

С. ведёт себя как двумерный. Напротив, при $\Delta_i \gg kT$ свойства С. сходны со свойствами трёхмерного полупроводника.

Для С. характерна резкая анизотропия важнейших электронных свойств, в первую очередь кинетич. коэффициентов и внутризонных оптич. характеристик, где полосы интенсивного межзонного поглощения существуют лишь для света, поляризованного вдоль оси С. Последнее обстоятельство позволяет использовать С. в качестве фильтров и поляризаторов ИК-излучения. Эффекты межзонного поглощения находят применение в ИК-фосфоресцирующих с диапазоном спектральной чувствительности, зависящим от параметров потенциала $V(r)$.

Из-за малой ширины минизон нелинейные эффекты в проводимости вдоль оси С. проявляются при значительно меньших напряжённостих электр. поля, чем в однородных кристаллах. Это позволяет использовать С. для нелинейного преобразования СВЧ-сигналов (генерация высших гармоник и комбинац. частот, самовозбуждения, прозрачность и др.). В пост. электр. поле, параллельном оси С., вольт-амперная характеристика (ВАХ) имеет падающие N -образные участки. Благодаря их наличию С. можно использовать в качестве генератора и усилителя эл.-магн. колебаний, частота к-рых может перестраиваться в широких пределах изменением электр. поля. Сверхрешёточные гетероструктуры находят применение также в лавинных фотодах. Благодаря различию в разрывах зоны проводимости и валентной зоны на гетерогранице, коэффициенты умножения электронов и дырок могут резко различаться, что способствует снижению шумов при лавинном умножении.

Интерес представляют также т. н. *nipi*-сверхрешётки — химически однородные полупроводники с чередующимися n - и p -слоями, напр. в n -GaAs- i - p -GaAs — p -GaAs. В них амплитуда потенциала $V(r)$, определяющая эфф. ширину запрещённой зоны, спектры фоточувствительности и люминесценции, а также ряд др. свойств могут меняться в широких пределах под влиянием внеш. подсветки или управляющего напряжения между n - и p -слоями.

Для изготовления С. на основе гетероструктур чаще всего используется система GaAs- $Al_xGa_{1-x}As$ с хорошо согласующимися постоянными решётки. Однако последнее требование не является обязательным, существуют т. н. и a p r j e n y e $S.$, где рассогласование решёток ликвидируется за счёт внутр. напряжений в слоях. Указанные напряжения, величина к-рых зависят от толщины слоёв, могут заметно изменять параметры энергетич. спектра С. (напр., ширину запрещённой зоны). Это открывает дополнит. возможность управления спектром фоточувствительности и нек-рыми др. свойствами. Важнейшие материалы для изготовления напряжённых С. — твёрдые растворы Ge_xSi_{1-x} , $GaAs_xP_{1-x}$, $In_xGa_{1-x}As$ и др. Для приёмников дальнего ИК-излучения используются С. в системе CdTe — HgTe, успешно заменяющие однородные твёрдые растворы в той же системе. Осн. методом выращивания как гетероструктурных, так и *nipi*-С. служит молекулярно-лучевая эпитаксия.

Возможны также плоские С., к-рые возникают, если в двумерном электронном слое (напр., в *МДП-структуре*) периодически промодулировать плотность поверхностного заряда. В качестве С. для двумерных электронов может также использоваться поверхность с высокими кристаллографич. индексами (ориентация С.). Наряду с такими статическими С. возможны также динамические С., создаваемые периодич. деформацией образца в поле мощной УЗ-волны или стоячей световой волны.

Помимо искусственных С., существуют естественные С. в виде политипных полупроводниковых соединений, напр. SiC, слоистых полупроводников типа $A^III B^V$

(напр., GaSe), дихалькогенидов переходных металлов (напр., MoS_2 , см. *Сверхструктура*).

Лит.: Шяк А. Я., Сверхрешетки — периодические полупроводниковые структуры. (Обзор), «ФТП», 1974, т. 8, в. 10, с. 1841; Osborn G. C., Strained-layer superlattices from lattice mismatched materials, «J. Appl. Phys.», 1982, в. 53, р. 1586; Силин А. П., Полупроводниковые сверхрешетки, «УФН», 1985, т. 147, в. 3, с. 485; Васс Ф. Г., Булгаков А. А., Теремов А. П., Высокочастотные свойства полупроводников со сверхрешетками, М., 1989; Херман М., Полупроводниковые сверхрешетки, пер. с англ., М., 1989; Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры, пер. с англ., М., 1989. А. Я. Шяк.

СВЕРХСВЕТОВАЯ СКОРОСТЬ — скорость, превышающая скорость света. Согласно *относительности теории*, передача любых сигналов и движение материальных тел не может происходить со скоростью, большей скорости света в вакууме c . Однако всякий колебат. процесс характеризуется двумя разл. скоростями распространения: групповой скоростью $u_{гр} = \partial\omega/\partial k$ и фазовой скоростью $u_{фаз} = \omega/k$, где ω и k — частота и волновой вектор волны. $u_{гр}$ определяет скорость переноса энергии группой волн с близкими частотами. Поэтому в соответствии с принципом относительности $u_{гр}$ любого колебат. процесса не может превышать c . Напротив, $u_{фаз}$, к-рая характеризует скорость распространения фазы каждой монохроматич. составляющей этой группы волн, не связана с переносом энергии в волне. Поэтому она может принимать любые значения, в частности и значения $> c$. В последнем случае о ней говорят как о С. с.

Простейший пример С. с. — фазовая скорость распространения эл.-магн. волн в волноводах. Действительно, эл.-магн. волна частоты ω распространяется вдоль оси волновода по закону $\exp[i(k_z z - \omega t)]$, где k_z — проекция волнового вектора k на ось волновода z . Волновой вектор k связан с частотой ω соотношением $k^2 = \omega^2/c^2$, где $k^2 = k_z^2 + k_{\perp}^2$, а k_{\perp} — проекция волнового вектора k на поперечное сечение волновода $z = \text{const}$. Тогда $u_{фаз}$ волны вдоль оси волновода

$$u_{фаз} = \omega/k_z = c / \sqrt{1 - c^2 k_{\perp}^2 / \omega^2}$$

будет больше c , а

$$u_{гр} = \partial\omega/\partial k_z = c \sqrt{1 - c^2 k_{\perp}^2 / \omega^2}$$

меньше c .

Приведём ещё один пример существования С. с. Если вращать электронный пучок с помощью соответствующей электронной пушки вокруг нек-рой оси с угл. скоростью Ω , то линейная скорость пятна от пучка электронов $u = \Omega R$ на достаточно больших расстояниях R от оси может стать больше скорости света. Однако перемещение электронного пятна от пушки по окружности радиуса R_0 со скоростью $u = \Omega R_0 > c$ эквивалентно перемещению в пространстве фазы пучка. Энергия пучка при этом переносится в радиальном направлении и скорость переноса не может стать больше c .

При распространении сигнала в среде с показателем преломления n волновой вектор k эл.-магн. волны и её частота удовлетворяют соотношению $k^2 = (\omega^2/c^2)n^2$. В этом случае $u_{фаз} = c/n$. Для среды с $n < 1$ $u_{фаз} > c$. Пример такой среды — полностью ионизованная плазма, у к-рой $n^2 = 1 - 4\pi Ne^2/m\omega^2$, где e и m — заряд и масса электрона, а N — плотность электронов в плазме. В среде с $n > 1$ $u_{фаз} = c/n < c$. Однако в этом случае возможно реальное движение материальных частиц со скоростью v , большей скорости света в среде (т. е. $v > c/n$). Движение заряд. частиц с такой скоростью ($v > c/n$, но $v < c$) приводит к возникновению *Черенкова — Вавилова излучения*.

Лит.: Вайнштейн Л. А., Электромагнитные волны, 2 изд., М., 1988; Гинзбург В. Л., Теоретическая физика и астрофизика, 3 изд., М., 1987; Болотовский Б. М., Выков В. П., Излучение при сверхсветовом движении зарядов, «УФН», 1990, т. 160, в. 6, с. 141. С. Н. Столяров.