

КОНФЕРЕНЦИИ И СИМПОЗИУМЫ

Научная сессия Отделения общей физики и астрономии Российской академии наук

(25 ноября 1998 г.)

25 ноября 1998 г. в Институте спектроскопии РАН состоялась научная сессия Отделения общей физики и астрономии Российской академии наук. На сессии были заслушаны доклады:

1. **Летохов В.С.** (Институт спектроскопии РАН, г. Троицк, Московская обл.). *Проблемы нанооптики.*

2. **Виноградов Е.А., Добряков А.Л., Коваленко С.А., Лозовик Ю.Е., Матвеев Ю.А., Фарзтдинов В.М.** (Институт спектроскопии РАН, г. Троицк, Московская обл.). *Спектроскопия поляритонов полупроводниковой микрополости.*

3. **Агранович В.М.** (Институт спектроскопии РАН, г. Троицк, Московская обл.). *Экситоны и оптические нелинейности в гибридных органических-неорганических наноструктурах.*

4. **Лозовик Ю.Е., Меркулова С.П.** (Институт спектроскопии РАН, г. Троицк, Московская обл.). *Перспективы нанолокальной фемтосекундной спектроскопии и нанолитографии.*

5. **Рябцев А.Н.** (Институт спектроскопии РАН, г. Троицк, Московская обл.). *Спектроскопия ионов с 5d-электронами в основном состоянии.*

6. **Думеш Б.С.** (Институт спектроскопии РАН, г. Троицк, Московская обл.). *Микроволновая спектроскопия молекулярных ван-дер-ваальсовых комплексов в астрофизических исследованиях.*

7. **Попова М.Н.** (Институт спектроскопии РАН, г. Троицк, Московская обл.). *Инфракрасная спектроскопия новых стин-пайерсовских соединений.*

8. **Компанец О.Н.** (Институт спектроскопии РАН, г. Троицк, Московская обл.). *Новые разработки оптико-спектральных приборов в Институте спектроскопии РАН.*

Краткие сообщения по этим докладам публикуются ниже.

света) или в объеме $V \ll \lambda^3$. Она использует новые или модифицированные известные эффекты линейного или нелинейного, классического или квантового взаимодействия лазерного света с атомами, молекулами, кластерами и наноструктурами. Практическое развитие этой области основано на создании лазеров и нанотехнологии, которая позволяет создавать субмикронные структуры (напоотверстия, наношели, наноиглы и т.д.) для локализации света в очень малых размерах.

Фундаментальные черты нанооптики: 1) возможность сильно локализовать лазерный свет для изучения структуры вещества с нанометровым пространственным разрешением, но с сохранением спектральной селективности, характерной для оптики; 2) отклик вещества (атома, молекулы и т.д.) на локализованный свет существенно изменяется вблизи наноструктур по сравнению со случаем свободного пространства.

В докладе рассмотрены обе эти особенности, а также упомянуты некоторые возможные применения.

Первым серьезным достижением нанооптики является разработка в течение последних 15-ти лет сканирующей микроскопии ближнего поля (SNOM) [1], основанной на идеях E. Synge и A. Einstein 60-летней давности [2] (см. обзоры [3–5]). SNOM имеет предел пространственного разрешения на уровне 30 нм, что связано с трудностью распространения света через столь малые отверстия. Мы предложили модифицировать SNOM таким способом [6], чтобы вместо туннелирования света через отверстия происходила резонансная диполь-дипольная передача возбуждения от донора к акцептору образца с последующим наблюдением флуоресценции (рис. 1). (Пространственное разрешение в этом случае определяется не размером отверстия, а радиусом Форстера, составляющим 0,5–5 нм.) Для этого в [7] при малой концентрации поглощающих центров (F_2 в LiF) была создана "наноигла" с одним резонансно возбуждаемым центром под поверхностью иглы. Наблюдение осуществлялось с помощью разработанного нами лазерного резонансного фотоэлектронного микроскопа со стандартным пространственным разрешением 30 нм [8], который является идеальным инструментом для отбора таких наноигл. Помимо этого, необходимо было также разработать технику сканирования наноиглы в вертикальном направлении с точностью лучше 1 нм. Это было осуществлено в так называемом контактном микроскопе ближнего поля [9]. И, таким образом, имея

PACS numbers: 42.30.Yc, 42.50.Dv, 42.87.-d, 85.42.+m

Проблемы нанооптики

В.С. Летохов

Нанооптика — это новое направление в *nanoscience* и *nanotechnology*, которое использует свет, локализованный в пространстве на размерах $a \ll \lambda$ (λ — длина волны

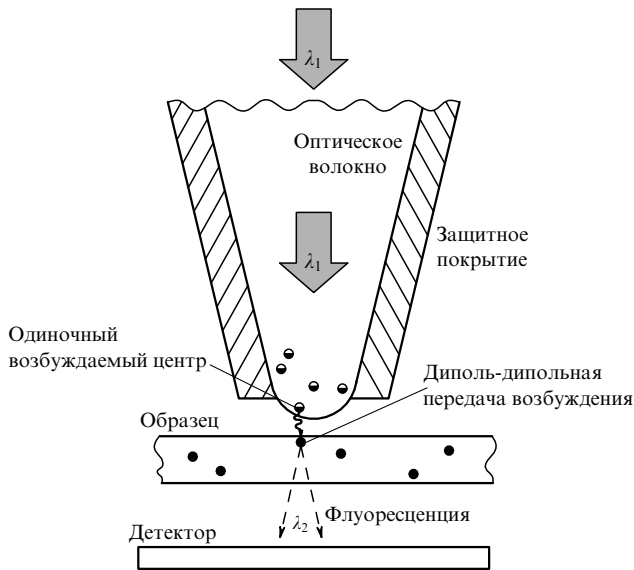


Рис. 1. Сканирующий оптический микроскоп с нанометровым пространственным разрешением, основанный на резонансной передаче энергии возбуждения от донора на поверхности наноиголки к флуоресцирующему акцептору на поверхности исследуемого образца [6].

все необходимые элементы, мы приступили к реализации микроскопии ближнего поля, использующего резонансную передачу энергии.

Однако характеристики резонансной передачи энергии могут быть существенно модифицированы вблизи наноструктур, в частности, вблизи верхушки наноиголки. Это одна из типичных проблем нанооптики, которая была теоретически исследована в [10], так как это необходимо для более глубокого понимания разрабатываемого микроскопа. Верхушка наноиголки моделировалась диэлектрической сферой с радиусом $a \ll \lambda$. И, действительно, было обнаружено заметное отличие эффекта резонансной передачи энергии от случая свобод-

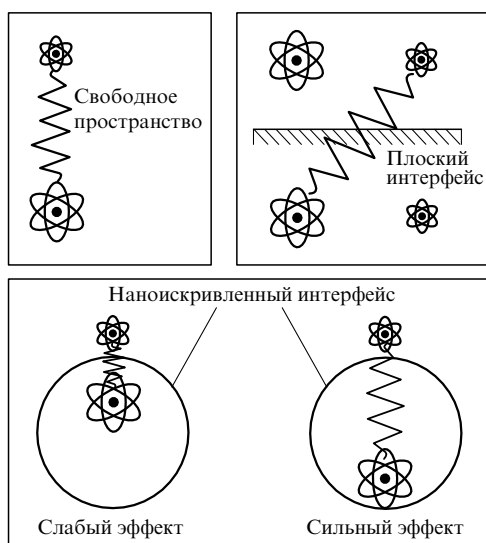
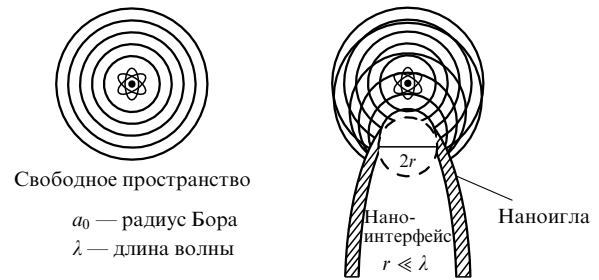


Рис. 2. Качественное объяснение изменения скорости резонансной передачи энергии между диполями, разделяемыми "наноинтерфейсом" по сравнению со случаями свободного пространства и плоской поверхности. Эффект связан с изменением расстройки частот донора внутри наносферы и акцептора [10].

ного пространства, плоской поверхности и искривленной до наноразмеров поверхности, в основном, за счет изменения расстройки частот донора и акцептора, когда акцептор находится в разных частях наносреды (рис. 2).

Еще одним интересным эффектом нанооптики является изменение вероятностей запрещенных (в частности, квадрупольных) переходов вблизи диэлектрической наноиголки. Этот вопрос был теоретически исследован в [11]. На рисунке 3 показано, что наносфера с радиусом $r \ll \lambda$ повышает вероятность квадрупольного перехода по сравнению с дипольным отношением $(\lambda/r)^2$.



$$\frac{\Gamma_{\text{квдр}}}{\Gamma_{\text{дип}}} \propto \left(\frac{a_0}{\lambda}\right)^2 \ll \frac{\Gamma_{\text{квдр}}}{\Gamma_{\text{дип}}} \propto \left(\frac{a_0}{r}\right)^2$$

Рис. 3. Качественное объяснение изменения вероятности квадрупольного перехода по сравнению с дипольным для диполя вблизи наносферы [11].

Конечно, вблизи наноструктур модифицируются и многие другие оптические эффекты.

Наконец, отметим, что лазерный фотоэлектронный микроскоп может быть применен в качестве считывающего устройства, сочетающего параллельное и последовательное считывание информации, в системах сверхплотной оптической памяти (10^{11} бит см^{-2}) [12].

В заключение автор хотел бы выразить глубокую благодарность всем, кто участвовал в этой трудной программе и, в особенности, С. Секацкому с сотрудниками, Ю. Матвейцу с сотрудниками, В. Климову (ФИАН); фирме "Хамаатцу Фотоникс" за предоставленное оборудование; Российской академии наук, РФФИ и Министерству обороны США (Аризонский университет) за финансовую поддержку этой работы.

Список литературы

1. Pohl D W, Denk W, Lanz M *Appl. Phys. Lett.* **4** 651 (1984)
2. Syngé E H *Philos. Mag.* **6** 356 (1928)
3. Pohl D W *Advances in Optical and Electron Microscopy* Vol. 12 (1991)
4. Courjon D, Bainier C *Rep. Prog. Phys.* **57** 9989 (1994)
5. Ohtzu M *IEEE J. Light Wave Technology* **13** 1200 (1995)
6. Секацкий С К, Летохов В С *Письма в ЖЭТФ* **63** 311 (1996); *Appl. Phys. B* **63** 523 (1996)
7. Секацкий С К, Летохов В С *Письма в ЖЭТФ* **65** 441 (1997)
8. Konopsky V N, Sekatskii S K, Letokhov V S *Opt. Commun.* **132** 251 (1996); *Appl. Surface Science* **94/95** 148 (1996)
9. Лапшин Д А, Решетов В Н, Секацкий С К, Летохов В С *Письма в ЖЭТФ* **67** 245 (1998)
10. Klimov V V, Letokhov V S *Phys. Rev. A* **58** 3235 (1998); *Chem. Phys. Lett.* **285** 313 (1998)
11. Klimov V V, Letokhov V S *Phys. Rev. A* **54** 4408 (1996); *Opt. Commun.* **122** 155 (1996)
12. Letokhov V S, Sekatskii S K *Opt. Commun.* **147** 19 (1998)