

ханизмы, микродвигатели и т. п.). Т. о., принципы М. распространяются на всю сферу устройств, функциональное назначение которых допускает миниатюризацию хотя бы в одном из трёх пространственных измерений.

Предполагается, что одна из новых ветвей развития М. пойдёт в направлении копирования процессов в живой клетке, ей присвоены термины «молекулярная электроника» или «биоэлектроника». Достигнутый уровень развития М. сделал возможным постановку исследований и разработку систем искусств. интеллекта.

Деградация микроэлектронных устройств. С термодинамич. точки зрения ИС — неравновесная система, закрытая для массообмена со средой, но открытая энергетически в процессе своего функционирования (см. *Открытая система*). Энергетич. обмен со средой ускоряет процесс релаксации системы к равновесному состоянию. Этот процесс наз. деградацией. Многообразие механизмов деградации породило новую область М., исследующую надёжность микроэлектронных устройств. Осн. особенностью механизмов деградации в М. состоит в том, что они протекают при высоких плотностях тока (св.  $10^6$  А/см<sup>2</sup>), высоких напряжённых электрич. полях (св.  $10^6$  В/см) и поверхностных плотностях мощности ( $10^5$  Вт/см<sup>2</sup>). В таких условиях становятся неустойчивыми не только распределения тока и поля, но и атомная структура кристалла. Некоторые механизмы деградации могут быть использованы, напр. разрушение или перестройка внутрисхемных связей и переброс «пакетов» носителей зарядов в глубокие ловушки.

Роль микроэлектроники в науке и технике. М. образует фундамент совр. средств автоматизации, связи, информат.-вычислит. техники. Парк последней в мире к сер. 80-х гг. достиг ок.  $10^8$  ЭВМ с производительностью от  $10^5$  до  $10^8$ , а в отд. ЭВМ до  $10^{10}$  операций в 1с. Для физики особенно важны 3 класса проблем, решаемых с помощью ЭВМ: 1) автоматизация эксперимента, включая его планирование, управление, анализ и обработку результатов (в осн. с помощью профессиональных персональных ЭВМ); 2) численное решение на супер-ЭВМ сложных задач, не разрешимых аналитически (квантовомеханических, задачи Изинга с учётом границ кристалла и т. д.); 3) моделирование многочастичных систем и сплошных сред на многопроцессорных ЭВМ (до  $6,5 \cdot 10^4$  процессоров; проектируются — до  $10^6$ ); при этом организация внутр. информат. обмена топологически подобна организации физ. связей в моделируемых объектах.

М. стала источником новых идей и методов в физике твёрдого тела и материаловедении. В связи с задачами М. созданы, напр., устройства с управляемыми электронными и ионными пучками диаметром в неск. атомов, ионные источники (от протонов до тяжёлых ионов) широкого диапазона энергий (с диаметром пучка, близким к размерам отд. ионов), аппарата для выращивания монокристаллов и многослойных структур, где толщина, состав и строение каждого слоя контролируются с точностью до параметра решётки (см. *Гетероструктура, Эпитаксия*), и т. д. Созданы новые *пьезоэлектрические материалы*, феррогранаты, материалы с высокой чувствительностью к действию света, рентг. излучения, электронных и ионных пучков и т. д. Одно из достижений микроэлектронного материаловедения — *сверхрешётки* на основе множества чередующихся сверхтонких слоёв полупроводников типа АIII — BV.

Лит.: Новиков В. В., Теоретические основы микроэлектроники, М., 1972; Секеи К., Томсет М., Приборы с переносом заряда, пер. с англ., М., 1978; Чистяков Ю. Д., Райнова Ю. П., Физико-химические основы технологии микроэлектроники, М., 1979; Мейндл Д. ж., Элементы микроэлектронных схем, пер. с англ., «УФН», 1979, т. 127, с. 297.

В. Ф. Дорфман.

**МИКТОМАГНЕТИЗМ** (магнетизм кластерных стёкол) — совокупность магн. свойств нек-рых неупорядоченных твёрдых растворов (в предел. концентрац. интервалах), обусловленная наличием случайных кон-

курирующих (знакопеременных) обменных взаимодействий между локализованными магн. моментами и неоднородностью распределения концентрации компонентов раствора (различиями в ближнем порядке атомов). Типичными представителями миктомагнетиков (ММ) являются концентрыров. растворы 3d-переходных элементов (Cr, Mn, Fe, Co) в матрицах благородных металлов (Ag, Au) и меди, содержащих включения хм. кластеров этих же магн. атомов.

ММ присущи след. магн. свойства: а) появление при нек-рой темп-ре  $T_f$  (т. н. темп-ре замораживания) излома на кривой зависимости динамич. магн. восприимчивости от темп-ры (рис. 1) или статич.

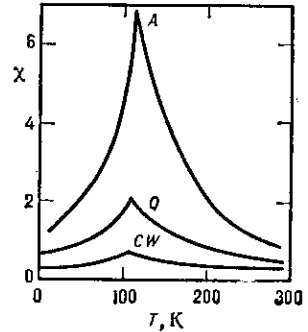


Рис. 1. Температурная зависимость динамической магнитной восприимчивости сплава  $Cu_{74}Mn_{26}$  (в произвольных единицах), измеренная в переменном поле с частотой 200 Гц и средневластным значением напряжённости 2,3 Э, для состаренного при длительном низкотемпературном отжиге (А), закалённого (Q) и пластически деформированного (CW) образцов [3].

восприимчивости в предельно малых магн. полях, причём положение  $T_f$  для динамич. восприимчивости зависит от частоты приложенного перем. магн. поля. Существование различающихся по размеру магн. кластеров приводит к «размытию» темп-ры  $T_f$ ; б) отсутствие у всей системы дальнего ферромагн. порядка ниже  $T_f$  (при охлаждении от высоких темп-р в отсутствие внеш. магн. поля) и др. типов дальнего магн. порядка — антиферромагн., геликоидального и т. д.; в) плавная температурная зависимость теплоёмкости вблизи  $T_f$ ; г) влияние термомагн. обработки, т. е. зависимость магн. свойств от взаимного порядка включения внеш. магн. поля и изменения темп-ры. Это проявляется, напр., в отсутствие спонтанной намагниченности в случае охлаждения образца от высоких темп-р (когда все магн. моменты ориентированы хаотично) до темп-р ниже  $T_f$  в нулевом магн. поле (кривая O на рис. 2) и возникновении остаточной однонаправленной намагниченности в случае охлаждения образца в конечном магн. поле (кривая 10 на рис. 2), в зависимости величины остаточной намагниченности от времени и т. д.; д) сильная зависимость магн. свойств от режима металлургич. обработки образца (прокат, отжиг и т. п.).

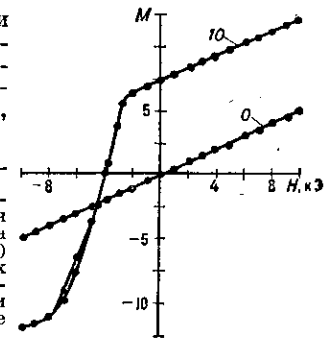


Рис. 2. Зависимость намагниченности M от магнитного поля для миктомагнитного сплава Cu—Mn (24,1 атомных % Mn) после охлаждения от высоких температур до 1,8 К в нулевом магнитном поле (O) и во внешнем магнитном поле 10 кЭ (10) [1].

Сочетание таких черт, как наличие остаточной намагниченности ниже  $T_f$  после выключения внеш. магн. поля (что типично для ферромагнетиков) и появление излома в магн. восприимчивости при определ. условиях (что типично для антиферромагнетиков), послужило основанием для введения термина «миктомагнетизм», означающего смешанный магнетизм.

При низких темп-рах и отсутствии внеш. магн. поля магн. структура ММ представляет собой матрицу слу-