Поверхностные плазмонные волны в гибридных фотодетекторах Ge/Si с металлическими субволновыми решетками

А.И. Якимов

Институт физики полупроводников им. А.В.Ржанова СО РАН,

Новосибирск, 630090, пр. Ак. Лаврентьева, 13

тел.: +7 (383) 333-2832, факс: +7 (383) 333-2832, эл. почта: yakimov@isp.nsc.ru

DOI 10.34077/RCSP2019-60

Созданы гибридные ИК фотодетекторы на основе гетероструктур Ge/Si с квантовыми точками Ge, сопряженные с субволновыми золотыми решетками. Двумерные периодические решетки отверстий в золотых пленках с диаметром отверстий от 0.7 до 1.0 мкм и периодом 1.1–2.0 мкм выступали в качестве метаповерхностей, позволяющих преобразовать внешнее электромагнитное излучение в поверхностные плазмон-поляритонные волны в спектральном диапазоне 3–5 мкм. Из зависимостей фототока от угла падения электромагнитной волны определены дисперсионные соотношения, характеризующие распространение поверхностных плазмонных мод вдоль границы металл-полупроводник в плазмонных фотодетекторах Ge/Si с квантовыми точками Ge, совмещенные с регулярными золотыми решетками субволновых отверстий различной формы на поверхности полупроводника. Было показано, что экспериментальные дисперсионные кривые для решеток круглой и квадратной формы находятся в хорошем согласии с результатами численного моделирования дисперсионных характеристик фундаментального плазмонного резонанса. Полученные результаты свидетельствуют о том, что усиление фототока в гибридных фотодетекторах с квантовыми точками действительно вызвано возбуждением блоховских поверхностных плазмонных мод в среднем ИК диапазоне. Обнаружено подавление эффекта плазмонного усиления фототока при переходе от круглой и квадратной форм отверстий решетки к прямоугольной. Установлено, что в гибридных структурах с прямоугольными щелями существует диапазон волновых векторов, в котором энергия поверхностных плазмонов не зависит от волнового вектора падающего излучения. Полученные результаты объяснены возбуждением световой волной локализованных дипольных мод на прямоугольных апертурах с большим соотношением сторон. Методами математического моделирования и экспериментально исследованы процессы усиления поля световой волны и фототока в среднем ИК диапазоне в гибридных гетероструктурах Ge/Si с квантовыми точками Ge, содержащих два типа плазмонных метаповерхностей на кремнии. Один тип представлял собой периодические решетки отверстий в золотой пленке, второй – двумерные массивы наноантенн в виде золотых дисков. Показано, что решетки отверстий обеспечивают усиление ближнеполевых компонент в активной области детекторов в 2.3–2.9 раз больше по сравнению с массивами дисковых антенн. Большой коэффициент усиления электрического поля связан с большей глубиной проникновения вглубь полупроводника поверхностной плазмонной волны, возбужденной перфорированной металлической пленкой. В результате возбуждения поверхностных плазмонных волн в оптимальных гетероструктурах Ge/Si с квантовыми точками удалось получить квантовую эффективность на уровне 2%, токовую чувствительность до 0.4 А/Вт и фотовольтаическую обнаружительную способность 4.5×10^{12} см·Гц^{1/2}/Вт на длине волны 4 мкм при $T=78$ К.

Исследования проведены при финансовой поддержке гранта РФФИ №16-29-03024.