Подавление Оже-рекомбинации в полуметаллах Вейля

Афанасьев А.Н.^{1,2}, Грешнов А.А.^{1,2}, Свинцов Д.А.²

¹ ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26

² Московский физико-технический институт, 141701, Долгопрудный, пер. Институтский, 9

DOI 10.34077/Semicond2019-489

Стремительный рост скорости процессов Оже-рекомбинации (ОР) при уменьшении ширины запрещенной зоны, присущий традиционным полупроводниковым материалам, является одним из главных препятствий для создания лазеров инфракрасного и терагерцового диапазона. Естественно, что наиболее остро проблема ОР встает в случае отсутствия энергетической щели как таковой. Однако, в недавно открытых материалах с ультрарелятивистским законом дисперсии носителей - полуметаллах Вейля (ПМВ) [1] - ОР может быть сильно (на несколько порядков) подавлена [2].

В случае строго изотропного закона дисперсии или наличия единственной точки Вейля во всей зоне Бриллюэна процесс ОР оказывается запрещенным законами сохранения, а его интенсивность в пределе малого дополнительного рассеяния стремится к нулю (в отличие от графена [3]). Однако, во всех экспериментально открытых и предсказанных ПМВ имеется как минимум одна группа вейлевских точек (в "семействе" TaAs - две, W_1 и W_2 , содержащие совместно 24 точки Вейля). Энергетический спектр является анизотропным из-за низкосимметричного положения точек Вейля, причем ориентация главных осей в каждой точке - своя. В меру различия законов дисперсии носителей $E(\mathbf{k})$ между различными точками Вейля (относительно единой системы координат волнового вектора) ОР в реальных ПМВ становится возможной, причем, в зависимости от того, идут ли обе "половинки" процесса в долинах одной группы или разных, соответствующие процессы можно разделить на внутригрупповые и межгрупповые (Рис. 1(a)).

Рис.1. (a) - схема процессов ОР в реальном ПМВ (б) - динамика межзонного возбуждения в геометрически защищенном случае.

Дополнительным источником подавления ОР в ПМВ служит сильное экранирование свободными носителями, в меру большого числа точек Вейля и, как правило, несобственного характера равновесного заполнения одной из групп. Интересной особенностью ОР в ПМВ является *невзаимность* межгрупповых процессов. Например, для случая изотропной дисперсии в группах W_1 и W_2 при соотношении между вейлевскими скоростями $v_2 < v_1$ точки W_1 геометрически защищены от межгруппового канала рекомбинации [2].

Для количественного описания ОР в ПМВ мы использовали метод Зипа-Мокера [4], в рамках которого свели выражения для темпа ОР к произведению геометрического и статистического факторов. Проведенные расчеты показали возможность практического формирования долгоживущей межзонной инверсии населенностей в геометрически защищенной группе W_1 ПМВ типа TaAs (Рис. 1(б)). Показано, что время релаксации долгоживущей части распределения может достигать нескольких наносекунд, что дает надежду на возможность реализации терагерцового лазера на ПМВ.

[1] N.P. Armitage et al., *Rev. Mod. Phys.* **90**, 015001 (2018).

[2] A.N. Afanasiev, A.A. Greshnov, D. Svintsov, *Phys. Rev. B* **99**, 115202 (2019).

[3] G. Alymov et al., *Phys. Rev. B* **97**, 205411 (2018).

[4] O. Ziep and M. Mocker, *Phys. Status Solidi B* **98**, 133 (1980).