

ванного Штарк-эффекта они воздействуют на свое окружение и, таким образом, процесс возбуждения будет развиваться в ансамбле молекул лавинообразно с некоторой скоростью, зависящей от интенсивности возбуждения. В результате через некоторое время весь ансамбль молекул будет охвачен процессом фотоиндуцированного самовоздействия и система может находиться в таком устойчивом состоянии сколь угодно долго до выключения возбуждающего излучения. Наличие в данном молекулярном ансамбле «времени ожидания», в течение которого развивается лавинообразный процесс, позволяет использовать рассмотренные ансамбли молекул в качестве динамических запоминающих устройств. На рис. 3, б приведены зависимости оптической плотности на максимуме полосы поглощения однородного контура от времени после ступенчатого включения возбуждающего света (кривая 1). Как видно из рисунка, «время ожидания» составляет порядка  $12\tau_f$ . Если в течение этого времени на систему воздействовать коротким импульсом света с частотой, соответствующей максимуму поглощения однородного контура, то в результате фотоиндуцированного Штарк-эффекта резко возрастет поглощение излучения на отстроенной частоте (условно «питающего» излучения), что приведет к более раннему по времени выходу оптической плотности на стационарный уровень (см. кривые 2, 3). Если энергия управляющего излучения создает заселенность возбужденного состояния, соответствующую стационарному уровню, то переход в стационарное состояние происходит практически ступенчато, без растянутого во времени переходного режима (кривая 4). В этом случае роль «питающего» излучения заключается в поддержании баланса между возбуждением и стационарным распадом возбужденных состояний; при этом нахождение некоторой доли молекул в возбужденном состоянии поддерживает стационарный уровень поглощения на отстроенной частоте (более высокий, чем в невозбужденной системе). Для «стирания информации» достаточно выключить световой поток на время, равное нескольким  $\tau_f$ , и система готова к восприятию следующего управляющего сигнала.

В рамках анализируемого подхода в качестве «рабочего» параметра, управляемого световым воздействием, может использоваться не только изменение полосы поглощения, но и интенсивность флуоресценции. Можно также предложить варианты реализации, в которых осуществляется воздействие со стороны молекул индуктора не только на узкую полосу поглощения, но и на узкую выжженную щель в уширенной неоднородно полосе, а также на узкополосную флуоресценцию при селективном лазерном возбуждении.

### Список литературы

1. Speiser S., Orenstein M. // Appl. Optics. 1988. V. 27. № 14. P. 2944.
2. Персонов Р. И. // Спектроскопия и динамика возбуждений в конденсированных молекулярных системах. М., 1987.

Поступила в редакцию 14.01.92.

УДК 669.018.5:669.24

Г. В. МАКУТИН, С. В. СУХВАЛО, В. В. ВЛАСОВ,  
Л. И. КОПЮШКО, Д. Л. ХОХОЛКОВ

### ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Рассмотрены особенности температурных изменений электрических свойств пермаллоевых и перминварных сплавов 300÷1000 К. Обнаружены особенности поведения  $\rho = f(T)$  в критических областях температур. На основании рентгенографических, магнитных и термографических исследований при  $T < T_c$  показано, что эти особенности объясняются температурными превращениями, имеющими признаки фазовых переходов первого рода. Природа таких переходов связывается с перестройкой спиновой системы сплавов.

Для выяснения природы магнетизма сплавов, в том числе высоконикелевых, важное значение имеет понимание закономерностей температурного

поведения их свойств. В группу высоконикелевых сплавов входят широко используемые в технике материалы, например, пермаллой, перминвар и др. Знание температурной зависимости их свойств может также способствовать полноценному решению проблемы термообработки материалов.

Отдельные аспекты магнетизма материалов могут быть раскрыты путем учета поведения их немагнитных свойств, в особенности кинетических. Температурная зависимость таких кинетических характеристик, как удельное электросопротивление  $\rho$ , в переходных металлах и их сплавах отличается спецификой, связанной с наличием d-зоны, образованной электронами незаполненной d-оболочки атомов. Плотность состояний этой зоны в зависимости от энергии электронов имеет сложный характер, что затрудняет теоретическое нахождение зависимости  $\rho = f(T)$  и определяет потребность в экспериментальных сведениях о такой зависимости.

С учетом сказанного в настоящем сообщении рассмотрены особенности температурных изменений электрических свойств пермаллоевых и перминварных сплавов с целью выяснения взаимосвязи подобных изменений с магнитным состоянием материала. Для более комплексной оценки температурного поведения этих сплавов были изучены изменения их отдельных магнитных характеристик. В качестве контрольного материала рассмотрен также никель марки Н—О.

### Образцы и методика эксперимента

Измерения удельного сопротивления проводили в интервале температур 300–1000 К. Образцы изготавливали в основном из сплавов, содержащих (вес. %) 80Ni20Fe и 30Co14Fe55,8Ni0,2Zr. Сплавы выплавляли в индукционной высоковакуумной печи. Для выплавки сплавов использовали карбонильное железо марки ПС, кобальт марки К—1—А и никель марки Н—О. Цирконий использовался как раскислитель. После многократной переплавки и перемешивания полученные сплавы подвергали вакуумному гомогенизирующему отжигу при  $T = 1400$  К в течение 72 ч. Компонентный состав определяли рентгеноспектральным анализом.

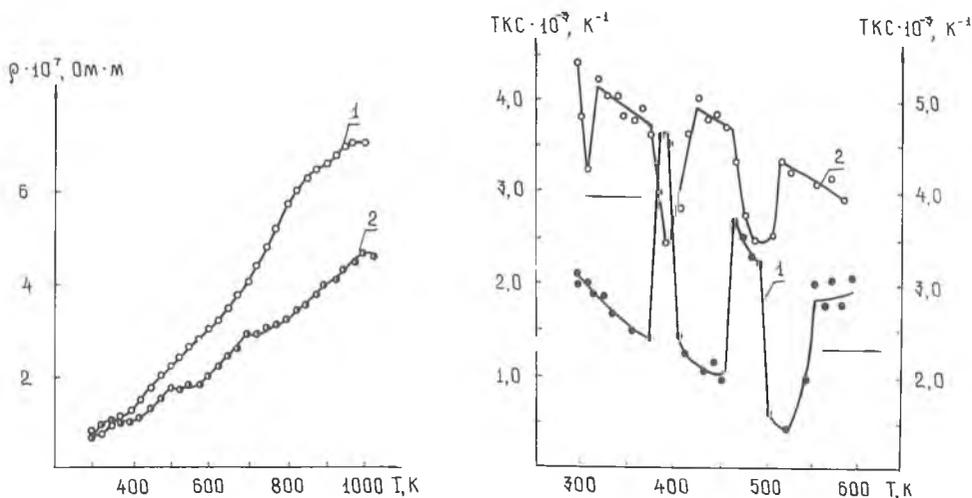


Рис. 1. Зависимость удельной электропроводности сплавов составов (вес. %) 80Ni20Fe(1), 30Co14Fe55,8Ni0,2Zr(2) от температуры

Рис. 2. Зависимость температурного коэффициента сопротивления (TKC) сплавов состава (вес. %) 80Ni20Fe(1) и 30Co14Fe55,8Ni0,2Zr(2) от температуры

Методом электроискровой резки изготавливали образцы размером  $1,5 \times 3 \times 10$  мм, к которым контактной сваркой приваривали проводники. Непосредственно перед измерениями образцы выдерживали в вакуумной печи при  $T = 700$  К в течение 5 ч, затем охлаждали вместе с печью. Электросопротивление измеряли 4-зондовым потенциометрическим методом с погрешностью 1%. Шаг изменения температуры составлял  $\Delta T = 16$  К, точность стабилизации температуры в каждой точке 0,5 К, время выдержки при

заданной температуре 0,4 ч. Измерения магнитных свойств осуществляли на магнитометре с погрешностью 5%.

Выплавку, термообработку и измерения свойств проводили в условиях вакуумизации при давлении не более  $1,3 \cdot 10^{-4}$  Па.

### Результаты измерений и их обсуждение

В соответствии с известными экспериментальными сведениями [1], отличительные особенности зависимостей  $\rho = f(T)$  для переходных металлов состоят в том, что при  $T < T_c$  они имеют аномальный нелинейный ход, в то время как при  $T > T_c$  изменение величины линейно. В точке Кюри (или Нееля  $T_N$ ) наблюдаются резкие минимумы или максимумы температурного коэффициента электросопротивления. Предполагается, что температурный ход электросопротивления сплавов аналогичен рассмотренному для металлов, однако экспериментальных сведений по этому вопросу мало [2].

Нами выявлена следующая картина зависимости  $\rho = f(T)$  для пермалловых и перминварных сплавов. Во всем температурном интервале 300÷1000 К зависимость  $\rho = f(T)$  не является монотонной кривой. Как видно из рис. 1, в указанном диапазоне температур имеется последовательность температурных областей, где зависимость  $\rho(T)$  изменяется по закону  $\Delta\rho = \alpha T$  ( $\alpha$  — коэффициент). Такие линейные участки разделены температурными интервалами, в которых на зависимости  $\rho(T)$  наблюдаются изломы или скачки. Скачки  $\rho(T)$  часто сопровождаются одновременным изменением наклона прямолинейных участков температурной зависимости. При этом области нарушения линейности  $\rho(T)$  в отдельных случаях оказываются достаточно широкими. На рис. 1 основные области с аномалиями  $\rho$  указаны стрелками.

Наличие последовательности критических диапазонов температур с аномальным изменением  $\rho$  проявляется для всех исследованных материалов. Различия в их расположении на шкале температур в зависимости от состава материала не являются резкими. Характерно, что аномалии электросопротивления в области  $T_c$  обладают качественным сходством с аномалиями  $\rho$  в других выявленных критических диапазонах, расположенных при  $T < T_c$ .

Температурным областям с аномальным изменением  $\rho$  соответствуют ярко выраженные аномалии на зависимостях  $\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT} = f(T)$ . Фрагмент температурного поведения  $\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}$  показан на рис. 2.

Как видим, аномалии  $\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}$  в пермаллое и перминваре имеют разные тенденции проявления. Общим, однако, является наличие температурных точек с экстремальным изменением  $\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}$ , которые могут отражать существование критических температур.

При многократных повторных нагревах и охлаждениях образцов отмеченные аномалии и температурные области их проявления в общих чертах сохраняются. Не всегда воспроизводится лишь характер самих аномалий. В связи с этим аналитическая аппроксимация температурного хода  $\rho$  в подобных областях температур становится нецелесообразной.

Во многих областях с аномалиями  $\rho$  наблюдается эффект температурного гистерезиса электрических свойств образцов. Установлено также, что по аналогии с температурными аномалиями свойств реализуются также отжиговые аномалии. Значения энергии активации электросопротивления, определенные нами по результатам температурно-временных изменений  $\rho$  при отжиге, находятся в интервале 0,025÷0,07 эВ. В рассмотренном интервале температур имеет место ступенчатая зависимость  $E_a$  от температуры. Величина  $E_a$  постоянна в тех диапазонах  $T$ , в которых наблюдается линейность зависимости  $\rho(T)$ . В пределах температурных областей с аномалиями электрических свойств  $E_a$  изменяется.

Изложенные факты указывают на то, что температурные эффекты в выделенных областях температур вызваны спонтанно протекающими процессами типа фазовых превращений. Характерным является аномальное изменение постоянной Холла  $R_{H1}$  в областях с нелинейным ходом. Обнаружена, в частности, скачкообразная смена знака  $R_{H1}$  при определенных температурах (рис. 3), что может отражать резкое изменение магнитного

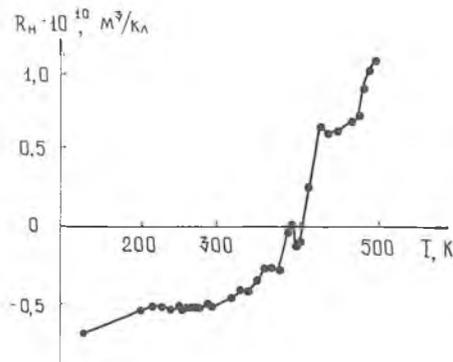
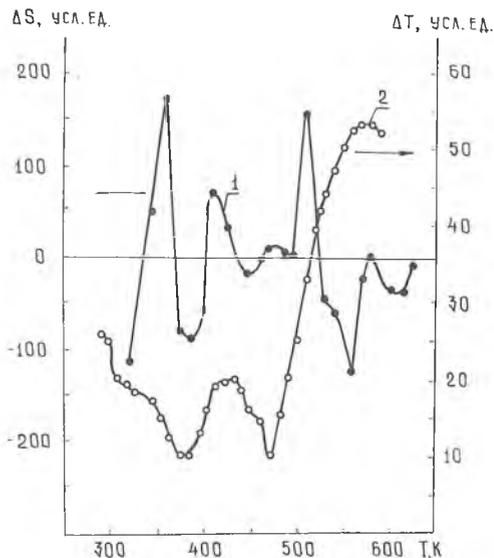


Рис. 3. Зависимость постоянной Холла  $R_H$  сплавов состава (вес. %) 80Ni20Fe от температуры

Рис. 4. Зависимость ДТА сигнала (1) и потерь на вращательный гистерезис (2) сплава состава (вес. %) 80Ni20Fe от температуры



состояния. Нами выполнен стандартный комплекс экспериментов, позволяющих провести первичную идентификацию таких превращений. Так, рентгеноструктурный и рентгенофазовый анализы показали, что во всех случаях выявленные превращения протекают без изменения типа кристаллической структуры и фазового состава, но сопровождаются аномальным изменением параметра постоянной решетки (т. е. удельного объема образца) в критических областях температур. Термографически установлено, что такие превращения сопровождаются также эффектом скрытой теплоты (пример на рис. 4, кривая 2).

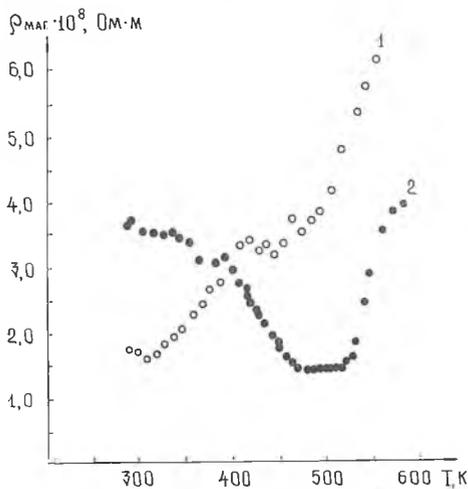


Рис. 5. Зависимость магнитной составляющей электросопротивления сплавов состава (вес. %) 80Ni20Fe (1) и 30Co14Fe-55.8Ni0.2Zr (2) от температуры

Однако параметр атомного порядка может быть и не основным параметром реализующегося при этом превращения. Ведущий параметр фазового превращения в известной мере может быть распознан по интенсивности изменений макросвойств материала в переходной области температур. Изучение температурного изменения магнитных свойств рассмотренных материалов показало, что при  $T < T_c$  наиболее интенсивные аномалии наблюдаются в отношении тех характеристик, которые отражают магнитную анизотропию или ориентацию спинов. Одной из характеристик магнитного материала, отражающих связь с ориентацией спинов, являются потери на вращательный гистерезис  $\Delta S$ . Пример температурного поведения величины

С учетом отмеченного следует констатировать, что, во всяком случае, при  $T < T_c$  для всех материалов обнаруженные температурные превращения проявляют признаки фазовых переходов первого рода. Естественно, что первопричиной обнаруженных превращений является изменение энергетического состояния электронной системы. Поэтому такие превращения могут возникать как при  $T < T_c$ , так и при  $T > T_c$ . Важным, однако, является вопрос, какие макрохарактеристики материала непосредственно отражают эти изменения и являются ведущими параметрами фазового превращения.

В пермаллоевом сплаве превращение в области 700-900 К во многом может быть связано с развитием дальнего атомного порядка, поскольку эта область близка к температуре Курнакова ( $T_k = 778$  К) подобных матери-

$\Delta S$  показан на рис. 4, кривая 1. Видно, что в области превращений наблюдается весьма интенсивное возрастание величины  $\Delta S$ .

Еще одним из доказательств того, что при реализации выявленных фазовых превращений в области  $T < T_c$  изменяются параметры спиновой структуры, могут служить данные по оценке составляющих электросопротивления рассмотренных материалов.

Для чистых металлов суммарная величина  $\rho$  представляется в виде [3]:

$$\rho_{\text{пол}} = \rho_{\text{ост}} + AT^2 + B \left( \frac{T}{\Theta} \right)^3 Y_3 \left( \frac{\Theta}{T} \right) + C \left( \frac{T}{\Theta} \right)^5 Y_5 \left( \frac{\Theta}{T} \right),$$

где  $A, B, C$  — константы,  $\rho_{\text{ост}}$  — остаточное сопротивление, определяемое рассеянием на примесях,  $\Theta$  и  $Y \left( \frac{\Theta}{T} \right)$  — температура и интеграл Дебая. Слагаемое, пропорциональное  $T^2$ , связано с электрон-электронным взаимодействием и дает вклад в электросопротивление лишь при  $T < 10$  К. Слагаемое, пропорциональное  $T^3$ , обусловлено моттовским  $s-d$ -рассеянием, и слагаемое, пропорциональное  $T^5$ , —  $s-s$ -рассеянием электронов на фононах.

В случае сплавов и примесных металлов  $\rho_{ss} \sim T^3$ . При этом невозможно разделить вклады в общее сопротивление рассеянием электронов проводимости на фононах  $s$ - или  $d$ -зоны. В результате  $\rho_{\text{пол}} = \rho_{\text{ост}} + aT^2 + c \left( \frac{T}{\Theta} \right)^3 Y_3 \left( \frac{\Theta}{T} \right)$ , где  $a, c$  — коэффициенты, аналогичные  $A, B, C$ . Величина  $\rho_{\text{ост}}$  определяется экстраполяцией  $\rho_{\text{пол}}$  к  $T = 0$  К. Слагаемое  $\rho_{\text{фон}}$  для области промежуточных температур, пренебрегая членом  $aT^2$ , можно определить из соотношения  $\rho_{\text{фон}} = C \left( \frac{T}{\Theta} \right)^3 Y_3 \left( \frac{\Theta}{T} \right)$ , где параметр  $C$  может быть найден по методике, предложенной в работе [4]. Магнитную составляющую электросопротивления находили из уравнения [1]:  $\rho_{\text{маг}} = \rho_{\text{пол}} - \rho_{\text{фон}} - \rho_{\text{ост}}$ . Как можно видеть из температурной зависимости  $\rho_{\text{маг}}$  (рис. 5), всем переходным областям температур соответствует возрастание  $\rho_{\text{маг}}$ , которое обусловлено рассеянием электронов проводимости на неоднородностях спиновой системы.

Таким образом, имеются основания считать, что последовательно реализующиеся при изменении температуры фазовые превращения протекают с перестройкой спиновой системы за счет возбуждений электронов в  $d$ -зоне.

### Список литературы

1. Вонсовский С. В. Магнетизм. М., 1971. С. 1031.
2. Шматко О. А., Усов Ю. В. Структура и свойства металлов и сплавов. Киев, 1987. С. 206.
3. Мерисов Б. А., Ермолаев А. М., Краснокумский А. В., Хоткевич В. И. // ФИТ. 1982. Т. 8. Вып. 5. С. 546.
4. Лобода В. Б., Проценко И. Е., Смолин М. Д., Яременко А. В. // УФЖ. 1985. Т. 30. № 3. С. 435.

Поступила в редакцию 15.07.91.

УДК 681.3.06

Г. И. ШПАКОВСКИЙ, С. Г. МУЛЯРЧИК, М. Ф. ЮНЕС (Сирия)

### АЛГОРИТМ СИНТАЛ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАЛЛЕЛИЗМА ПРОГРАММ В САПР МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

При переводе САПР микроэлектроники на параллельные ЭВМ возникает сложная задача разработки пакета параллельных алгоритмов, поскольку существующие алгоритмы имеют итерационный, сугубо последовательный характер исполнения [1]. В параллельных персональных ЭВМ (ПП ЭВМ) все алгоритмы оформляются в виде программ на последовательных ЯВУ [2], поэтому оценить количество параллелизма в таких программах можно только с помощью специальных автоматических измерителей, один из которых — СИНТАЛ (синтезирующий алгоритм) — предлагается ниже.

Этапы вычислительного процесса в ПП ЭВМ включают распараллеливание программы и ее параллельное исполнение.

Параллелизм исходной программы может выражаться в разных формах