

А.А.Анисимов (6 курс, каф. РФ), А.В.Медведев, к.т.н., доц.

ДЕТЕКТОР ФОТОНОВ ДЛЯ СИСТЕМ КВАНТОВОЙ КРИПТОГРАФИИ

ABSTRACT: The active quenching circuit for avalanche photodiode (APD) have been developed. InGaAs/InP APD with separate absorption and multiplication regions was observed. The major ways of optimizing were research.

Ключевым элементом в системах квантовой криптографии является детектор фотонов. От параметров этого устройства зависит скорость и дальность передачи информации и степень защищенности системы.

В настоящей работе выполнен анализ и выбор соответствующей схемы детектора, а также ее оптимизация. В качестве фоточувствительного элемента используется лавинный фотодиод (ЛФД), работающий в режиме, похожем на режим работы счетчика Гейгера-Мюллера. На диод подается напряжение обратного смещения, превышающее на несколько вольт напряжение пробоя. При этом в области пространственного заряда в результате ударной ионизации, производимой фотоэлектронами, образуются участки устойчивой микроплазмы [3, 4]. Именно ток микроплазмы определяет величину тока, протекающего через диод. Величина тока довольно значительная – от десятков до сотен микроампер. К образованию микроплазмы может привести как фотоэлектрон, так и электрон, оказавшийся в зоне проводимости в результате тепловой генерации или процесса туннелирования. Последние два процесса приводят к появлению темновых отсчетов и, как следствие, ошибкам в передаче информации.

В результате предварительного анализа данных, приведенных в литературе [1, 2], было выяснено, что наиболее подходящими для детектирования фотонов являются ЛФД на основе гетероструктуры InGaAs/InP с разделенными областями поглощения и умножения (т.н. ЛФД с проникновением поля). У данных диодов низкая вероятность туннелирования носителей (по сравнению с ЛФД, имеющими резкий переход), а также маленький темновой ток, обусловленный тепловой генерацией (меньше, чем у германиевых ЛФД). Кроме того, InGaAs/InP ЛФД имеют высокую квантовую эффективность на длине волны 1,55 мкм, для которой потери в волокне минимальны.

Для уменьшения количества темновых отсчетов на ЛФД подается постоянное напряжение смещения, меньшее, чем напряжение пробоя, и импульсное напряжение с большой скважностью (длительность импульса – 3 нс, частота – 1 МГц), переключающее диод в режим счета фотонов. Сам ЛФД охлаждается до отрицательных температур. При охлаждении падает квантовая эффективность и возрастает вероятность захвата носителей ловушками, что приводит к развитию лавины в отсутствие фотона. Таким образом, путем подбора температуры, амплитуды импульсного напряжения и частоты следования импульсов, можно оптимизировать систему.

Экспериментальная установка состоит из источника постоянного напряжения смещения, генератора импульсов, ЛФД, помещенного в криостат, компаратора и частотомера. Импульсы смещения, поступающие с генератора, переводят ЛФД в режим счета на время порядка 2 нс. Компаратор регистрирует «срабатывание» ЛФД. Выход компаратора подключен к частотомеру. Зная частоту следования импульсов, поступающих от генератора, можно определить вероятность появления темнового отсчета. При облучении фоточувствительной площадки ЛФД лазерным излучением, прошедшим через аттенюатор можно определить значение квантовой эффективности как отношение разности световых и темновых отсчетов к количеству фотонов, падающих на ЛФД в единицу времени. Вероятность ложного срабатывания в системах квантовой криптографии должна быть не более 10^{-5} .

ЛИТЕРАТУРА:

1. G. Ribordy, J. Gautier, H. Zbinden, N. Gisin, «Performance of InGaAs/InP avalanche photodiodes as gated-mode photon counters,» Appl. Opt. v. 37 (12), pp. 2272-2277 (1998).
2. A. Lacaita, P. A. Francese, F. Zappa, S. Cova, «Single-photon detection beyond 1 μm : performances of commercially available InGaAs/InP detectors,» Appl. Opt. v. 35, pp. 2986-2996 (1996).
3. R. J. McIntyre, «Theory of microplasma instability in Silicon,» Appl. Phys. v. 32 (6), pp. 983-995 (1961).
4. R. H. Haitz, «Model for the electrical behavior of a microplasma,» Appl. Phys. v. 35 (5), pp. 1370-1376 (1964).