

Такова в общих чертах качественная теория ФЭМ-эффекта. Конечно, эта теория была разработана после детального экспериментального исследования эффекта. Сам эффект был обнаружен неожиданно значительно раньше создания теории, и сначала он казался удивительным. Расчеты, выполненные на основе развитой теоретической модели, дают следующую

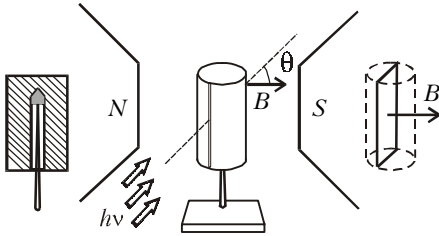


Рис. 2

щую приближенную формулу для силы фотоэлектромагнитного тока I в замкнутой цепи, когда электроды образца замкнуты накоротко (т.е. когда сопротивление внешней цепи пренебрежимо мало по сравнению с сопротивлением самого полупроводника):

$$I = KeNB,$$

где e – заряд электрона, N – количество квантов света, поглощаемых 1 м^2 поверхности образца в 1 секунду (очевидно, что N пропорционально освещенности образца), B – значение индукции магнитного поля, а K – коэффициент пропорциональности, значение которого зависит только от материала образца. Прямая пропорциональность тока интенсивности падающего света и индукции магнитного поля была выявлена уже в первых экспериментах.

При обычных условиях опыта в небольшом магнитном поле порядка 1 Тл при освещенности, создаваемой естественным дневным светом, что соответствует $N \sim 10^{21} / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$, через образец монокристаллического германия шириной 0,01 м в направлении магнитного поля течет фотомагнитный ток $\sim 10^{-3}$ А.

Зная внешние параметры (N , B), можно, измеряя фотомагнитный ток, находить характеристики полупроводниковых материалов, которые определяют величину коэффициента K . ФЭМ-эффект в современных лабораториях стал простым и надежным инструментом для определения параметров, характеризующих

качество полупроводниковых материалов, таких, как время жизни носителей (электрона и дырки) τ , скорость поверхностной рекомбинации S , диффузионная длина L , подвижность носителей тока μ и некоторых других. Поясним кратко смысл этих величин.

Как мы уже знаем, под действием кванта света валентный электрон может «оторваться» от атома и стать электроном проводимости. Однако этот избыточный носитель тока не может существовать в образце бесконечно долго. Довольно скоро после своего рождения он по тем или иным причинам снова становится связанным, например присоединившись к ионизированному атому (этот процесс называется рекомбинацией). Среднее время τ существования носителя тока в свободном состоянии называют временем жизни. В разных полупроводниках это время различно – от 10^{-10} с до сотых долей секунды. Электроны (или дырки) рекомбинируют не только в объеме полупроводника, но и на его поверхности. Величина S , характеризующая скорость исчезновения носителей тока на поверхности, называется скоростью поверхностной рекомбинации. Длина диффузии носителей L равна приблизительно расстоянию, на которое успевают продиффундировать электроны и дырки за время своей жизни τ . Подвижность носителей μ – это скорость их перемещения под действием электрического поля с напряженностью, равной единице. Эти параметры во многом определяют качество полупроводников, используемых в электронной технике.

В заключение опишем один красивый опыт, который иллюстрирует механизм возникновения ФЭМ-эффекта. Опыт состоит в следующем. Из полупроводника (германия) вырезается образец в виде маленького цилиндра. Внутри цилиндра высверливается тонкий канал, в который запрессовывается подпятник из твердого материала. Образец насаживается на иглу (как магнитная стрелка компаса). Цилиндр помещается между полюсами магнита (рис.2) и освещается светом (угол между направлением луча света и индукцией магнитного поля $\theta \approx 45^\circ$). В результате образец начинает вращаться! Опыт наглядно демонстрирует непосредственное превращение энергии света в механическую энергию. Это

явление можно назвать фотомагнетомеханическим эффектом. Попробуем объяснить происхождение этого эффекта.

Луч света, падающий на боковую поверхность цилиндрического образца, освещает узкую вертикальную полоску небольшой ширины по всей длине цилиндра. Рождаемые светом электроны и дырки диффундируют из освещенной области в глубь цилиндрического образца. В результате действия силы Лоренца на диффундирующие в магнитном поле электроны и дырки возникает ЭДС ФЭМ-эффекта. При этом все процессы диффузии и рекомбинации рожденных светом носителей разгравываются в слое образца протяженностью порядка диффузионной длины. Остальная же толща образца пассивна и служит как бы проводником, замыкающим на себя ЭДС. Весь образец можно представить в виде бесконечного числа замкнутых контуров-рамок (одна из сторон этих рамок – узкая освещенная полоска поверхности образца). На каждую такую рамку со стороны магнитного поля действует момент сил, максимальное значение которого пропорционально площади рамки и силе тока в ней. Однако в силу симметрии цилиндрического образца все эти рамки можно заменить одной «эквивалентной» рамкой, плоскость которой определяется направлением пучка падающего света. И если угол θ , который составляет плоскость рамки с направлением индукции магнитного поля, не равен 90° , то рамка поворачивается в магнитном поле (как рамка с током в обычном электродвигателе). В описанном нами опыте $\theta \approx 45^\circ$, и вращающий момент, действующий на эквивалентную рамку, заставляет вращаться весь образец. При вращении цилиндра под пучок света попадают все новые участки его поверхности. Поэтому цилиндр будет вращаться непрерывно.

Если вы разобрались в механизме возникновения ФЭМ-эффекта, вы сможете ответить на такой вопрос: изменится ли направление вращения цилиндра, если направление поля поменять на противоположное?