

Спонтанная эмиссия и шум в плазмонных волноводах с полной компенсацией потерь

А.А. Вышневым¹, Д.Ю. Федянин¹.

¹Лаборатория нанооптики и плазмоники, Московский физико-технический институт
(государственный университет)

Поверхностные плазмон-поляритоны (ППП) являются электромагнитными волнами, распространяющимися на границе раздела двух материалов, один из которых является металлом [1]. Плазмонные волноводы позволяют уменьшить размер оптоэлектронных устройств до субволновых размеров за счет высокой степени локализации электромагнитного поля [2], что предопределяет их перспективы практического применения в интегрированных оптоэлектронных цепях. Потери электромагнитной энергии в металле ограничивают длину пробега ППП в волноводах с сильной локализацией поля несколькими десятками микрон, что сдерживает их практическое внедрение в практические устройства. На данный момент одним из наиболее реалистичных способов решения этой проблемы является использование активной среды для полной или частичной компенсации потерь за счет вынужденной эмиссии в плазмонную моду [3, 4]. Однако в усиливающей среде также будут происходить акты спонтанной эмиссии излучения в моды волновода, которые приведут к увеличению фотонного шума, причем интенсивность спонтанной эмиссии будет тем сильнее, чем выше усиление в активной среде [5]. Эти шумы приводят к искажению сигнала переданного в волновод и могут приводить к ошибкам при передаче данных через волновод, в случае если он является составным элементом межсоединения на кристалле. В данной работе мы развиваем теорию фотонных шумов, обусловленных спонтанной эмиссией, аналогично работам по волоконно-оптическим усилителям [6] и усилителям плазмонов на основе волноводов с большой длиной пробега (LRSPP) [7]. Далее, применяя разработанную теорию, мы находим шумовые характеристики широко используемых плазмонных волноводов (рис. 1).

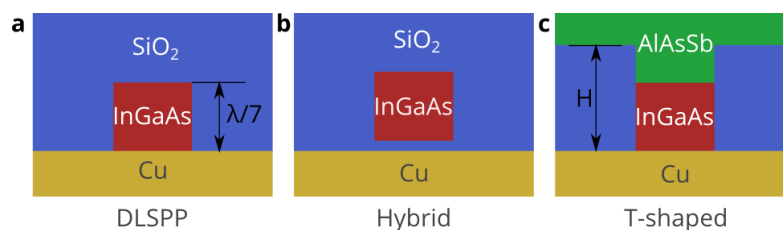


Рис. 1. Плазмонные волноводы планарной геометрии: а) волновод типа диэлектрик-на-металле, б) гибридный волновод, в) Т-образный волновод.

В отличие от ранее изученных конфигураций, спектр спонтанной эмиссии является широким, а ее мощность в практических условиях может оказаться сопоставимой с мощностью сигнала, что приводит к тому, что шум биений спонтанной эмиссии оказывается значимым. Тем не менее, путем применения резонансного фильтра оптического сигнала перед фотодетектором можно отсечь большую часть сигнала спонтанной эмиссии и кратно понизить шум (рис. 2).

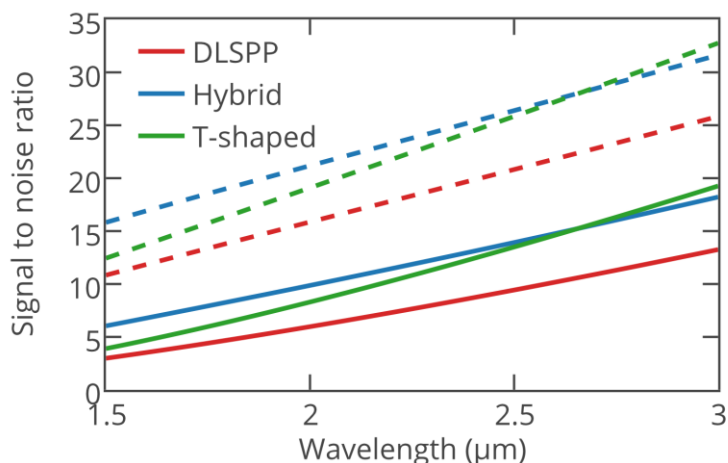


Рис. 2. Зависимость соотношения сигнал-шум от длины волны в различных волноводах. Пунктирная линия соответствует шумовой характеристике при использовании резонансного фильтра. Мощность сигнала – 100 мкВт на телекоммуникационной длине волны 1500 нм, полоса пропускания электрической цепи фотодетектора – 10 ГГц.

Литература.

- 1 *H. Raether*, Surface plasmons on smooth and rough surfaces and on gratings. – Springer Berlin Heidelberg, 1988. – 117 p.
- 2 *S. I. Bozhevolnyi [et al.]* Channel Plasmon-Polariton Guiding by Subwavelength Metal Grooves. – Phys. Rev. Lett. – 2005. – 95. – 046802.
- 3 *А. Н. Сударкин, П. А. Демкович*, Возбуждение ПЭВ на границе металла с усиливающей средой. – Журнал Технической Физики. – 1989. – 59(7). – С. 86.
- 4 *J. Grandidier, et al.*, Gain-Assisted Propagation in a Plasmonic Waveguide at Telecom Wavelength. – Nano Lett. – 2009. – 9(8). – P. 2935-2939.
- 5 *Х. Кейси, М. Паниш*, Лазеры на гетероструктурах. Т. 1. – М.: Мир, 1981. – 297 с.
- 6 *N. K. Dutta, Q. Wang*, Semiconductor Optical Amplifiers: Second Edition – World Scientific Publishing Company, 2013 – 297 p.
- 7 *I. De Leon, P. Berini*, Theory of noise in high-gain surface plasmon-polariton amplifiers incorporating dipolar gain media – Opt. Express – 2011 – 19 – P. 20506-20517.