Эффективные времена жизни фотогенерированных носителей заряда в фотоприемных матрицах на основе материала кадмий-ртуть-теллур

В.А. Стучинский, А.В. Вишняков

Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова, Новосибирск,

630090, пр. Академика Лаврентьева, 13

тел: +7 (383) 330-4968, факс: +7 (383) 333-2771, эл. почта: stuchin@isp.nsc.ru

DOI 10.34077/RCSP2021-143

В настоящей работе демонстрируются возможности разработанного нами подхода к Монте-Карло моделированию диффузии фотогенерированных носителей заряда (ФНЗ) в фотоприемных матрицах на основе материала КРТ [1] в применении к вычислению временных характеристик процесса диффузии. В качестве примера в работе изучалось распределение ФНЗ по временам жизни в традиционных КРТ-матрицах с квадратными диодами при однородной засветке таких матриц. Отметим, что вычисление временных характеристик процессов переноса ФНЗ в фотоприемных структурах может представлять интерес, например, для лидарных применений фотоприёмников. Кроме того, знание времен жизни ФНЗ в матрицах позволяет судить о величине (эффективной) длины диффузии ФНЗ $l_{d\text{ eff}}$, реализующейся в условиях отбора фототока диодами матрицы из абсорбера при разных значениях геометрических и материальных параметров матрицы.

Модификация стандартной схемы расчета процесса диффузии мигрирующих частиц [1] состояла в подсчете числа элементарных (фиксированных по длине) шагов, совершаемых каждой частицей от момента её фотогенерации до стекания на n -область одного из диодов n -на- p матрицы или до гибели частицы на центре объемной рекомбинации в абсорбере. Поскольку на планарных границах слоя абсорбера рассматриваемых матриц на практике обычно применяется варизонная пассивация границ, указанные процессы исчерпывают все возможные варианты удаления ФНЗ из абсорбера. В соответствии с этим распределение ФНЗ по количеству совершаемых элементарных скачков (или по временам жизни τ_{eff}) рассчитывалось отдельно для ФНЗ, стекающих на фотодиоды, $N_1/N_{\text{total}}(N_{\text{step}})$, и отдельно для ФНЗ, рекомбинирующих в абсорбере, $N_2/N_{\text{total}}(N_{\text{step}})$. В расчетах в качестве расчетной области был выбран объем одного фотоэлемента матрицы. На латеральных границах области в силу симметрии задачи при однородной засветке матрицы использовалось условие отражения частиц от границ.

Пример рассчитанных распределений $N_1/N_{\text{total}}(N_{\text{step}})$ и $N_2/N_{\text{total}}(N_{\text{step}})$ (соответственно, кривые 1 и 2) показаны на рисунке. Данные рисунка получены для следующих параметров задачи: длина диффузии ФНЗ в объемном материале КРТ – 20 мкм, длина оптического поглощения в КРТ-абсорбере – 1 мкм, размер фотоэлемента матрицы – 30x30 мкм, размер диода – 15x15 мкм, размер заглубления n -области диода в слой абсорбера – 1 мкм, толщина КРТ-пленки – 4 мкм, шаг расчетной сетки – 0.1 мкм.

В полученных распределениях $N_1/N_{\text{total}}(N_{\text{step}})$ ясно проявляется интервал времен, коротких для того, чтобы частицы успели за такие времена осуществить миграцию поперек пленки абсорбера и стечь в фотодиоды матрицы. Далее наблюдается пик в распределениях $N_1/N_{\text{total}}(N_{\text{step}})$, соответствующий стеканию частиц на фотодиоды. В отличие от распределения $N_1/N_{\text{total}}(N_{\text{step}})$, распределения $N_2/N_{\text{total}}(N_{\text{step}})$ не проявляют указанных особенностей. На больших временах жизни τ_{eff} оба распределения имеют экспоненциальные хвосты, образованные частицами, двигающимися вдоль фоточувствительной пленки матрицы. Одинаковый характер распределений ФНЗ в обоих хвостах – естественен; он объясняется тем обстоятельством, что факт принадлежности ФНЗ к конкретному распределению, $N_1/N_{\text{total}}(N_{\text{step}})$ или $N_2/N_{\text{total}}(N_{\text{step}})$, выясняется “в последний момент”, уже после окончания процесса диффузии. Обсуждается зависимость вычисленных распределений от параметров задачи (размера фотодиода, толщины слоя абсорбера под фотодиодом, длины диффузии ФНЗ в материале абсорбера). Дано сопоставление вычисленных величин $l_{d\text{ eff}}$ с аналитической формулой для эффективной длины диффузии.

Литература

- [1] В.А. Стучинский, А.В. Вишняков, Труды XXV Межд. научно-технической конференции и школы по фотоэлектронике и приборам ночного видения в 2-х томах. Том 2. М.: АО «НПО «Орион», 2018 г. – М.: Издательство «ОФСЕТ МОСКВА», 2018, с. 430-433.