

07; 08; 12

© 1991

ОПТИЧЕСКОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ
МЕХАНИЧЕСКИХ МИКРОРЕЗОНАТОРОВС.М. К о з е л, В.Н. Л и с т в и н,
А.В. Ч у р е н к о в

В в е д е н и е. Механические микрорезонаторы, изготовленные методом анизотропного травления из кремния, показали перспективность использования их в волоконно-оптических датчиках физических воздействий [1]. Механические колебания микрорезонатора возбуждаются фототермически модулированным по интенсивности оптическим излучением и регистрируются интерферометрически. Использование света для передачи сигналов и отсутствие электрических цепей делает датчик полностью пассивным, а частотная форма представления выходного сигнала позволяет свести к минимуму влияние на работу датчика флуктуаций оптической мощности в волокне.

Теоретически механизм фототермического возбуждения рассматривался ранее в основном для микрорезонаторов без покрытия [2], в то время как большинство экспериментальных работ было посвящено композитным резонансным структурам, представляющим собой балку, покрытую слоем металла [3]. В настоящей работе рассмотрены особенности фототермического возбуждения композитных резонансных микроструктур. Продемонстрировано оптическое возбуждение кремниевого микрорезонатора, покрытого слоем золота.

Т е о р и я. Рассмотрим микрорезонатор в виде консоли прямоугольного сечения, закрепленной с одного или обоих концов и освещаемой в точке x_0 модулированным оптическим излучением (рис. 1). Поглощаемая оптическая мощность

$$P = P_0 (1 + \cos \omega t) \quad (1)$$

вызывает возбуждение в материале микрорезонатора температурной волны, затухающей в e раз на расстоянии δ от освещаемой поверхности.

$$\delta = \left(\frac{2k}{\rho \omega s} \right)^{1/2}, \quad (2)$$

где k – коэффициент теплопроводности материала микрорезонатора, ρ – плотность, s – теплоемкость. С температурной волной связана волна механических напряжений, приводящая к возбуждению изгибных колебаний микрорезонатора. Для эффективного возбуждения

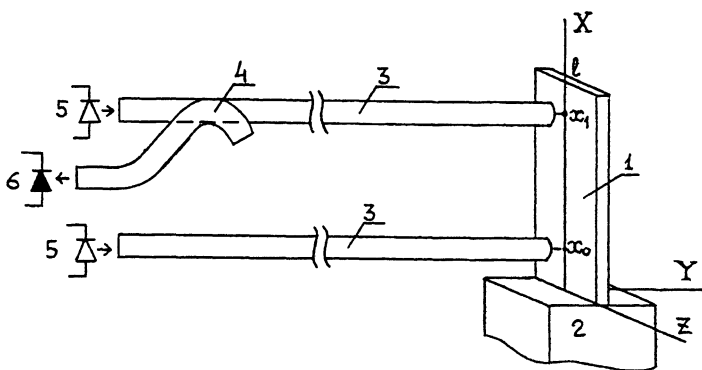


Схема возбуждения и регистрации колебаний.

1 - микрорезонатор, 2 - основание, 3 - волоконные световоды, 4 - ответвитель, 5 - лазерные диоды, 6 - фотодиод.

микрорезонатора необходимо, чтобы глубина затухания температурной волны δ была много меньше толщины пластины d [2]. Практически это условие оказывается труднореализуемым и поэтому в случае $\delta \gg d$ для увеличения эффективности возбуждения пластину микрорезонатора покрывают слоем металла, обладающим в несколько раз большим коэффициентом температурного расширения (КТР).

Находя проекцию термоупругого напряжения на основную моду изгибных колебаний $\varphi(x)$, получаем выражение для амплитуды резонансных колебаний в точке x_1 при оптическом возбуждении микрорезонатора в точке x_0

$$y(x_1, t) = \frac{P_0 Q}{\mu \omega^2} \frac{\alpha_p - \alpha_n}{2\rho s} E_n h \frac{\varphi''(x_0) \varphi(x_1)}{\int_0^l \varphi^2(x) dx} \cos \omega t, \quad (3)$$

где α_p и α_n - КТР резонатора и покрытия соответственно, E_n - модуль Юнга покрытия, μ - масса единицы длины, Q - механическая добротность, h - толщина покрытия. Как видно из (3), максимальная амплитуда колебаний достигается при возбуждении микрорезонатора в точке x_0 с максимальной кривизной изгиба ($\sim \varphi''(x)$). Для микрорезонатора, представляющем собой балку, закрепленную с одного конца, такая точка находится в месте закрепления.

Э к с п е р и м е н т. В экспериментальной части работы проводилось исследование возбуждения кремниевых микрорезонаторов в виде микробалок длиной $l = 6.5$ мм, шириной 0.75 мм и толщиной 50 мкм, закрепленных с одного или обоих концов и покрытых

слоем золота толщиной $h \sim 0.5$ мкм. Оптическое возбуждение изгибных колебаний микрорезонатора осуществлялось модулированным по интенсивности излучением лазерного диода ИЛПН-202 ($\lambda = 1.3$ мкм), подводимым к пластине микрорезонатора с помощью многомодового волокна (см. рисунок). Колебания микрорезонатора регистрировались бесконтактным способом с помощью интерферометра Фабри-Перо низкого контраста, зеркала в котором образованы торцом одномодового волоконного световода и поверхностью пластины микрорезонатора [4].

Закрепленная с одного конца микробалка возбуждалась на расстоянии $l/3$ от основания, чтобы избежать эффектов, связанных с оттоком тепла в основание. При добротности $Q=400$ амплитуда колебаний свободного конца консоли составила 40 нм, что соответствует теоретическому значению, получаемому из (3). В рассматриваемом случае глубина затухания температурной волны (получаемая из (2)) $\delta=160$ мкм много больше толщины пластины микрорезонатора $d=50$ мкм и колебания возбуждаются благодаря наличию покрытия.

Если же балка закреплена с обоих концов, то ее резонансная частота выше и глубина затухания температурной волны $\delta=57$ мкм примерно равна толщине пластины, а формула (3) дает худшее согласование с экспериментальными результатами, так как рассматриваемый случай выходит за рамки рассматриваемой теоретической модели. Измерения показали, что амплитуда колебаний центрального участка балки, закрепленной с обоих концов и возбуждаемой оптической мощностью $P=1$ мВт в середине, составляет 2.3 нм. Добротность колебаний зависела от способа крепления подложки микрорезонатора и составляла величину $Q=80$, когда подложка была закреплена по периметру.

В заключение авторы хотели бы поблагодарить И.В. Шелкового и О.В. Шелкового за предоставленные кремниевые микроструктуры.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] C u l s h a w B. // SPIE. 1987. V. 798. Fiber Optic Sensors 2. P. 346-353.
- [2] L a n g d o n R.M., L y n c h B.J. // GEC j. of Research. 1988. V. 6. P. 55-62.
- [3] A n d r e s M.V., F o u l d s K.W.H., T u d o r M.J. // Electron. Lett. 1986. V. 22. P. 1097-1099.
- [4] Л и с т в и н В.Н., А л е к с а н д р о в А.Ю., К о з е л С.М., Ч у р е н к о в А.В. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 15. С. 36-39.