

сти. Оксид графена обеспечивает повышенную плотность функциональных групп, что облегчает иммобилизацию ферментов и высокий контроль над свойствами поверхности. Оксид графена может быть возвращен в графитовую форму химическим, термическим или фотонным восстановлением. Этот процесс восстановления превращает диэлектрик в электропроводящий графеноподобный материал, известный как восстановленный оксид графена (ВОГ).

Мы предлагаем использовать восстановленный оксид графена /модифицированный графен и биоразлагаемые полимеры для создания антенн для беспроводного мониторинга восстановления тканей внутри человека.

Для проведения экспериментов были отобраны три полимера: поликапролактон (PCL), полимолочная кислота (PLA) и винилиденфторид с тетрафторэтиленом (VDF TeFE). На скаффолды полимеров была нанесена спиртовая дисперсия оксида графена. Высушенный слой ОГ облучался с помощью лазера с длиной волны 450 нм, для каждого полимера был подобран режим

восстановления, возможный для данного лазера и условий восстановления, который обеспечивал лучшую проводимость и равномерность слоя, путем подбора скорости перемещения и мощности лазера. Далее образцы были протестированы на механическую и химическую стабильность. Тест на механическую стабильность показал ухудшение в проводимости слоя ВОГ у PCL и PLA, и полном отсутствии проводимости у VDF-TeFE. Химическая стабильность образцов остается под сомнением, так как проведенные измерения обладают недостаточной точностью. Необходимы более точные измерения проводимости 4-зондовым методом с большей выборкой образцов.

Разрабатываемые биоразлагаемые антенны позволяют контролировать заживление тканей или приживаемость импланта в теле человека. Композиты биоразлагаемых полимеров PCL и PLA показывают неплохие результаты стабильности. Планируется повторение экспериментов с использованием модифицированного графена.

### Список литературы

1. *El-Safty S.A., and Shenashen M.A. // Materials Today Bio, 2020. – Vol. 5. – 100044.*
2. *Harrison B.S., Atala A. // Biomaterials, 2007. – Vol. 28. – Issue 2. – P. 344–353.*

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПЛАЗМОН-УПРАВЛЯЕМЫЙ ФОТОКАТАЛИЗ

А.А. Аверкиев, Р.Д. Родригес, Е.С. Шеремет  
Научный руководитель – PhD, профессор ИШХБМТ Р.Д. Родригес

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, aaa75@tpu.ru*

Понимание точного физического механизма плазмонного фотокатализа имеет важное значение для устойчивой и высокоэффективной реализации фотохимических реакций. Для исследования фотокаталитической активности были использованы самоорганизующиеся монослои молекул 4-нитробензолтиола (4NBT) адсорбированные на плазмонных наночастицах. Полученные системы были исследованы с помощью гигантской спектроскопии комбинационного рассеяния (SERS) и гигантской спектроскопии комбинационного рассеяния, усиленного зондом (TERS).

Нами было установлено, что локализованный нагрев способствует плазмонному фотокатализу молекул 4NBT. Тем не менее, несмотря

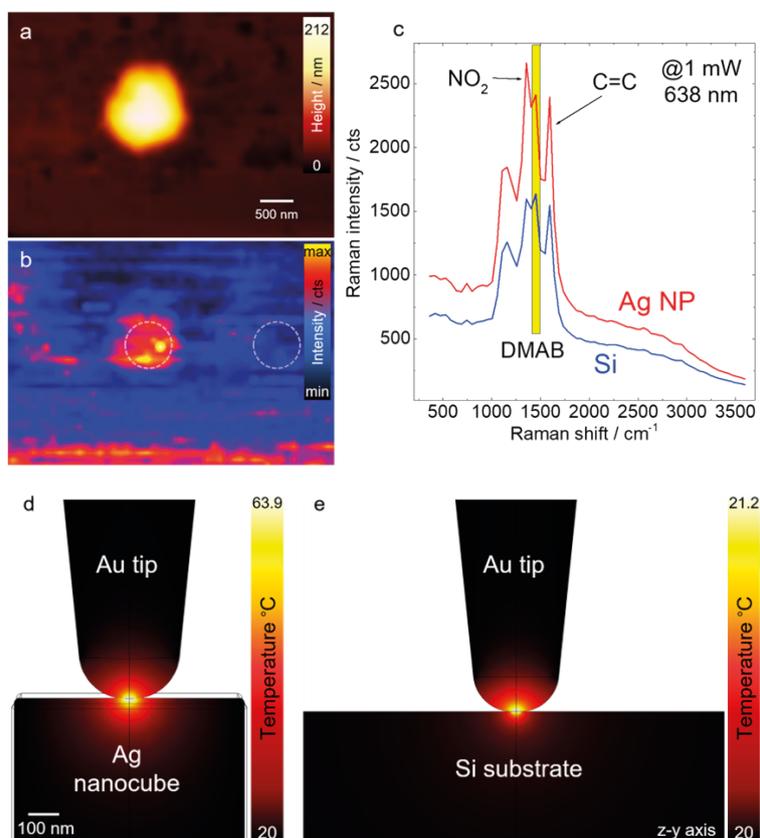
на недавний прогресс в фотокатализе, условия, необходимые для превращения 4NBT в аминобензолтиол (4ABT) и димеркаптоазонбензол (DMAВ), все еще обсуждаются [1, 2]. Считается, что механизмы, лежащие в основе реакции, зависят от каталитических активных центров металла атомного масштаба, длины волны возбуждения, материала (золото/серебро и т.д.), энергии LSPR, горячих точек, электронной плотности состояний, расстояния между молекулами субстрата и от температуры.

Методика TERS позволяет соотносить спектральные различия с усилением электрического поля (интенсивность комбинационного рассеяния) и каталитической активностью (отношения интенсивностей). Несмотря на неоднозначные

результаты исследований о роли плазмонного нагрева и электронного вклада в плазмонный фотокатализ [1, 2], нами установлено, что локализованный нагрев вносит значительный вклад для микро и наномасштаба, с использованием SERS и TERS соответственно. Тепловая энергия способствует плазмон-индуцированному фотокаталитическому преобразованию. Комбинация фототермического нагрева и переноса заряда активирует возбуждение молекул металла до состояния с ландшафтом поверхности потенциальной энергии (ППЭ), в котором фотохимическое преобразование усиливается. О данных изменениях ППЭ свидетельствует также нели-

нейное поведение реакции в зависимости от температуры.

Кроме того, когда преобладает тепловой вклад, эффективность реакции, определенная из спектров комбинационного рассеяния, не коррелирует с усилением электрического поля. Полученные результаты показывают, что наше текущее понимание плазмонного фотокатализа является неполным без учета взаимодействия между фототермическими и электронными факторами, которые предлагают ещё неисследованный путь для разработки нового класса фотокатализаторов с повышенными эффективностью и селективностью.



**Рис. 1.** (a) АСМ топография наночастицы, (b) TERS карта интенсивности, (c) интенсивность спектров, полученных из области на кремниевой подложке и от серебряной наночастицы покрытых монослоем молекулы 4NBT. Симуляция локализованной температуры для метода TERS с использованием золотого зонда в области (d) серебряной наночастицы, (e) кремниевой подложки

### Список литературы

1. Keller E.L. & Frontiera R.R. Ultrafast Nanoscale Raman Thermometry Proves Heating Is Not a Primary Mechanism for Plasmon-Driven Photocatalysis. *ACS Nano* vol. 12 5848–5855 (2018).
2. Kazuma E. & Kim Y. Mechanistic Studies of Plasmon Chemistry on Metal Catalysts. *Angew. Chem. Int. Ed Engl.* 58, 4800–4808 (2019).