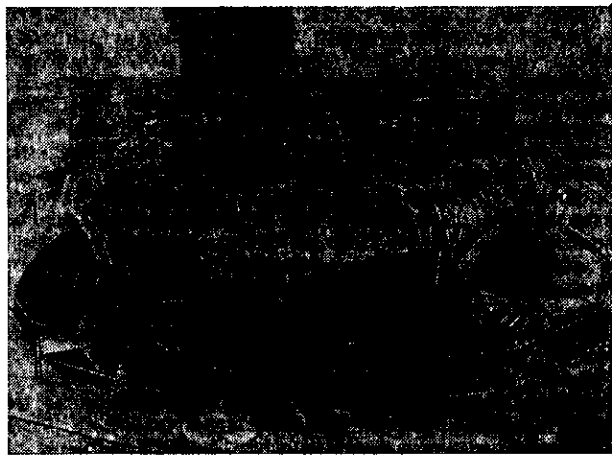


обязательное осуществление хорошего теплообмена в обмотках, где возмущения ограничены, позволяет достигать в них высоких ср. плотностей тока ($2-5 \cdot 10^8$ А/м²). Однако обычно эти значения заметно меньше критич. плотности тока в сверхпроводнике. Выбираемая при проектировании С. м. ср. плотность тока зависит от значений запасённой в обмотке энергии, требований к надёжности С. м., а также от макс. индукции в обмотке. В С. м., рассчитываемых на получение



Внешний вид сверхпроводящего магнита установки «Токамак Т-15» Института атомной энергии имени И. В. Курчатова (Москва, 1988).

сильных магн. полей, при к-рых плотность тока в проводе ограничивается макс. значением индукции в обмотке, ср. плотность тока можно повысить за счёт применения проводов разных сечений (большого в области с высокой индукцией и меньшего в областях с низкой индукцией). Такая оптимизация сечения проводов обмотки позволяет увеличить ср. плотность тока в неск. раз по сравнению с локальной плотностью тока в области макс. индукции.

С. м. нашли широкое применение в науч. приборостроении. Сверхпроводящие соленоиды с индукцией до 15—16 Тл используются для исследований в физике твёрдого тела и для испытаний сверхпроводящих материалов. Для ЯМР-спектрометров используют высокостабильные С. м. с короткозамкнутой обмоткой и характерным временем изменения магн. поля до 10^{10} с. С. м. в физике высоких энергий служат в качестве отклоняющих, фокусирующих и анализирующих магнитов (см. *Детекторы*), напр.: ускоритель с энергией протонов до 0,8 ТэВ в Лаборатории им. Ферми (США); сооружаемый в пос. Протвино под Москвой ускорительно-накопит. комплекс с энергией протонов до 3—5 ТэВ; пузырьковая камера объёмом 33,5 м³, в С. м. к-рой запасена энергия 800 МДж (ЦЕРН, Швейцария). Особо крупные С. м. применяют в физике плазмы и в прототипах термоядерных реакторов. Введённая в 1989 в СССР (Ин-т атомной энергии им. И. В. Курчатова) установка «Токамак Т-15» имеет тороидальный С. м. с запасаемой энергией 0,5—1 ГДж (рис.). ЯМР-томографы с С. м. используют в медицине.

Существует много идей по применению С. м. в народном хозяйстве: сверхпроводящие обмотки возбуждения электр. машин и МГД-генераторов, поезда на магн. подушке, энергетич. накопители, магн. сепараторы для обогащения слобмагн. руд. Однако внедрение низкотемпературных С. м. встречает большие трудности. Освоение высокотемпературной сверхпроводимости должно снять многие техн. трудности по применению С. м.

Лит.: Сверхпроводящие соленоиды. [Сб. ст.], пер. с англ., М., 1965; Техническая сверхпроводимость в электроэнергетике и электротехнике. Сб., М., 1982; Уилсон М., Сверхпроводя-

щие магниты, пер. с англ., М., 1985; Collings E. W., Applied superconductivity, metallurgy and physics of titanium alloys, v. 1—2, N. Y.—L., 1986. Е. Ю. Клименко.

СВЕРХРЕФРАКЦИЯ — явление инверсии высотного хода приведённого (с учётом сферичности земной поверхности) показателя преломления для радиоволн, распространяющихся над поверхностью Земли (см. также *Рефракция радиоволн*). Приводит к образованию тропосферного волновода для УКВ и к существ. расширению радиогоризонта.

Лит.: Фок В. А., Проблемы дифракции и распространения электромагнитных волн, М., 1970; Кравцов Ю. А., Фейзулин З. И., Виноградов А. Г., Прохождение радиоволн через атмосферу Земли, М., 1983. А. В. Попов.

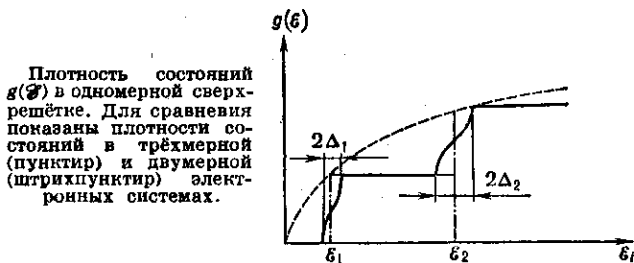
СВЕРХРЕШЁТКА — твердотельная периодич. структура, в к-рой на носители заряда (электроны), помимо обычного потенциала кристаллич. решётки (см. *Внутрикристаллическое поле*), действует дополнит. потенциал. Как правило, это одномерный потенциал $V(r)$ с периодом d , меньшим длины свободного пробега электронов, но значительно большим периода a осн. решётки (от нескольких нм до десятков нм). Наиб. интенсивно исследуются полупроводниковые С., но наряду с ними возможны металл. и магн. С. Потенциал $V(r)$ обычно создаётся искусственно путём чередования тонких полупроводниковых слоёв, отличающихся по типу легирования и (или) хим. составу (композиционные С., *гетероструктуры*). В последнем случае С. можно рассматривать как периодич. систему квантовых ям, разделённых сравнительно узкими барьерными слоями с заметной туннельной прозрачностью для носителей заряда (волновые ф-ции электронов перекрываются).

Если длина свободного пробега носителей существенно превосходит период потенциала $V(r)$, то наличие последнего видоизменяет энергетич. спектр электронов и дырок. Дополнит. периодичность вдоль одной из осей (z), наз. о сью С., приводит к тому, что компонента энергетич. спектра, связанная с движением вдоль этой оси, представляет систему узких полос — m и n и z о н. В перпендикулярной плоскости носители ведут себя как свободные частицы с соответствующей эфф. массой m . Полностью энергетич. спектр носителей заряда в С. может быть записан в виде

$$\epsilon = \epsilon_i + \Delta_i \cos(p_z d / \hbar) + (p_x^2 + p_y^2) / 2m,$$

где i — номер минизоны, Δ_i — её ширина.

На рис. показан вид плотности состояний $g(\epsilon)$, соответствующей такому спектру. Значения Δ_i и ϵ_i (определяющей положение минизоны) зависят от амплитуды и формы $V(z)$. С ростом амплитуды $V(z)$ и её периода d ширина минизоны Δ_i уменьшается. При узких минизонах ($\Delta_i \ll kT$) волновые ф-ции электронов



Плотность состояний $g(\epsilon)$ в одномерной сверхрешётке. Для сравнения показаны плотности состояний в трёхмерной (пунктир) и двумерной (штрихпунктир) электронных системах.

вдоль оси z перекрываются незначительно (прозрачность барьеров мала) и электронный спектр состоит из дискретных уровней (уширенных рассеянием). Носители заряда в С. локализованы в ямах потенциала $V(z)$, и $g(\epsilon)$ имеет вид ступеньки. Электронный газ