$ различными методами. Особое внимание при этом уделено изучению распределения сверхтонких полей на различных ядрах с помощью метода ядерного спинного эха.

Слитки выплавлялись в дуговой печи в атмосфере аргона. Затем они подвергались упорядочивающему отжигу в капсулах из нержавеющей стали, запаянных электронно-лучевой сваркой в вакууме 10^{-3} мм рт. ст. Применялся длительный отжиг, так как это существенно для получения хороших образцов: 11 суток образцы отжигались при 790°C и далее еще 10 суток при 810°C .

Состав образцов и степень их однофазности определялись с помощью рентгеновского микроанализатора JEOL-6000 и сканирующего рентгеновского микроанализатора Hitachi S-800. Фазовый анализ и определение параметра решетки проводились с помощью дифрактометра Дрон-4.03. Параметр решетки при увеличении концентрации кремния уменьшается от $5,940 \text{ \AA}$ ($x=0$) до $5,917 \text{ \AA}$ ($x=0,4$).

Рентгенографические исследования показали, что было получено несколько однофазных образцов при концентрациях кремния до $3 \div 4 \text{ ат. \%}$, а если пользоваться критерием практической однофазности,

используемым де Гроотом в работе [2] (количество второй фазы порядка 5%), то область практической однофазности распространяется до 8÷10 ат. % Si. Именно в этом диапазоне концентраций нами и были проведены дальнейшие исследования.



Спектры ядерного спинного эха при 77 К. I_{sc} — относительная интенсивность спинного эха. Состав образцов приведен в таблице и в тексте

сов, обусловленных ^{121}Sb и ^{123}Sb , в сторону низких частот. Широкие пики в диапазоне 160÷170 МГц соответствуют резонансам на ядрах ^{123}Sb .

Распределение сверхтонких полей на ядрах ^{55}Mn , ^{121}Sb и ^{123}Sb измерено методом ядерного спинного эха при температуре 77 К. Спектры спинного эха приведены на рисунке. Составы образцов указаны в таблице.

Отметим, что спектр образца $\text{Ni}_{32,1}\text{Mn}_{35,9}\text{Sb}_{31,2}\text{Si}_{0,8}$ (№ 7 на рисунке) существенно отличается от других приведенных спектров. Хорошо видно, насколько сильно влияет на распределение сверхтонких полей отклонение всего на 2,6 ат. % от стехиометрического состава по марганцу. Это может быть иллюстрацией того, как тщательно необходимо работать с полуметаллическими ферромагнетиками.

Стабильное положение главного марганцевого пика на частоте 297,2 МГц указывает на неизменность локального магнитного момента Mn в упорядоченной структуре Cl_2 .

Изменения в спектрах проявляются в смещении резонан-

№ образца	Состав образцов	Параметр решетки, Å	μ_{00} (μВ)
1	$\text{Ni}_{32,9}\text{Mn}_{33,5}\text{Sb}_{33,6}$	5,940	$3,6 \pm 0,1$
2	$\text{Ni}_{32,5}\text{Mn}_{33,5}\text{Sb}_{32,1}\text{Si}_{1,9}$	5,938	3,7
3	$\text{Ni}_{32,9}\text{Mn}_{34,0}\text{Sb}_{30}\text{Si}_{3,1}$	5,929	3,5
4	$\text{Ni}_{32,3}\text{Mn}_{34,5}\text{Sb}_{26,8}\text{Si}_{6,9}$	5,931	3,1
5	$\text{Ni}_{33,4}\text{Mn}_{34,6}\text{Sb}_{23,8}\text{Si}_{8,1}$	5,929	3,1
6	$\text{Ni}_{32,8}\text{Mn}_{34,4}\text{Sb}_{28,6}\text{Si}_{0,8}$	5,921	2,9

Резонансы на ядрах ^{121}Sb находятся в высокочастотной части спектра (выше 300 МГц), налагаясь, возможно, на некоторые резонансы, обусловленные ядрами марганца. С ростом концентрации кремния и низкочастотный пик, и центр тяжести высокочастотной части спектра смещаются в сторону меньших частот. Это не оставляет никаких сомнений в уменьшении полей на ядрах сурьмы, что может быть обусловлено постепенным увеличением в системе количества атомов марганца с уменьшенными магнитными моментами. На это указывает, например, постепенное уширение марганцевого пика в сторону низких частот при

увеличении концентрации кремния. Здесь же появляется и небольшой новый пик на частоте 271 МГц. Увеличение доли атомов марганца с уменьшенными магнитными моментами можно объяснить отклонением локального окружения ионов Mn от упорядоченного стехиометрического окружения, соответствующего структуре Si_b . Как показывают наши исследования, аналогично ведут себя сверхтонкие поля и локальные магнитные моменты и в системе $NiMnSb_{1-x}Sn_x$.

Для проверки выводов об изменениях величин магнитных моментов в системе $NiMnSb_{1-x}Si_x$ были проведены измерения магнитных моментов μ_{00} , приходящихся на формульную единицу каждого сплава. Измерения намагниченности исследуемых образцов были выполнены при комнатной температуре в магнитных полях до 15 кЭ на автоматизированном программно-управляемом вибрационном магнитометре, разработанном в проблемной лаборатории магнетизма физического факультета МГУ. Результаты измерений приводятся в таблице.

Как видно из таблицы, средний магнитный момент данных сплавов уменьшается при увеличении концентрации кремния. Можно заключить, что локальные магнитные моменты в полуметаллических ферромагнетиках $NiMnSb_{1-x}Si_x$ зависят в основном от локального атомного окружения данного иона, а не от общего состава образца и его усредненных макроскопических характеристик.

Работа выполнена при финансовой поддержке Международного научного фонда (грант JНТ-100).

ЛИТЕРАТУРА

1. De Groot R. A., Mueller F. M., Engen P. G. van, Buschow K. H. J. // Phys. Rev. Lett. 1983. 50. P. 2024.
2. De Groot R. A., Engen P. G. van, Engelen P. P. J. van, Buschow K. H. J. // J. Magn. and Magn. Mater. 1990. 86. P. 326.

Поступила в редакцию 27.12.95

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1996. № 4

УДК 538.955

О ВОЗМОЖНОСТИ НАБЛЮДЕНИЯ ИНДУЦИРОВАННОГО СУПЕРПАРАМАГНЕТИЗМА

В. И. Николаев, Т. А. Бушина, Ким Ея Чан

(кафедра общей физики)

Обсуждается вопрос о возможности наблюдения суперпарамагнетизма ультрамалых частиц при температурах T выше их точки Кюри T_c («индуцированный суперпарамагнетизм»). Анализ условий опыта по наблюдению этого явления проведен в рамках модели Ланжевена, дополненной теорией молекулярного поля. Как показывают оценочные расчеты, для наблюдения «индуцированного суперпарамагнетизма» требуются сравнительно легко достижимые поля.

В последние годы большое внимание уделяется исследованию свойств суперпарамагнетиков [1, 2]. До сих пор, однако, остается малоизученным вопрос о магнитных свойствах ультрамалых частиц при температурах выше их точки Кюри. Между тем понимание механизмов формирования особых магнитных свойств ультрамалых частиц при температурах T , близких к точке Кюри T_c , может способствовать дальнейшим изысканиям различных практических применений магнитоупорядоченных систем в высокодисперсном состоянии.