

Рис.7. Зависимость коэффициента вторичной эмиссии от энергии первичных электронов

торые должен иметь термоэлектронный катод: нужную эмиссию, не слишком большую скорость испарения, достаточный срок службы, способность работать в том вакууме, который будет в приборе.

А какие свойства должен иметь катод как вторично-электронный катод? Он должен сохранять все свои свойства при наличии электронной бомбардировки, иметь достаточный срок службы в этих условиях и, наконец, иметь достаточную вторичную эмиссию. Коэффициент вторичной эмиссии всех материалов зависит от энергии первичных электронов (рис.7). Коэффициент вторичной эмиссии  $\sigma$  — это отношение количества улетающих от куска материала электронов к количеству прилетевших. Энергия  $W_1$ , при которой  $\sigma = 1$  (так называемый первый критический потенциал), энергия  $W_m$ , при которой достигается максимум  $\sigma$ , и сам максимум  $\sigma_m$  — это те три величины, которые и важны для работы ЭВП. Желательно, чтобы  $W_1$  было поменьше, а  $\sigma_m$  — побольше. У металлов  $\sigma_m$  мало, а  $W_1$  велико, но им не страшна электронная бомбардировка, а у диэлектриков велико  $\sigma_m$ , но мало  $W_1$  и низкая стойкость к электронному облучению. История катодов магнетронов — это история поисков композиционных материалов, сочетающих лучшие свойства металлов и диэлектриков. Ибо чем больше  $\sigma_m$  и  $W_m$ , тем большую мощность можно получить на выходе магнетронного усилителя, а чем меньше  $W_1$ , тем меньшую мощность надо подавать на его вход.

### Когда все упирается в технологию?

Довольно часто. Особенно, если попытаться сделать что-то новое. Конкретно — на краях освоенного диапазона параметров. При попыт-

ках сделать ЭВП рекордной мощности, КПД или частоты или с рекордным сочетанием нескольких параметров оказывается, что либо нельзя сделать такую конструкцию, как хочется, либо сделать можно, но нет материалов, при использовании которых все это сможет работать. Выходом из положения является обычно или создание новой технологии, позволяющей сегодня сделать то, чего нельзя было сделать вчера, или создание новых материалов, позволяющих прибору работать в новых условиях. Впрочем, новые материалы — это, как правило, и новые технологии.

Технологических проблем в магнетроне много. Остановимся на двух. Первая — проблема обеспечения малых размеров и малых допусков (т.е. точных размеров). Эта проблема общая у всех ЭВП СВЧ, но, согласитесь, намотать спираль диаметром 1 мм для ЛБВ проще, чем сделать анодный блок для магнетрона диаметром тоже 1 мм. Применяют пайку (для резонаторов лопаточного типа), выдавливание, электроннолучевую и электрохимическую обработку, резку и «сверление» электронным лучом и, наконец, все традиционные виды металлообработки. Выдавливанием удается изготовлять системы с толщиной лопаток 0,1 мм, а допуски на размеры при электроннолучевой обработке составляют 1 мкм. Когда же размеры анодного блока становятся меньше 1 мм, идут, например, на такое ухищрение — делают отдельные пластины из фольги толщиной 10–20 мкм и складывают анодный блок из таких пластин. Отверстия же сложной формы в фольге делают методами, заимствованными из полупроводниковой техники (например, фотолитографией) и позволяющими получать микронные размеры.

По мере уменьшения размеров и увеличения мощности увеличивается плотность мощности, выделяющейся на внутренней поверхности анодного блока, куда попадают приносящие эту мощность электроны. Поэтому эту поверхность покрывают молибденом или вольфрамом или же делают анодный блок из хитрой

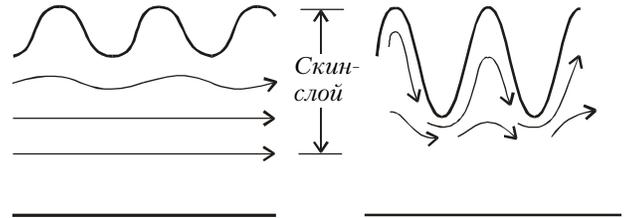


Рис.8. Скин-эффект на шероховатой поверхности

заготовки — молибденового прутка, залитого медью.

Конечно, проблема обеспечения малых размеров и допусков встречается и в других областях техники. Но вот вам второй пример — пример проблемы, пожалуй, совсем специфической. Насколько гладкой должна быть поверхность деталей? Коэффициент трения значения не имеет, «блеск» тоже, так какая же разница, гладко или не очень? Но разница есть.

Как известно, в области высоких частот ток концентрируется у поверхности детали (скин-эффект). Если шероховатость меньше толщины, в которой сосредоточен ток, то шероховатость мешает работе мало (см. рис.8, слева). Если шероховатость больше (см. рис.8, справа), то путь электронов увеличивается. Следовательно, увеличиваются сопротивление и потери мощности. Заметим, что важно, как именно «устроена» шероховатость. Если деталь шлифовалась в одном направлении и так, что токи протекают вдоль «оврагов», то увеличения сопротивления не будет. Если же ток «взбирается и ныряет», то потери мощности неизбежны.

Отсюда мораль — подстилая соломку там, где вам или вашим электроном предстоит упасть, думайте, как ее класть.