

Термоэлектронная эмиссия из полупроводников. Ф-ла (*) применима и для описания Т.э. из полупроводников. Однако влияние темп-ры, электрич. поля, примесей в эмиттере и т.п. на эмиссионный ток и на величины Φ и A в этом случае существенно иное по сравнению с металлами. Различия обусловлены малой концентрацией электронов проводимости и наличием локализованных поверхностных электронных состояний, влияющих на расположение уровня Ферми \mathcal{E}_F на поверхности полупроводника, вплоть до его «закрепления» в нек-рой точке запрещённой зоны (см. *Поверхностные состояния, Поверхность*). При этом \mathcal{E}_F на поверхности полупроводника и Φ почти (с точностью до величин $\sim 0,1$ эВ) не зависят от \mathcal{E}_F в объёме (т.е. от типа и концентрации легирующей примеси). Такое закрепление связано с поверхностными состояниями достаточно большой ($\geq 10^{12}$ см $^{-2}$) концентрации, индуцированными в основном соств. дефектами кристалла, возникающими при воздействии на полупроводник разл. внеш. факторов, таких, как адсорбция, механич., термич. обработка и др. В этом случае характер Т.э. аналогичен Т.э. из металлов.

На достаточно чистых и совершенных поверхностях полупроводников плотность собственных (заполненных и пустых) поверхностных состояний в запрещённой зоне невелика и уровень Ферми на поверхности может перемещаться внутри запрещённой зоны, следуя за его положением в объёме. Поэтому при изменении типа и концентрации примесей в объёме полупроводника изменяются Φ и ток Т.э. Кроме того, электрич. поле в таких полупроводниках не экранируется зарядами поверхностных состояний и проникает в эмиттер на значит. глубину, что приводит к изменению Φ за счёт приповерхностного изгиба зон и к разогреву электронного газа полем.

Аналогичная ситуация возникает и в том случае, когда внеш. поле превышает величину, достаточную для устранения экранирующего влияния поверхностных состояний. По этим причинам отбор тока эмиссии из полупроводников (в отличие от металлов, где эти эффекты обычно малы) может приводить к значит. нарушению термодинамич. равновесия. Особая ситуация возникает при эмиссии из систем с отрицат. электронным сродством (см. *Фотоэлектронная эмиссия*), в к-рых неравновесный характер процессов эмиссии (в т.ч. и Т.э.) обусловлен изначальными особенностями приповерхностной энергии, структуры эмиттеров.

Влияние неоднородностей. Поверхность большинства эмиттеров неоднородна, на ней существуют «пятна» с разной работой выхода. Между ними возникает контактная разность потенциалов $\Delta\phi$ и электрич. поля (поля пятен) величиной $\sim \Delta\phi/R$ (где R — характерный размер неоднородностей). Эти поля создают дополнит. потенц. барьеры для эмитируемых электронов, что приводит к более сильной зависимости тока от анодного напряжения (аномальный эффект Шоттки), а также увеличивает зависимость тока от T . Поскольку размеры неоднородностей обычно не малы, $\gg 100$ А, а значения разности потенциалов между соседними пятнами $\sim 0,1$ — 1 эВ, то типичные величины полей пятен не велики ($\sim 10^4$ В/см или меньше) и требуют для своего «раскрытия» относительно малых (по сравнению со случаем нормального эффекта Шоттки) внеш. полей, с чем и связана большая величина (аномальность) эффекта в случае неоднородных поверхностей.

Если поверхность сильно неоднородна, так что размеры эмиссионно активных пятен ρ значительно меньше расстояний между ними, то потенциал ϕ отд. пятна на расстояниях $\geq \rho$ от него может быть представлен в виде суммы дипольного, квадрупольного и т.д. слагаемых. В частности, зависимость поля пятна от расстояния до поверхности z над центром пятна в этом случае близка к степенной. Последнее обстоятельство (в полной аналогии с нормальным эффектом Шоттки) приводит к степенной или близкой к ней зависимости величины снижения потенц. барьера над центром пятна $\Delta\phi$ от внеш. поля E (напр., в случае чисто дипольного потенциала $\phi \sim z^{-2}$ и $\Delta\phi \sim E^{2/3}$). В реальных условиях зависимость потенциала от координат более сложна, однако качественно факторы,

определяющие вид полевой зависимости тока в условиях аномального эффекта Шоттки, остаются теми же. Кроме того, всегда существует разброс значений параметров неоднородностей, а в нек-рых случаях (напр., для эмиттеров, изготавливаемых из мелкодисперсных порошков) иерархия размеров может быть весьма богатой (от 100 А до 10—100 мкм). При этом с ростом поля происходит поочерёдное раскрытие полей пятен, что значительно расширяет полевой диапазон проявления аномального эффекта Шоттки.

Виды термоэмиттеров. К числу наиб. известных эфф. эмиттеров относятся окислы щёлочно-земельных, редкоземельных и др. элементов, обычно используемые в виде смесей с различными (в зависимости от назначения катода) добавками (см. *Термоэлектронный катод*). Самым популярным является катод на основе смеси окислов Ва, Са и Sr — оксидный катод. Будучи соединениями с ярко выраженной ионной связью, окислы обладают относительно малым (≤ 1 эВ) электронным сродством, широкой (порядка неск. эВ) запрещённой зоной и являются изоляторами при комнатных темп-рах. Для реализации высоких эмиссионных свойств используется процесс термообработки, во время к-рого происходят очистка поверхности, образование донорных центров, формирование структуры эмиттера и оптим. состава его поверхности. Доноры, к-рые в такого рода соединениях имеют, как правило, вакансионную природу, возникают в результате конкуренции между процессами десорбции и адсорбции атомов (происходящими при повыш. темп-рах в условиях относительно невысокого вакуума) с последующей диффузией вакансий в объём эмиттера, а также и в др. процессах. Возникающая нестехиометрия состава катода, особенно состава его приповерхностной области, значительна, но всё же не настолько, чтобы образовывались сплошные тонкослойные покрытия поверхности атомами металлов. Важную роль в формировании и работе катода играют процессы поверхностной диффузии атомов (в т.ч. и диффузия по границам зёрен). Они имеют обычно активацион. характер; при этом энергия активации поверхностной диффузии (≤ 1 эВ) заметно меньше, чем энергия активации объёмного процесса. Поэтому во мн. случаях поверхностная диффузия более эффективна. На контакте полупроводникового эмиссионного слоя с металлом подложки (кernом) существует барьер контактной разности потенциалов — барьер Шоттки, к-рый «включён» в запирающем направлении и при отборе тока эмиссии препятствует транспорту электронов из металла в эмиссионный слой. Кроме того, из-за хим. реакций, протекающих в этой области при повыш. темп-рах (особенно при наличии в металле нежелат. примесей), возможно образование диэлектрич. прослойки между металлом и эмиссионным слоем, значительно ухудшающей свойства катода и приводящей к быстрой его деградации. Поэтому одна из задач, возникающая при создании эмиттера, — формирование хорошего контакта эмиссионного слоя с kernом, сохраняющего свои свойства при работе катода. В отличие от технологий мн. др. приборов, в к-рых для создания омического контакта предпринимаются спец. меры, в оксидном катоде формирование контакта происходит в процессе термообработки заодно с др. процессами и не требует дополнит. операций. Иногда в материал контакта вводятся спец. активные присадки, способствующие образованию донорных центров в процессе термообработки. Эфф. термокатоды отличаются от др. эмиттеров прежде всего низкими значениями работы выхода. Достигнутые значения этой величины группируются ок. ~ 1 эВ, а дальнейшие усилия в направлении уменьшения работы выхода наталкиваются на серьёзные трудности. В связи с этим возникает вопрос о существовании факторов, препятствующих снижению работы выхода до величин, значительно меньших 1 эВ. К числу таких факторов могло бы относиться существование незаполненных поверхностных состояний (в частности, состояний ПСИ), накопление заряда на к-рых ограничивает возможность уменьшения Φ . Среди термокатодов др. типов можно назвать металлич. катоды (особенно вольфрамовые) и катоды из полуметаллов, напр. из гексабори-