

велика по сравнению с τ_e^{-1} , то ф-ция распределения Г. э. по энергии с точностью до малых величин порядка отношения τ_{ee}/τ_e имеет вид равновесной ф-ции распределения с нек-рой темп-рой $T_e(E)$, к-рую наз. э. л. к-троной темп-рой ($T_e > T$). Её величина определяется равенством джоулевой мощности и мощности, передаваемой от Г. э. фононам.

С увеличением электрич. поля растёт как скорость направленного движения (дрейфа) Г. э. v_d , так и скорость их хаотич. теплового движения v_r . При малой неупругости рассеяния на фононах скорость v_r остаётся большой по сравнению с v_d даже в сильных полях, что позволяет найти функцию распределения Г. э. по энергии в аналитич. виде и зависимость $\langle \mathcal{E} \rangle$ от E . При большой же неупругости v_r и v_d в сильных полях — величины одного порядка и аналитич. решение получить не удаётся.

Отклонения от закона Ома. Основной эффект, в к-ром проявляется разогрев носителей заряда в полупроводниках с ростом электрич. поля, — изменение электропроводности и отклонение вольт-амперной характеристики (ВАХ) полупроводников от линейной, т. е. от

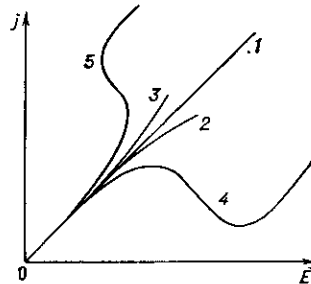


Рис. 2. Различные виды вольт-амперных характеристик полупроводников в сильных электрических полях: 1 — линейная (омическая); 2 — сублинейная; 3 — суперлинейная; 4 — N-образная; 5 — S-образная.

закона Ома (рис. 2). Если электропроводность с ростом поля увеличивается, то ВАХ наз. суперлинейной, если же падает, — сублинейной.

Электропроводность может изменяться с полем из-за зависимости подвижности Г. э. и (или) их концентрации от поля. Эффективная подвижность изменяется из-за того, что время релаксации Г. э., как правило, зависит от энергии электронов, к-рая обычно растёт с ростом электрич. поля. При рассеянии Г. э. на заряд. примесях подвижность увеличивается с полем, а при их рассеянии на фононах — падает. Кроме того, Г. э., приобретая достаточно большую энергию, переходят в более высокие долины зоны проводимости (см. *Многодолинные полупроводники*), в к-рых их подвижность меньше (механизм Ридли — Уоткинса — Хилсама). Это имеет место в GaAs и InP *n*-типа и др. полупроводниках в сильных полях.

Концентрация носителей заряда в электрич. поле изменяется из-за ударной генерации электронно-дырочных пар или ударной ионизации примесных атомов, а также из-за изменения скорости рекомбинации носителей заряда или скорости их захвата примесными центрами. Обычно захват электронов происходит положит. ионами. При этом скорость захвата падает с ростом электрич. поля (разогрева) и концентрация электронов проводимости растёт. Если же примесные центры заряжены отрицательно, то электрон, чтобы оказаться захваченным, должен преодолеть энергетич. барьер. Поэтому с ростом электрич. поля и увеличением энергии Г. э. скорость захвата электронов растёт и концентрация их падает (эффект наблюдается в Ge *n*-типа с примесями Cu и Au).

При достаточно быстром падении электропроводности с ростом электрич. поля на ВАХ появляется падающий участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением. ВАХ имеет N-образный вид (наблюдается Ганна эффект). В тех же случаях, когда электропроводность с полем, наоборот, быстро растёт, ВАХ может

стать S-образной. При этом как следствие возникает *индуирование тока* в полупроводниках. Если при приближении напряжения к нек-рому критич. значению ток растёт аномально круто, то имеет место электрич. пробой — межзонный или примесный.

Другие эффекты, связанные с разогревом электронов.

1) В сильном электрич. поле электропроводность полупроводников кубич. сигнотии становится анизотропной даже в отсутствие магн. поля (в слабых полях она изотропна). Это связано преим. с разной заселённостью Г. э. долин зоны проводимости. 2) Изменяются коэфф. диффузии и спектральная плотность флуктуаций тока (см. *Флуктуации электрические*); возникает анизотропия этих величин даже при изотропной зависимости энергии электронов от квазимпульса (характеристики шума, измеренные вдоль и поперёк тока, разные). 3) Наблюдается эмиссия Г. э. в вакуум из ненагретых полупроводников. 4) Возникает эдс при однородной темп-ре кристалла, но неоднородном разогреве электронов.

Если разогрев электронов мал, но наблюдаем по разл. эффектам, электроны наз. т ё п л ы м и.

Носители заряда разогреваются не только пост. током, но также при поглощении ими эл.-магн. излучения. Возникающее при этом изменение электропроводности полупроводника представляет собой один из механизмов *фотороводности* и используется для создания чувствительных приёмников излучения миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов. Г. э. возникают также при генерации носителей заряда светом с энергией фотонов $\hbar\omega$, превышающей ширину запрещённой зоны \mathcal{E}_g на величину, значительно большую kT , а также (в случае примесных полупроводников) светом с энергией фотонов, существенно превышающей энергию ионизации примесных центров (фоторазогрев). Часть фотоэлектронов, создаваемых в полупроводнике *p*-типа светом с $\hbar\omega > \mathcal{E}_g$, рекомбинирует с дырками (см. *Рекомбинация носителей заряда*), оставаясь ещё «горячими» (т. е. до термализации). Эта рекомбинация является источником *горячей люминесценции*.

Лит.: Коуэлл Э., Кинетические свойства полупроводников в сильных электрических полях, пер. с англ., М., 1970; Денис В., Пожелая Ю., Горячие электроны, Вильнюс, 1971; Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г., Физика полупроводников, М., 1977. Ш. М. Коган.

ГРАВИМЕТР — прибор для измерения силы тяжести и соответствующего ускорения свободного падения g . Различают два способа измерения силы тяжести: абсолютный и относительный. В последнем измеряют приращение Δg относительно значения g в нек-ром исходном пункте. Относительная погрешность определений g Г. $\sim 10^{-7} - 10^{-9}$.

В зависимости от метода измерения Г. разделяются на статические и динамические. К статич. Г. относится обширный класс приборов, основанных на принципе уравнивания силы тяжести (или момента силы тяжести) упругой силой (или упругим моментом) чувствительного элемента.

Статические Г. используются только для относительных определений и являются осн. приборами для измерения Δg . Осн. частью статич. Г. является упругая система. Применяются системы типа пружинных весов, в к-рых мерой Δg служат дополнит. растяжение пружины и линейное перемещение груза. Чаще используются крутильные системы, в к-рых маятник, подвешенный на горизонтальной упругой нити или пружине, поддерживается её упругой силой в положении, близком к горизонтальному. Мерой Δg служит дополнит. поворот маятника или дополнит. усиление, необходимое для возвращения его в исходное (нулевое) положение. Системы такого типа в принципе нелинейны. При приближении маятника к положению неустойчивости резко возрастает чувствительность. Такая система называется астазированной.

Статич. Г. применяются также для измерения Δg в море на кораблях. При этом Г. помещается на гиро-