УДК 535.13

О МЕТОДЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА МЕЖДУ НЕСМЕШИВАЮЩИМИСЯ ЖИДКОСТЯМИ

Э.Г. ГЕВОРГЯН

Ереванский государственный университет, Армения

(Поступила в редакцию 2 февраля 2009 г.)

В процессе пересечения покрытой металлическим слоем конической вершиной оптического волокна границы раздела несмешивающихся жидкостей регистрируется всплеск выходной мощности излучения. Это явление обусловлено резонансной перекачкой волновой энергии из внутреннего канала во внешний, чему способствует образование мениска на границе раздела в окрестности вершины. Этот метод изучения дает информацию о поверхности раздела между несмешивающимися жидкостями и о процессе формирования адсорбционных слоев.

1. Введение

Последние исследования в биологии, химии и медицине свидетельствуют о необходимости создания устройств, которые позволят изучать границу раздела жидкостей в микрообъемах, не разрушая изучаемые образцы. К таким устройствам относятся сенсоры, созданные на основе оптического волокна, которые, благодаря ряду их особенностей, весьма интересны и перспективны. К этим качествам относятся возможность многомодового распространения, интерференционная чувствительность, стабильность к электромагнитным шумам, легкость и малые габариты, что позволяет изготовлять сенсоры с высокой разрешающей способностью [1-5].

Одной из разновидностей оптоволоконных сенсоров является покрытая металлическим слоем коническая вершина оптического волокна, которая в микроскопии ближнего поля используется как сканирующий зонд. Такая структура имеет много интересных физических свойств [6-11].

В настоящей работе будет показано, что подобную структуру можно использовать для исследования границы раздела двух несмешивающихся жидкостей.

2. Метод исследования

В основе предложенного метода лежит то обстоятелство, что в ходе пересечения границы раздела в окрестности вершины волокна может образоваться мениск. Иными словами, с вершиной оптического волокна во вторую жидкость входит также слой первой жидкости. В результате образуется структура, которая имеет два волноводных канала (рис.1). Первым из них является сердцевина оптического волокна (внутренний волновод), по которому изначально распространяется световое излучение. Вторым каналом является слой первой жидкости (внешний волновод). Отметим, что для образования внешнего волноводного канала необходимо, чтобы показатель преломления первой (исследуемой) жидкости превосходил величину показателя преломления второй жидкости.



Рис.1. Продольное сечение волокна, покрытого металлическим и диэлектрическим слоями.

Когда металлический слой относительно тонкий, то внутренний и внешние волноводы могут резонансно связываться, в результате чего энергия из одного волноводного канала перейдет ко второму. Такая передача произойдет только в случае, если волновые векторы мод очень близки. При отсутсвии связи между волноводными каналами основная часть световой энергии внутреннего канала отражается и выходящая из вершины волокна мощность излучения мала. В условиях же резонансной связи между волоноводными каналами, большая часть энергии переходит во внешний волноводный канал и излучается из вершины оптического волокна. Примечательно, что резонансное связывание между каналами имеет место лишь при определенных толщинах слоя первой жидкости, когда волновые векторы внутренней и внешней мод выравниваются [12].

Так как угол конуса остоется неизменным, то в реальных условиях резонансный переход можно обнаружить, меняя толщину диэлектрического слоя (исследуемой жидкости). Такой слой можно получить в процессе пересечения вершиной волокна границы раздела двух жидкостей. Из-за разности величин поверхностного натяжения образуется слой жидкости (мениск), который меняет свою форму в ходе движения вершины волокна. Поскольку волновой вектор внешней моды зависит от толщины диэлектрического слоя и, следовательно, от формы мениска, то при определенном положении вершины относительно границы жидкостей волновые векторы выравниваются. В это время происходит резонансная перекачка энергии от одной моды к другой и наблюдается резкое возрастание выходящей из вершины оптического волокна световой мощности [12].

Исследуемая структура образуется в результате соприкосновения трех сред – металлической вершины волокна и двух несмешивающихся жидкостей,

одна из которых изучаемая жидкость, а другая – вода. Пусть σ_{13} – поверхностное натяжение между волокном и водой, σ_{12} – между волокном и исследуемой жидкостью (ИЖ), а σ_{23} – между двумя жидкостями. Исследуемые здесь процессы наиболее ярко проявляются в условиях полной смачиваемости ИЖ металлической поверхности оптического волокна, когда $\sigma_{13} > \sigma_{12} + \sigma_{23}$. Примечательно, что именно этот случай наиболее интересен с физической точки зрения, так как предполагает образование дополнительного адсорбированного слоя на поверхности волокна [13].

3. Эксперимент

Излучение полупроводникового лазера мощностью 30 мВт и длиною волны 690 нм вводится в оптическое волокно диаметром 100 мкм. Угол конуса вершины волокна составляет 20° и покрыт алюминиевым слоем толщиной 50 нм. Вершина волокна с помощью пьезоэлемента перемещается в кювете с ша-



Рис.2. Вершина волокна пересекает границу раздела очередностью толуол-вода. r – расстояние вершины волокна относительно плоскости раздела, а P – относительная величина мощности излучения.



Рис.3. Вершина волокна пересекает границу раздела бензол-вода. r – расстояние вершины волокна относительно плоскости раздела, а P – относительная величина мощности излучения.

гом 0,25 мкм. В течение каждого шага мощность выходящего из вершины волокна излучения 10⁴ раз регистрируется и усредняется. В качестве исходной жидкости используется вода, а в качестве ИЖ поочередно используются толуол, бензол и гексан. В эксперименте всплеск выходной мощности излучения наблюдается только в том случае, когда вершина волокна пересекает границу раздела из толуола или бензола в воду (рис.2,3). В случае же использования в качестве ИЖ гексана пика выходной мощности не наблюдается как при переходе из гексана в воду, так и при переходе из воды в гексан (рис.4).



Рис.4. Вершина волокна пересекает границу раздела гексан-вода. r – расстояние вершины волокна относительно плоскости раздела, а P – относительная величина мощности излучения.

В первых двух случаях выполняются два необходимых условия для обеспечения резонансной перекачки световой энергии из внутреннего волновода во внешний. Во-первых, показатели преломления как толуола ($n_{\text{толуол}} = 1,497$), так и бензола ($n_{\text{бензол}} = 1,501$) превосходят показатель преломления воды ($n_{\text{H}_2\text{O}} = 1,333$). Во-вторых, эти жидкости полностью смачивают металлическую поверхность волокна, что обеспечивает плавное изменение формы мениска в процессе пересечения волокном границы раздела.

В случе же гексана ($n_{\text{гексан}} = 1,375$) не наблюдается полной смачиваемости металлической поверхности, а краевой угол существенно отличен от нуля. При таких условиях эксперимента резонансной перекачки волновой энергии не наблюдается.

4. Заключение

Таким образом, с помощью покрытой металлическим слоем конической вершины оптического волокна можно изучить поверхность раздела между несмешивающимися жидкостями, определить поверхностные натяжения, а также исследовать процесс формирования адсорбционных слоев.

Автор выражает благодарность профессору Х.В. Неркараряну за предложенную тему и обсуждение результатов.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. N.A.Janunts, Kh.V.Nerkararyan. Appl. Phys. Lett., 79, 299 (2001).
- 2. M.De Serio, A.N.Bader, et al. Chem. Phys. Lett., 380. 47 (2003).
- 3. N.A.Janunts, K.Baghdasaryan, Kh.Nerkararyan, B.Hecht. Opt. Comm., 253, 118, (2005).
- 4. M.De Serio, H.Mohapatra, R.Zenobi, V.Deckert. Chem. Phys. Lett., 417, 452 (2006).
- 5. T.Abrahamyan, E.Janunts, Kh.Nerkararyan. Appl. Optics, 45, 81 (2006).
- 6. O.Wright, N.Nishiguch. Appl. Phys. Lett., 71, 626 (1997).
- 7. P.Mazern, J.Loubet. Tribol. Lett., 7, 199 (1999).
- 8. D.Maugis. Contact, adhesion and rupture of elastic solids. Berlin, Springer, 2000.
- 9. G.Yaralioglu, F.Degertekin, K.Crozier, C.Quate. J. Appl. Phys., 87, 7491 (2000).
- 10. J.Turner, J.Wiehn. Nanotechnology, 12, 322 (2001).
- 11. T.Abrahamyan, Kh.Nerkararyan. Phys. Lett. A, 364, 494 (2007).
- 12. **Т.Абрамян.** Ученые записки ЕГУ, **1**, 64 (2006).
- 13. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Статистическая физика, ч. 1. М., Наука, 1976.

ԵՐԿՈՒ ՉԽԱՌՆՎՈՂ ՀԵՂՈՒԿՆԵՐԻ ԲԱԺԱՆՄԱՆ ՍԱՀՄԱՆԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ՄԱՍԻՆ

Է.Գ. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ

Մետաղական շերտով պատված օպտիկական մանրաթելի կոնաձև գագաթի երկու չխառվող հեղուկների բաժանման սահմանը հատելու ընթացքում գրանցվում է ելքային ձառագայթման հզորության կտրուկ աձ։ Այս երևույթը պայմանավորված է ներքին ալիքատարից արտաքին ալիքային էներգիայի ռեզոնանսային արտամղմամբ, որին նպաստում է ման-րաթելի գագաթի մերձակայքում, հեղուկների սահմանի վրա մենիսկի ձևավորումը։ Այս եղանակը թույլ է տալիս ուսումնասիրել երկու չխառնվող հեղուկների բաժանման մակերևույթը և ադսորբացիոն շերտերի ձևավորումը։

ON THE METHOD OF INVESTIGATION OF THE INTERFACE BETWEEN TWO IMMISCIBLE LIQUIDS

E.G. GEVORGYAN

When the conic top of an optical fiber covered with a metal layer is crossing the boundary of interface between two immiscible liquids, a splash of output power of radiation is registered. This phenomenon is caused by resonant transfer of energy from the internal channel into external, which is promoted by the meniscus formation on the boundary of interface in the top vicinity. This method of research gives concept on the surface of interface between immiscible liquids and on the process of adsorptive layers formation.