Внутрицентровая релаксация мелких доноров сурьмы в деформированном германии

Цыпленков В.В., Шастин В.Н.

ИФМ РАН, 603087, Нижегородская обл., Кстовский район, д. Афонино, ул. Академическая, 7

DOI 10.34077/Semicond2019-66

В настоящее время научная активность многих исследовательских групп направлена на изучение квантовых оптически управляемых когерентных состояний различных систем и создания на их основе принципиально новых полупроводниковых устройств, сопряженных с развитой кремниевой и германиевой технологией. Одними из кандидатов рассматриваются кулоновские центры в полупроводниках. В этом контексте вычисление релаксационных темпов возбужденных состояний примесных центров в германии является важной задачей, т.к. в конечном счете, они определяют предельно достижимые времена жизни оптически возбуждаемых когерентных суперпозиций электронных состояний примеси. Данная работа посвящена вычислению темпов распада возбужденных состояний доноров сурьмы в кристалле германия при взаимодействии с длинноволновыми акустическими фононами. Рассмотрено влияние на темпы одноосной деформации сжатия в кристаллографическом направлении $[111]$.

Расчеты выполнены в рамках метода эффективных масс. Использованы водородоподобные волновые функции, учитывающие анизотропию эффективной массы зоны проводимости германия. Расчеты выполнены в приближении изотропного закона дисперсии фононов. Для продольных акустических фононов значение средней групповой скорости было выбрано 5×10^5 см/с, для поперечных – 3.3×10^5 см/с. Рассматривалось только внутривалинные переходы, влиянием междолинных процессов электрон-фононного взаимодействия пренебрегалось. В таблице 1 представлены вычисленные темпы переходов между состояниями донора сурьмы в недеформированном кристалле германия.

Таблица 1 – Темпы переходов в единицах 10^9 с^{-1} при излучении продольных P_l и поперечных P_t акустических фононов. Прочерками отмечены пренебрежимо малые темпы.

Переход	P_l	P_t	Переход	P_l	P_t
$3p_{\pm} - 2p_0$	0.012	–	$4p_0 - 3p_0$	0.71	0.031
$3p_{\pm} - 2p_{(+)}$	0.57	0.34	$4p_0 - 3s$	0.032	0.008
$3p_{\pm} - 2p_{(-)}$	0.85	0.08	$4p_0 - 2s$	0.19	0.1
$3p_{\pm} - 4p_0$	0.12	0.12	$4p_0 - 2p_0$	0.057	–
$3p_{\pm} - 3p_0$	1.3	0.093	$2p_{\pm} - 3p_0$	1.3	1.3
$3p_{\pm} - 3s$	0.038	0.062	$2p_{\pm} - 2p_0$	–	–
$3p_{\pm} - 2s$	0.04	0.003	$2p_{\pm} - 2s$	0.13	–
$3p_{\pm} - 1s$	–	–	$2s - 2p_0$	0.4	–
$3p_0 - 2s$	1.5	–	$2s - 1s$	1.5	–
$3p_0 - 2p_0$	4.43	–	$2s - 1s$	0.4	–
$2p_0 - 1s$	2.8	–	$2p_0 - 1s$	2.3	–

Одноосная деформация согласно расчетам не изменяет полного темпа распада состояний доноров, что связано со спецификой энергетического спектра донора сурьмы в германии. Сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными по измерению релаксационных времен [1,2] показывают одинаковый порядок величин темпов распада состояний.

Исследование выполнено в ИФМ РАН за счет гранта РНФ (проект № 19-72-20163).

[1] Р. Х. Жукавин *et al.*, Письма в ЖЭТФ, **106**, 555 (2017).

[2] Е.М. Гершензон, Г.Н. Гольцман, Л.А. Орлов, Н.Г., Письма в ЖЭТФ, **25**, 574 (1977).