

УДК 535.13

Т. А. АБРАМЯН

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОНИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ДИЭЛЕКТРИК–МЕТАЛЛ–ДИЭЛЕКТРИК

Изучаются особенности распространения световой волны в окрестности конусообразной головки оптического волокна, которая покрыта тонким слоем алюминия. При выходе вершины волокна из поверхности жидкости регистрируется резкий всплеск выходной мощности. Поскольку этот процесс очень существенно зависит от положения вершины волокна, то с его помощью можно обнаружить очень слабые колебания поверхности жидкости.

Ряд особенностей оптического волокна, к числу которых относятся многоканальность, интерференционная чувствительность, устойчивость относительно электромагнитных помех, маленький вес, небольшие размеры, удобное расположение в пространстве, позволяют создать на его основе различные сенсоры высокого разрешения [1–8]. В частности интересными свойствами обладает покрытая металлическим слоем конусообразная головка оптического волокна, которая изначально была создана в качестве зонда нанометрического оптического сканирующего микроскопа ближнего поля. Однако в дальнейшем оказалось, что ее уникальные возможности можно использовать также для создания оптических сенсоров [9–10].

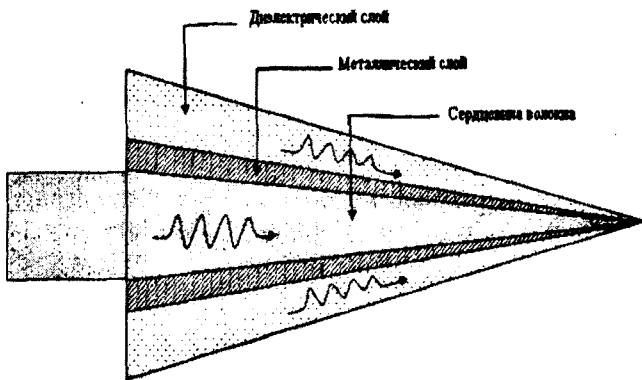


Рис. 1. Продольное сечение конусообразной головки оптического волокна.

В настоящей работе изучаются особенности распространения световой волны в окрестности конусообразной головки оптического волокна, которая покрыта тонкими слоями металла и прозрачного диэлектрика (рис. 1).

В предложенной структуре существуют два волноводных канала.

Первый из них – внутренний канал, где волна распространяется через сердцевину оптического волокна. В ходе распространения через второй, внешний канал волна локализуется в диэлектрическом слое. Если разделяющий эти каналы металлический слой достаточно тонкий, то указанные моды могут связываться. Тогда волновая энергия может перекачиваться из одной моды в другую. Однако это может иметь место, когда волновые векторы внутренней и внешней мод выравниваются. Необходимо отметить также другую особенность исследуемой системы. Волна, которая распространяется по внутреннему каналу, практически полностью отражается от конца волокна, в то время как энергия волны, распространяющейся по внешнему каналу, излучается из вершины волокна. Таким образом, во время эксперимента можно реализовать случай, когда световая волна вводится во внутренний канал, а излучение регистрируется из внешнего канала.

В процессе выхода вершины волокна из жидкости можно получить диэлектрический слой с меняющейся толщиной. Из-за поверхностного натяжения жидкости на вершине волокна формируется мениск. При выходе вершины волокна из поверхности жидкости форма мениска меняется. Поскольку волновой вектор внешней моды существенно зависит от толщины диэлектрического слоя и, следовательно, от формы мениска, то можно найти область, где выравниваются волновые векторы внешней и внутренней мод. В этой области происходит перекачка волновой энергии из одной моды в другую.

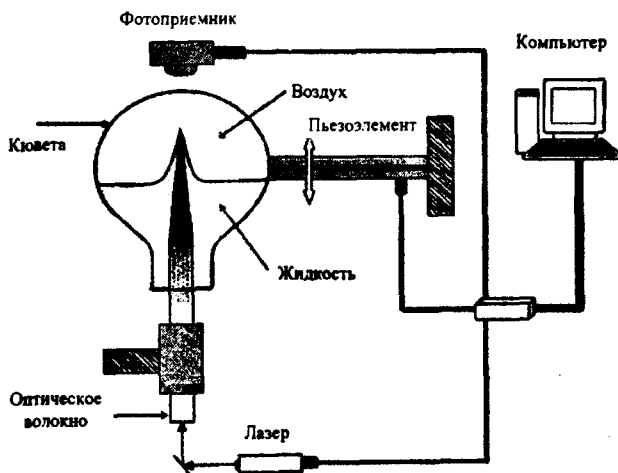


Рис. 2. Схема эксперимента.

В работе изучается возможность резонансного возбуждения внешней волноводной моды в окрестности конусообразной головки оптического волокна, которая покрыта тонкими слоями алюминия и глицерина. Цель эксперимента – обнаружить перекачку волновой энергии из внутренней моды во внешнюю. В результате резонансного возбуждения внешней моды резко возрастает мощность выходного излучения, что и регистрируется.

Эксперимент и обсуждение. Экспериментальная схема представлена на рис. 2.

Излучение полупроводникового лазера с мощностью 30 мВт и длиной волны 690 нм через линзы направляется в оптический волновод диаметром 100 мкм .

Конусообразная головка волокна создается описанным в [11] способом. Угол конуса на вершине волокна составляет 16° . Покрывает он слоем алюминия толщиной 80 нм . В качестве жидкости используется глицерин. Перемещение

вершины в кювете происходит с помощью пьезоэлектрической системы с шагом 10 нм. На каждом шаге выходная мощность измеряется 300 раз и усредняется.

На рис. 3 представлена зависимость выходной мощности излучения от положения вершины относительно поверхности жидкости. В ходе перемещения вершина волокна выходит из жидкости. При этом регистрируется резкий всплеск выходной мощности, что может иметь место в условиях резонансной перекачки волновой энергии из внутренней моды во внешнюю. Этот процесс очень сильно зависит от положения вершины волокна относительно поверхности жидкости. Следовательно, с его помощью можно регистрировать колебания поверхности жидкости с амплитудой до нескольких десятков нанометров. Надо отметить, что тензоэлектрические или пьезоэлектрические приборы позволяют обнаружить только колебания поверхностей твердых тел.

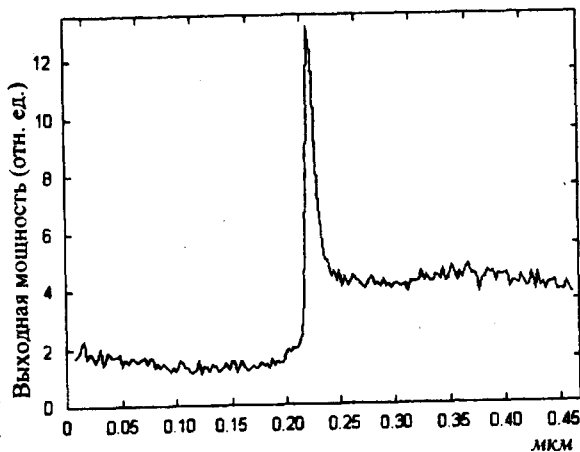


Рис. 3. Зависимость выходной мощности от положения вершины волокна.

Предложенный метод исследования слабых колебаний поверхности жидкости можно применять при изучении гидродинамических процессов. В частности для моделирования процессов, происходящих на водных поверхностях Земли.

Обсуждаемое явление может также служить основой для обнаружения очень слабых сейсмических волн.

Кафедра радиофизики сверхвысоких частот и телекоммуникаций

Поступила 11.11.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Udd E. — Rev. Sci. Instrum., 1995, v. 66, p. 4015.
2. Kersey A.D. — Opt. Fiber Technol., 1996, v. 2, p. 291.
3. Jackson D.A. — J. Phys. E. Sci. Instrum., 1985, v. 18, p. 981.
4. Sirkis J.S. Fibre Optic Sensors for Construction Materials and Bridges, 1998, p. 44.
5. Kersey A.D., Berkoff T.A. and Morey W.W. — Opt. Lett., 1993, v. 18, p. 1370–1372.
6. Lissak B., Arie A. and Tur M. — Opt. Lett., 1988, v. 23, p. 1930–1932.
7. Seat H.C., Ouisse E., Morteau E. and Metivier V. — Meas. Sci. Technol., 2003, v. 14, p. 710–716.
8. Christmas S.P. and Jackson D.A. — Meas. Sci. Technol., 2001, v. 12, p. 897–900.
9. Kawata S., Ohtsu M. and Lrie M. Nano-Optics. Springer: Optical Sciences, 2002.

10. Kawata S. Near-field optics and surface plasmon-polaritons. Springer, 2001.
11. Stockle R., Fokas C., Deckert V., Zenobi R., Sick B., Hecht B. and Wild Urs P. – Appl. Phys. Lett., 1999, v. 75, p. 160.

Տ. Ա. ԱԲՐԱՀԱՄՅԱՆ

ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿ-ՄԵՏԱԴ-ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿ ԿՈՆԱԿԱՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ
ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ամփոփում

Ուսումնասիրվել են լուսային ալիքի տարածման առանձնահատկությունները հեղուկի մակերևույթից օպտիկական մանրաթելի մետաղապատ կոնաձև գլխիկի դուրս գալու ընթացքում: Այդ պրոցեսում գրանցվում է ելքային հզորության կտրուկ առկայծում:

Երևույթը հնարավորություն է տալիս գրանցել հեղուկի մակերևույթի թույլ տատանումները՝ ընդհուպ մինչև մի քանի տասնյակ նանոմետր լայնությով:

T. A. ABRAHAMYAN

THE OPTICAL PROPERTIES OF CONICAL STRUCTURE
DIELECTRIC-METAL-DIELECTRIC

Summary

The features of propagation of light wave on a metal-coated conical tip of optical fiber is considered. During the experiment we detected an output radiation from the tip, when the tip came out from the liquid. The peak of output optical intensity is obtained. This process very essentially depends on the position of the fibre top with the help of which it is possible to find out very weak vibrations of the surface of the liquid.