

Попытаемся объяснить происхождение ФЭМ-эффекта.

Фотоэлектромагнитная ЭДС возникает при действии на освещаемый образец магнитного поля. Между тем известно, что магнитное поле действует только на движущиеся электрические заряды. Поэтому надо понять, каким образом создается движение зарядов в полупроводнике в отсутствие источника ЭДС.

Свет, падающий на поверхность полупроводника, поглощается в нем (если полупроводник не прозрачен для этого света). Во многих случаях свет поглощается электронами атомов полупроводника. При достаточной энергии ($h\nu$) квантов света (фотонов) поглотивший их электрон отрывается от атома, становится свободным и может перемещаться внутри освещаемого тела. В металлах и без всякого действия света имеется огромное количество свободных электронов. В полупроводниках число свободных электронов обычно мало, а под действием поглощаемого света оно увеличивается. Раз полупроводник непрозрачен, падающий на его поверхность свет поглощается в тонком слое у поверхности, т.е. проникает в образец лишь на небольшую глубину (порядка длины волны света). Следовательно, в тонком приповерхностном слое полупроводника увеличивается число свободных электронов. В остальной части полупроводника, куда свет не проникает, число электронов остается неизменным. Значит, в тонком слое вблизи освещаемой поверхности концентрация электронов оказывается больше, чем в толще образца. Из молекулярной физики известно, что, когда в одной части тела концентрация частиц больше, чем в других его частях, наблюдается явление диффузии – перемещение частиц из области с большей концентрацией в область с меньшей концентрацией. То же происходит и с электронами, рожденными в полупроводнике светом: электроны диффундируют от освещаемой поверхности в глубь образца. Но перемещение электронов – это электрический ток. При освещении полупроводника поглощаемым светом возникает движение электронов от освещенной к неосвещенной поверхности образца. Иными словами, возникает ток, который мы назовем диффузионным электронным током. (Этот ток направлен

от неосвещенной грани к освещенной.) Он возникает под действием света без внешнего источника тока. Точнее, свет и служит источником тока. На электроны, создающие диффузионный ток, действует магнитное поле. Как известно, сила Лоренца \vec{F}_L , действующая в магнитном поле на движущийся заряд, направлена перпендикулярно скорости \vec{v} заряда и магнитной индукции \vec{B} поля. Следовательно, если направление индукции магнитного поля и направление падающего света такие, как на рисунке 1, то под действием силы Лоренца электроны отклоняются к грани a' и скапливаются на ней. Следовательно, эта грань будет иметь отрицательный заряд. Таким образом, между гранями a и a' возникает разность потенциалов, и если наложить на эти грани электроды, соединенные проводником, то по проводнику потечет электрический ток.

Казалось бы, на этом можно считать объяснение возникновения ФЭМ-эффекта законченным. Однако существенным является тот факт, что электрический ток в замкнутой цепи существует в течение длительного времени, пока на образец падает свет. А приведенные выше рассуждения недостаточны для объяснения этого факта. Действительно, для поддержания разности потенциалов между гранями a и a' пластинки необходим постоянный приток электронов на грань a' , а следовательно, постоянный диффузионный ток электронов. Но диффузия электронов не может долго продолжаться, она должна прекратиться. В самом деле, часть электронов, диффундируя в глубь образца, достигает неосвещенной поверхности пластинки и оседает на ней. Со временем на этой поверхности должен накопиться отрицательный заряд, который будет тормозить диффундирующие электроны. Когда на неосвещенной поверхности образца накопится достаточное количество электронов, диффузионный ток прекратится, и, следовательно, прекратится ток во внешней цепи. Как показывают расчеты, время существования диффузионного тока, зависящее от внешних условий (от интенсивности падающего света, значения индукции магнитного поля) и от свойств образца (его размеров, материала и пр.), обычно весьма мало – порядка $10^{-5} - 10^{-6}$ с.

Для объяснения постоянного тока в цепи (постоянной разности потенциалов между гранями a и a') необходимо предположить, что скапливающийся на неосвещенной поверхности пластинки отрицательный заряд «нейтрализуется» точно таким же положительным зарядом. Представим себе, что при освещении поверхности образца рождаются не только электроны, но и положительно заряженные частицы, заряд каждой из которых по абсолютному значению равен заряду электрона. Они тоже будут диффундировать в глубь образца. Тогда совместная диффузия электронов и этих положительных зарядов может продолжаться сколь угодно долго, поскольку, доходя до противоположной поверхности образца, они не заряжают ее. Правда при этом суммарный диффузионный ток равен нулю.

Именно такая картина и реализуется в действительности при освещении полупроводника. А положительные заряды, которые рождаются светом, это – так называемые дырки. Представление о дырках порождено квантовой механикой. ФЭМ-эффект – одно из первых физических явлений, для объяснения которых понятие дырки оказалось совершенно необходимым. В современной теории электропроводности электронно-дырочное представление стало общепринятым.

Итак, при освещении поверхности полупроводниковой пластинки происходит одновременное рождение свободных электронов и дырок (или, как говорят, рождение электронно-дырочной пары), которые диффундируют в одном направлении. В магнитном поле сила Лоренца отклоняет движущиеся электроны и дырки в противоположные стороны, так что на грани a' оседают электроны, а на грани a – дырки. Очевидно, что при изменении направления падающего света или направления магнитной индукции знак возникающей ЭДС меняется на противоположный. Знак ЭДС можно определить по правилу левой руки: если левую руку расположить так, чтобы вектор магнитной индукции входил в ладонь, а четыре вытянутых пальца были направлены вдоль падающего на образец светового пучка, то отогнутый на 90° большой палец укажет направление электрического поля в образце.