

ЭКСИТОНЫ

Студент гр. 11310120 Подвицкий Н. В.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Сернов С. П.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Данная работа выполнялась с целью рассмотрения экситонов, как средства обнаружения дефектов в структуре полупроводников.

Экситоны представляют собой квазичастицы, являющиеся электронным возбуждением в полупроводнике, проводнике или диэлектрике. Это возбуждение способно перемещаться внутри кристалла, но не является переносчиком заряда или массы. Экситон образуется при поглощении света, когда электрон переходит с исходного энергетического уровня на более высокий, при этом на исходном уровне положительно заряженную квазичастицу – дырку, с которой он связан электростатическим притяжением. Существует два основных типа экситонов, отличающихся друг от друга радиусом – расстоянием между электроном и дыркой: экситон Ванье-Мотта (он же свободный экситон), радиус которого намного больше, чем период решетки кристалла, и экситон Френкеля (он же связанный экситон), локализованный на дефекте и имеющий малый радиус. Свободный экситон можно представить в качестве атома, подобного водороду, аналогично модели мелких донорных или акцепторных состояний, а его большой радиус объясняется высокой диэлектрической проницаемостью полупроводника, что приводит к ослабеванию силы Кулона между электроном и дыркой. Рекомбинация экситонов Ванье-Мотта при комнатной температуре дает несущественный вклад в люминесценцию, из-за того, что существует большая вероятность термической диссоциации экситонов. В случае, если полупроводник относится к классу непрямозонных, появляется еще и потребность во взаимодействии с фононом при излучательной рекомбинации, что значительно уменьшает ее интенсивность. Экситон Френкеля можно рассматривать в качестве предельного случая экситона Ванье-Мотта, когда электрон и дырка локализованы полностью на узле кристаллической решетки. Стоит отметить, что для излучательной рекомбинации связанных экситонов не требуется участие фононов.

Если концентрация связанных носителей заряда в полупроводнике оказывается больше некоторой критической величины, то из экситонов образуется неравновесная фаза электронных возбуждений, в которой кулоновское взаимодействие между квазичастицами экранировано. Это выродженное состояние, подобное металлу, называется электронно-дырочной жидкостью (ЭДЖ). Когда происходит образование электронно-дырочной жидкости, возникает фазовый переход первого рода. Вследствие этого однородный экситонный газ, заполняющий весь объем кристалла, разделяется на «капли» электронно-дырочной жидкости, в которых наблюдается повышенная концентрация электронно-дырочных пар. Экситоны в ЭДЖ связаны обменными и корреляционными силами взаимодействия, а сами «капли» окружены областями с малой концентрацией квазичастиц, что подтверждает тезис о наличии фазового перехода внутри полупроводника. На практике добиться появления ЭДЖ возможно инъекцией носителей заряда или направленным лучом когерентного монохроматического электромагнитного излучения (лазера), а само образование капель будет сопровождаться появлением в спектрах излучения кроме экситонной линии также широкой полосы, характерной для процесса электронно-дырочной рекомбинации.

Путем изучения спектров кристалла SnO_2 до и после высокотемпературного обжига было установлено, что концентрация связанных экситонов велика на собственных дефектах донорного типа, на них же образуются капли ЭДЖ. При этом следует помнить, что интенсивность экситонной люминесценции сильно снижается выше 40 К. Причиной этого явления, вероятно, являются центры эффективного безызлучательного распада экситонов. Такие центры могут появляться, если зарядовое состояние дефектов определенного типа меняется при помощи активированных термически свободных носителей. Т.е. можно говорить о возможности обнаружения дефектов в полупроводниках при низких температурах с помощью экситонной люминесценции [2].

Литература

1. Келдыш, Л. В. Электронно-дырочные капли в полупроводниках / Л. В. Келдыш. – М., 1988. – 468 с.
2. Степанов, Ю. А. Люминесценция экситонов в кристаллах SnO_2 / Ю. А. Степанов. – СПб, 1992. – Т. 34. – С. 502.