

В случае смешанной проводимости выражение для электропроводности имеет вид

$$\sigma = e(u_p p + u_n n). \quad (7.85)$$

Как видно из (7.84) и (7.85), в этом случае одновременное измерение постоянной Холла и электропроводности не дает достаточных данных для определения подвижности и концентрации электронов и дырок, так как мы имеем два уравнения с четырьмя неизвестными. В этом случае можно выйти из положения, найдя значения подвижности дырок или электронов экстраполяцией из области примесной проводимости, а также воспользовавшись соотношением $n - p = N_d$. Задача может быть также решена, если к (7.84) и (7.85) добавить еще независимые уравнения, т. е. одновременно измерить другие эффекты.

За последние годы эффект Холла нашел широкое применение в технике: для измерения постоянных и переменных магнитных полей и «бесконтактного» измерения токов по их полям, в счетно-решающих устройствах (для умножения, деления, сложения, и вычитания, запоминающих, считывающих и записывающих устройств), для детектирования, усиления, модуляции, измерения мощности, измерения разности фаз, анализа спектров и решения множества других задач радиотехники и электротехники [29].

7.3. ЭФФЕКТ ЭТТИНГСГАУЗЕНА

Примесная проводимость. Этот случай мы рассмотрели достаточно подробно на стр. 91—92 (гл. 1). Здесь мы напомним лишь выражение для поперечного градиента температуры:

$$\frac{\partial T}{\partial y} = \frac{kT}{e} \frac{2r-1}{2} \frac{R_X \sigma}{\kappa_p + \kappa_{эл}} j_x H, \quad (7.86)$$

где κ_p и $\kappa_{эл}$ — соответственно теплопроводность решетки и электронного газа.

Собственная проводимость. Этот случай мы частично уже рассмотрели при анализе эффекта Холла в собственном полупроводнике. В случае собственной или смешанной проводимости, т. е. в переходной области от примесной к собственной, холловское поле вообще не образуется, если потоки дырок и электронов на боковую грань одинаковы, или образуется таким образом, чтобы уравнивать

эти потоки. В обоих случаях в направлении оси y , т. е. с одной грани на другую, текут равные электронные и дырочные токи, определяемые соотношением (7.82); весь этот ток генерируется на одной грани и рекомбинирует на другой, и, таким образом, можно подсчитать тепло, переносимое электронами и дырками в этом случае. Эффект Эттингсгаузена может, так же как и эффект Пельтье, быть использован для перекачки тепла, т. е. охлаждения, термостатирования, кондиционирования воздуха и т. д.

Эффекты Холла и Эттингсгаузена называются поперечными гальваномагнитными эффектами: разность потенциалов и разность температуры появляются в направлении, перпендикулярном направлению электрического тока.

7.4. ГАЛЬВАНОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В СИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

В заключение рассмотрим качественно эффект Холла и изменение сопротивления в сильных, в классическом смысле, магнитных полях, т. е. при

$$\frac{uH}{c} \gg 1. \quad (7.87)$$

Согласно (1.124) в этом случае холловское поле будет много больше исходного, и в первом приближении мы можем считать, что все поле направлено по «оси Холла», которую мы примем за ось x . Так как период прецессии электрона много меньше времени свободного пробега, то в первом приближении столкновениями мы также можем пренебречь и считать, что электроны движутся по циклоидам в направлении, перпендикулярном электрическому полю, т. е. в направлении y^*). Таким образом, вырисовывается очень своеобразная картина — поле повернулось на 90° по отношению к первоначальному, но ток повернут на 90° по отношению к полю и поэтому течет в нужном направлении. Согласно (7.86) $v_y = (E_x/H) c$ и

$$j_y = ev_y n = \frac{eE_x cn}{H}. \quad (7.88)$$

По определению, постоянная Холла равна отношению э. д. с. Холла к плотности тока и магнитному полю.

*) Таким образом ось y будет теперь осью тока, а ось x — осью холловского поля; т. е. оси будут повернуты на 90° по отношению к их положению, рассмотренному ранее.