

Таммовский плазмон: свойства и перспективы применений

М.А. Калитеевский

Санкт-Петербургский национальный исследовательский академический университет им. Ж.И. Алфёрова РАН, Санкт-Петербург, Россия,
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия,

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: m.kaliteevski@mail.ru

Таммовский плазмон-поляритон – это локализованное состояние света на границе между тонким слоем металла и распределенным брэгговским отражателем, которое было впервые предсказано теоретически [1–3] и продемонстрировано экспериментально [4–6] более 10 лет назад. Использование металлов в фотонных наноструктурах приводит к значительным энергетическим потерям из-за сильного поглощения света в металле [7], что ограничивает возможности использования плазмонных систем в оптоэлектронных приборах.

В свою очередь, параметры структуры с таммовским плазмоном могут быть подобраны специальным образом для того, чтобы распределение электрического поля моды имело минимальное перекрытие с металлическим слоем (рис. 1), что позволяет значительно уменьшить потери и открывает новые возможности применений.

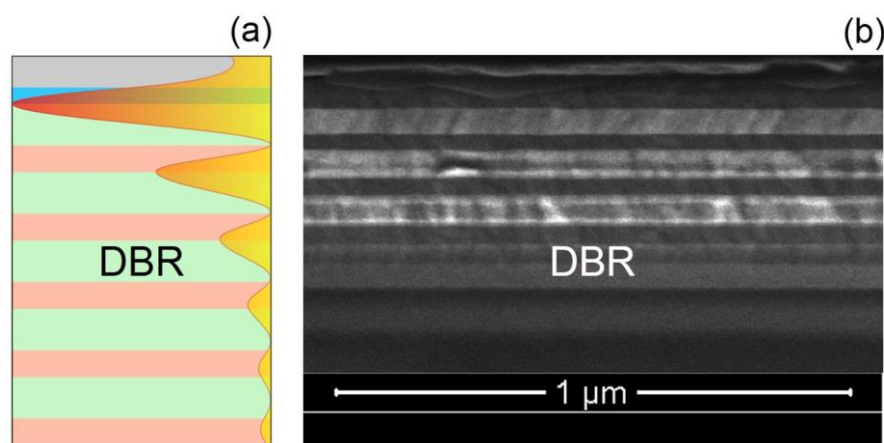


Рис. 1. (а) Схема структуры с таммовским плазмоном и распределение квадрата электрического поля моды. (b) Изображение структуры, полученное с помощью сканирующего электронного микроскопа [8]

Кроме этого, по сравнению с поверхностным плазмон-поляритоном, таммовский плазмон имеет ряд дополнительных преимуществ: диспер-

сия таммовского плазмона лежит внутри светового конуса, что позволяет возбуждать локализованное состояние без использования различных призм и решеток, таммовский плазмон может формироваться в обеих ТЕ и ТМ поляризациях, резонансной частотой моды таммовского плазмона можно управлять меняя параметры системы. За последнее время было исследовано множество систем, поддерживающих таммовский плазмон, в том числе систем с аксиальной симметрией [9] и гибридных микрорезонаторов, поддерживающих связь таммовского плазмона с другими локализованными состояниями [10, 11].

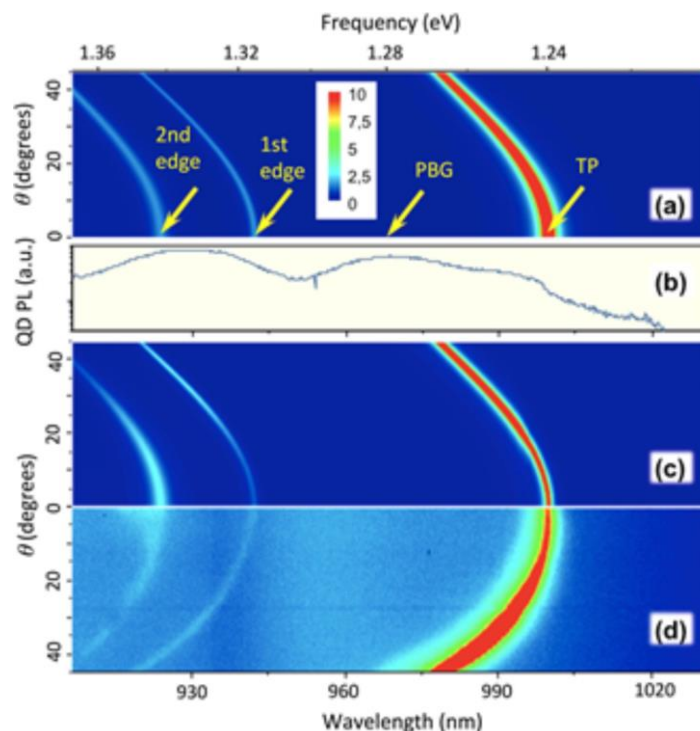


Рис. 2. (a) Зависимость рассчитанного модового фактора Парселла от частоты и угла излучения. (b) Спектр излучения квантовых точек. (c) Зависимость произведения рассчитанного модового фактора Парселла и спектра излучения квантовых точек от частоты и угла излучения. (d) Экспериментальный спектр фотолюминесценции структуры с таммовским плазмоном [21]

Также, была продемонстрирована возможность создания структуры, с резонансной частотой таммовского плазмона, выше плазменной частоты металла [12]. На основе структур с таммовским плазмоном были продемонстрированы несколько прорывных открытий в области оптоэлектронных систем с металлическими элементами: была продемонстрирована лазерная генерация [13, 14], источник единичных фотонов [15], макроскопическая оптическая когерентность [16] и явление эффективного взаимодействия таммовского плазмона с экситоном [17].

В системах с внутрирезонаторными металлическими контактами [18] было экспериментально продемонстрировано снижение поглощения света в металлических слоях [19]. Такая структура может стать основой для вертикально излучающего лазера нового типа. Также была показана возможность дополнительного снижения поглощения и увеличения добротности моды таммовского плазмона при использовании субволнового структурирования металлического слоя [20].

Одним из важных для приборных применений явлений, которые были продемонстрированы в структуре с таммовским плазмоном – это явление усиления скорости спонтанной эмиссии квантовых точек, взаимодействующих с таммовским плазмоном [21]. В работе [21] было показано, что, несмотря на поглощение света в металлическом слое, в спектральных областях, соответствующих дисперсии таммовского плазмона, наблюдается почти десятикратное увеличение скорости спонтанной эмиссии (рис. 2). Явление усиления скорости спонтанной эмиссии (эффект Парселла) вкупе с вышеупомянутыми свойствами структур с таммовским плазмоном открывают широкие перспективы для различных применений, в том числе, для создания высокоэффективных органических светодиодов и беспороговых лазеров.

1. Kaliteevski M. et al. // Phys. Rev. B. 2007. V. 76. No. 16. P. 165415.
2. Vinogradov A.P. et al. // Phys. Rev. B. 2006. V. 74. No. 4. P. 045128.
3. Merzlikin A.M. et al. // Phys. B Condens. Matter. 2007. V. 394. No. 2. P. 277–280.
4. Sasin M.E. et al. // Appl. Phys. Lett. 2008. V. 92. No. 25.
5. Goto T. et al. // Phys. Rev. Lett. 2008. V. 101. No. 11. P. 113902.
6. Goto T. et al. // Phys. Rev. B. 2009. V. 79. No. 12. P. 125103.
7. Khurgin J.B. // Nat. Nanotechnol. 2015. V. 10. No. 1. P. 2–6.
8. Морозов К. М. и др. // ФТП. 2018. V. 52, No. 11. P. 1308-1312.
9. Little C.E. et al. // Phys. Rev. B. 2012. V. 86. No. 23. P. 235425.
10. Kaliteevski M. et al. // Appl. Phys. Lett. 2009. V. 95. No. 25. P. 251108.
11. Brückner R. et al. // Appl. Phys. Lett. 2012. V. 100. No. 6. P. 062101.
12. Brand S., Kaliteevski M.A., Abram R.A. // Phys. Rev. B. Phys. 2009. V. 79. No. 8. P. 085416.
13. Gazzano O. et al. // Phys. Rev. Lett. 2011. V. 107. No. 24. P. 247402.
14. Symonds C. et al. // Nano Lett. 2013. V. 13. No. 7. P. 3179–3184.
15. Gazzano O. et al. // Appl. Phys. Lett. 2012. V. 100. No. 23. P. 232111.
16. Brückner R. et al. // Nat. Photonics. 2012. V. 6. No. 5. P. 322–326.
17. Rahman S.S.U. et al. // Sci. Rep. 2016. V. 6. P. 34392.
18. Калитеевский М.А., Лазаренко А.А. // ПЖТФ. 2013. V. 39. No. 15. P. 64–71.
19. Kaliteevski M.A. et al. // Plasmonics. 2015. V. 10. No. 2. P. 281–284.
20. Gubaydullin A.R. et al. // Appl. Phys. Lett. 2017. V. 111. No. 26. P. 261103.
21. Gubaydullin A.R. et al. // Sci. Rep. 2017. V. 7. No. 1. P. 9014.