

Лекция № 4

Магнитные, оптические и тепловые свойства

Магнитные свойства материалов проявляются их характерным взаимодействием с магнитным полем. Элементарными носителями магнетизма в твердом теле являются движущиеся по замкнутой траектории отрицательно заряженные электроны атомов или ионов. Напомним, что в зависимости от особенностей возникновения и взаимодействия магнитных моментов атомов или ионов все материалы разделяют на диа-, пара-, ферро-, антиферро- и ферримагнетики (табл. 1.4). Во всех случаях, кроме диамагнетиков, атомы или ионы обладают магнитными моментами m_i , которые в результате взаимодействия упорядочиваются определенным образом и определяют величину магнитного момента данного твердого тела M . Магнетики 3, 4, 5 (табл. 1.4) относятся к магнитоупорядоченным материалам. Магнитное упорядочение разрушается в ферро- и ферримагнетиках при температуре Кюри T_C , а в антиферромагнетиках – при температуре Нееля T_N .

Таблица 1.4

Характеристика основных видов магнетиков

Вид магнетика	Характеристика магнитного состояния	Упорядочение магнитных моментов	Магнитная восприимчивость, χ
1. Диамагнетики	$m_i = 0, M = 0$		-10^{-6}
2. Парамагнетики	$m_i \neq 0, M = 0$		$10^{-4} \div 10^{-6}$
3. Ферромагнетики	$m_i \neq 0, M \neq 0, T_C$		$1 \div 10^6$
4. Антиферромагнетики	$m_i \neq 0, M = 0, T_N$		$10^{-2} \div 10^{-5}$
5. Ферримагнетики	$m_i \neq 0, M \neq 0, T_C$		$1 \div 10^6$

Сильным видом магнетизма является ферро- и ферримагнетизм. Эти виды магнетизма наблюдаются в материалах со спонтанной намагниченностью, которая связана с наличием неспаренных

электронов, при определенном соотношении между межатомным расстоянием a и диаметром орбитали с неспаренным электроном d , а именно при условии $a/d = 2-5$. Если указанное соотношение меньше 2, то наблюдается антиферромагнетизм, то есть компенсация магнитных моментов, если соотношение больше 5, то возникает парамагнетизм.

Особенности магнитного поведения материала отражают такие зависимости как петля магнитного гистерезиса и температурная зависимость магнитной проницаемости μ (рис. 1.8). Первая

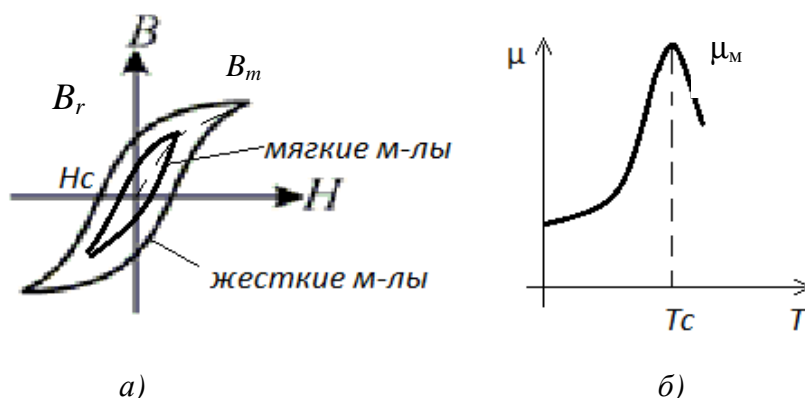


Рис. 1.8. Общий вид петли магнитного гистерезиса (а) и температурной зависимости магнитной проницаемости (б)

зависимость магнитной индукции B от напряженности магнитного поля H позволяет определить такие важные характеристики магнетика, как коэрцитивная сила H_c , остаточная и максимальная индукция B_r и B_m . Температурная зависимость магнитной проницаемости μ указывает на максимальное значение μ_m и величину T_c .

Важное значение для твердых материалов имеют также тепловые и оптические свойства.

В учебниках по материаловедению тепловые или теплофизические свойства редко рассматриваются отдельно. Однако для специалистов технологического профиля весьма важными характеристиками твердотельных материалов являются такие параметры, как *температура плавления*, *теплоемкость* c (Дж/моль·К или Дж/кг·К), *коэффициент теплопроводности* λ (Вт/м·К). Температура плавления определяется энергией связи в кристаллической решетке, а также особенностями макроструктурного

состояния материала. Так, в наноматериалах с уменьшением размера наночастиц температура плавления уменьшается. Теплоемкость материала важна, в том числе, при разработке технологических условий операций, связанных с термообработкой, которая широко применяется при производстве электронных устройств, как в рамках интегральной планарной технологии, так и в рамках керамической и других технологий. Величина теплопроводности тесно связана с электропроводностью. Различают электронный (характерен для проводников) и фононный (характерен для диэлектриков) механизм теплопроводности, который значительно влияет на значение данного показателя. Так, для металлов характерны значения до 400 Вт/м·К, для полупроводников – менее 100 Вт/м·К, для диэлектриков – до 0,001 Вт/м·К.

Кроме того, с термическим воздействием на материал связан целый ряд температурных коэффициентов, в частности, *температурный коэффициент электросопротивления* и *температурный коэффициент линейного расширения*. Эти относительные показатели, равные отношению изменению соответствующей величины при изменении температуры на 1 градус (в данном температурном интервале) измеряются в K^{-1} .

Оптические свойства материалов охватывают многие эффекты взаимодействия твердого тела со светом, то есть электромагнитным излучением оптического диапазона (длина волны от 10^5 до 0,01 мкм, в том числе видимый поддиапазон – от 770 до 390 нм). Эти эффекты изучаются в рамках дисциплин «Физика» и «Физическая электроника и электронные приборы». Напомним здесь, что особенности взаимодействия данного материала со светом во многом определяются его зонной структурой, например, длина волны излучения полупроводникового лазера зависит от *ширины запрещенной зоны* полупроводника, который используется в качестве активного слоя лазерной структуры. Среди наиболее важных оптических свойств различных материалов электронной техники можно отметить *коэффициенты поглощения α* (не путать с оптической плотностью D) и *отражения R* , *показатель преломления n* . При анализе оптических свойств материала следует учитывать, что все показатели оптических эффектов характеризуются определенной *спектральной зависимостью*, то есть зависимостью целевого сигнала, например, фотопроводимости, от *длины волны* падающего света.

2. МАТЕРИАЛЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Устоявшийся термин «*материалы электронной техники*» подразумевает совокупность материалов, которые находят применение в разнообразных электронных устройствах в качестве функциональных или вспомогательных компонентов. Все материалы электронной техники в зависимости от особенностей электромагнитных свойств и соответствующих областей использования можно разделить на 4 основные группы (рис. 2.1):

- 1) *проводники;*
- 2) *полупроводники;*
- 3) *диэлектрики;*
- 4) *магнетики.*

Материалы первых трех групп отличаются особенностями процессов электропереноса, то есть особенностями взаимодействия тела с электрическим полем. При этом *проводники* обладают высокой электропроводностью, которая реализуется по *безактивационному механизму*. *Полупроводники* характеризуются сильной зависимостью электропроводности от внешних воздействий (температура, давление, легирование и другие факторы), что связано с *активационным механизмом* электропроводимости. *Диэлектрики* характеризуются тем, что не проводят электрический ток в широком диапазоне варьирования внешних условий.

Условный количественный уровень удельной электропроводности для различных с точки зрения электрических свойств групп материалов при комнатной температуре составляет:

металлы $> 10^4$ См/см, или 10^6 См/м;

полупроводники $10^4 \div 10^{-10}$ См/см, или $10^6 \div 10^{-8}$ См/м;

диэлектрики $< 10^{-10}$ См/см, или 10^{-8} См/м.

В четвертой группе объединены материалы, характеризующиеся специфическими эффектами взаимодействия тела с магнитным полем, которые используются в соответствующих электронных устройствах. Иногда, наряду с указанными основными группами, отдельно выделяют группу *специальных материалов*, к которым относят материалы для электровакуумных приборов, лазерные, жидкокристаллические и другие материалы для электронных устройств.

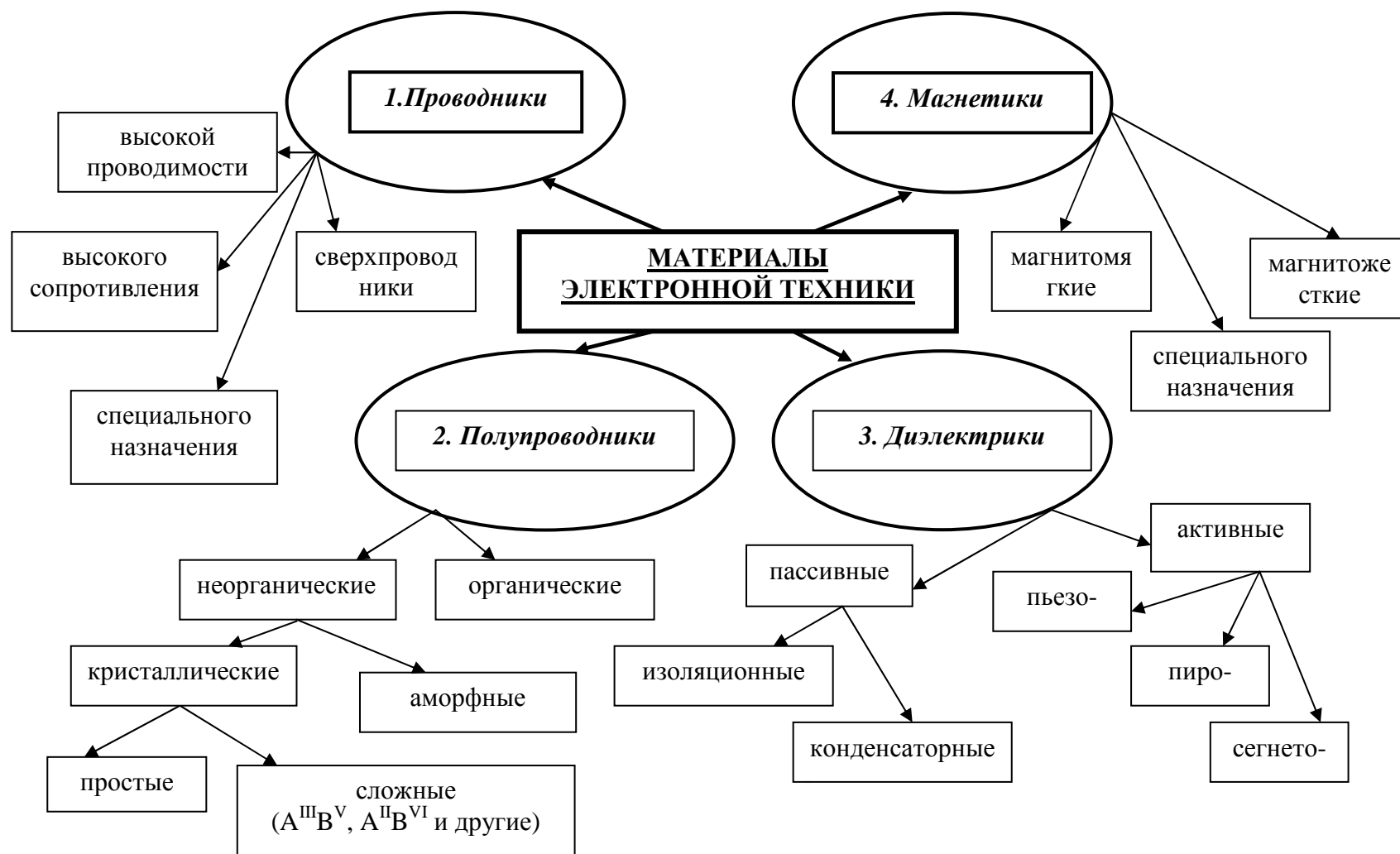


Рис. 2.1. Классификация материалов электронной техники

