

Механизмы Оже рекомбинации в полупроводниковых квантовых точках

Д. М. Самосват

СПбГПУ, С.-Петербург, Россия

Полупроводниковые гетероструктуры эффективно используются в опто- и наноэлектронике. Для оптимизации параметров приборов важно понять на микроскопическом уровне, какие процессы влияют на время жизни неравновесных носителей заряда. Гетероструктуры, такие как квантовые ямы, квантовые нити, квантовые точки пространственно неоднородны из-за существования гетеробарьеров. Как известно, наличие гетеробарьеров влияет не только на энергии и волновые функции носителей заряда, но и на макроскопические свойства гетероструктур. До сих пор в литературе отсутствует детальный анализ механизмов безызлучательной Оже рекомбинации.

В настоящей работе представлены исследования основных механизмов Оже рекомбинации неравновесных носителей заряда в полупроводниковых квантовых точках. Для описания спектра и волновых функций носителей заряда в квантовых точках используется модель сферической потенциальной ямы конечной глубины для электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне.

Установлено, что механизмы Оже рекомбинации в квантовых точках претерпевают качественные изменения по сравнению с ямами и нитями. Как установлено ранее [1], в квантовых ямах присутствует три механизма Оже рекомбинации: пороговый, квазипороговый и беспороговый; в квантовых нитях [2] также присутствует квазипороговый механизм Оже рекомбинации. Однако принципиальное отличие между механизмами Оже рекомбинации в квантовых ямах, нитях и точках появляется для беспорогового механизма. В работе установлено, что в квантовых точках присутствует два механизма Оже рекомбинации: беспороговый и квазипороговый. Так как в квантовой точке отсутствует протяженная координата (в отличие от ям и нитей), то беспороговый механизм в квантовой точке связан только с передачей большого момента возбужденному носителю (в ямах и нитях может передаваться большой квазиимпульс). В работе показано, что для беспорогового механизма присутствуют осцилляции в зависимости от радиуса квантовой точки. Квазипороговый механизм вследствие малости пороговой энергии также является беспороговым процессом для малых радиусов квантовой точки. С ростом радиуса квантовой точки пороговая энергия квазипорогового процесса возрастает и в пределе бесконечного радиуса он переходит в трехмерный пороговый

процесс. Два механизма беспороговой Оже рекомбинации в квантовых точках имеют различные зависимости от высот гетеробарьеров для электронов и дырок, а также от радиуса квантовой точки. Так, скорость Оже рекомбинации для беспорогового процесса обращается в нуль при стремлении высот гетеробарьеров к нулю. Таким образом, этот механизм связан с рассеянием носителей на гетеробарьере. Квазипороговый механизм не зависит от высот гетеробарьеров и связан с пространственной локализацией носителей заряда; при этом волновая функция ограничена областью квантовой точки. В пределе бесконечного радиуса эффективный трехмерный коэффициент для беспорогового процесса стремится к нулю. Также показано, что поскольку в сферической геометрии существует критический радиус, после которого исчезают связанные состояния, то скорость Оже рекомбинации для двух механизмов стремится к нулю при стремлении радиуса к критическому. Кроме того, показано, что скорости беспорогового и квазипорогового процессов Оже рекомбинации являются слабой функцией температуры при малых радиусах. Это означает, что скорость Оже рекомбинации в квантовых точках является более эффективной, чем в однородных полупроводниках. Показано, что в области низких температур доминирует беспороговый процесс, а в области высоких — квазипороговый.

Литература

- [1] Г. Г. Зегря, А. С. Полковников, ЖЭТФ **113**, 1491 (1998)
- [2] Е. Б. Догонкин, Г. Г. Зегря, А. С. Полковников, ЖЭТФ **117**, 429 (1999)