

ПРИМЕНЕНИЕ ГРАДИЕНТНЫХ МИКРОЛИНЗ В ДАТЧИКАХ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

И.Ф. Скоморохов, В.Г. Мадриченко

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Измерение значений физических параметров в ракетостроении и самолетостроении имеет важное значение. Однако подобные измерения имеют ряд особенностей: широкий диапазон рабочих температур, высокий уровень вибрации, наличие агрессивной среды, а также высокий уровень электромагнитных воздействий. Перспективным направлением измерения различных физических параметров в ракетостроении является использование оптических и волоконо-оптических датчиков, рядом преимуществ которых являются: устойчивость к температурному воздействию, стойкость к электромагнитным помехам, относительная дешевизна.

Работа систем снабжения топливом космических шатлов, ракет в космосе нуждается в постоянном контроле со стороны космонавтов. Нарушения их работы приводит к возникновению внештатных ситуаций и может обернуться катастрофой. Своевременное информирование экипажа об объеме подаваемого топлива, его остатке является необходимым элементом безопасности полета. Подача топлива в двигатель осуществляется по специальным металлическим трубкам, а объем подачи топлива регулируется клапаном. Необходимо информировать космонавтов о том на сколько открыт клапан. Измерение положения клапана осуществляется при температуре от -253°C до $+150^{\circ}\text{C}$, перемещение клапана изменяет магнитное поле, вокруг него. Изменение магнитного поля эквивалентно изменению положения клапана. Необходимо решить задачу измерения величины магнитного поля. Для фиксирования значений изменения магнитного поля разработана конструкция оптического датчика и его математическая модель.

Общая структура оптического датчика изображена на рисунке 1. В качестве чувствительного элемента датчика выбрана градиентная микролинза (градан), с нанесенным на нее магнитоотрицательным покрытием. Градан (грин) (от англ. Gradient-index) представляет собой оптический элемент из прозрачного материала (стекла, пластмассы, кристалла) с определенным законом распределения коэффициента преломления n . На выходе из градана, к его торцевой части, присоединяется модуль с оптическим волокном. Толщина оптоволокну в приемном модуле порядка 10-100 мкм. Далее следует приемник света.

Сжатие магнитоотрицательного покрытия в магнитном поле, приводит к изменению продольных размеров градана. Угол выхода света из градиентной микролинзы зависит от ее длины:

$$\tan \psi = -\frac{\pi \cdot r_0}{2 \cdot L_0} \cdot \sin \frac{\pi}{2 \cdot L_0} z + \tan \theta \cdot \cos \frac{\pi}{2 \cdot L_0} z, \quad (1)$$

где θ и r_0 – угол ввода и координата входа светового пучка в торец градана;
 ψ и r_0 – угол выхода и координата выхода светового пучка из градана,



Рис. 1. Структура оптического датчика

При воздействии магнитного поля длина градана изменяется на величину δL :

$$\frac{\delta L}{L} = C \cdot H, \quad (2)$$

где H – величина магнитного поля действующая на градан; C – константа, включающая размагничивание, механические нагрузки и механические резонансы. Величина C определяется:

$$C = \frac{3 \cdot \lambda}{2 \cdot H_s^2} \cdot \frac{R(\omega)}{\left(1 + \frac{A_s \cdot E_r}{A_m \cdot E_m}\right) \cdot (1 + N \cdot x)^2}, \quad (3)$$

где N – размагничивание; x – восприимчивость к магнитному полю; $R(\omega)$ – коэффициент учитывающий механические резонансы; A_s , A_m – сечение волокна; E_r , E_m – модуль юнга, λ – магнитострикционная константа, величину H_s – анизотропия вязкой области.

Подставив в формулу (1) выражение (2) и (3) получим зависимость изменения угла света на выходе из градана от величины магнитного поля:

$$\tan \psi = -\frac{\pi \cdot r_0}{Q} \cdot \sin \frac{\pi}{Q} z + \tan \theta \cdot \cos \frac{\pi}{Q} z, \quad (4)$$

где

$$Q = 2 \cdot (L_0 + H \cdot \frac{3 \cdot \lambda}{2 \cdot H_s^2} \cdot \frac{R(\omega)}{\left(1 + \frac{A_s \cdot E_r}{A_m \cdot E_m}\right) \cdot (1 + N \cdot x)^2}), \quad (5)$$

Изменение магнитного поля будет изменять длину градана, а значит и угол выхода света из микролинзы. В качестве материала магнитострикционного покрытия выбран никель. В работе [2] показано, что его чувствительность составляет порядка $1,28 \times 10^{-7}$ А/м. Кроме того в работе [2] было показано, что покрытие градана магнитострикционным материалом

является более эффективным по сравнению с склеивания града и плоского листа магнитоотрицательного материала.

График зависимости изменение угла выхода пучка света из града от внешнего магнитного поля. Чувствительность датчика составляет $1,67^{\circ} \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}/(\text{А/м})$.

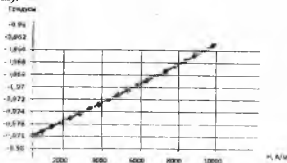


Рис. 2. Изменение угла выхода при изменении магнитного поля

Использование градиентных микролинз в оптических датчиках, позволяет регистрировать значения параметра в условиях широкого изменения рабочих температур в которых применяются данные системы. Оптические датчики обладают высокой чувствительностью, минимальной стоимостью, и высокой стабильностью своих параметров.

Список использованных источников

1. Васильев Ю.Г. Микрооптические спектральные акустооптические устройства доступа для волоконно-оптических систем передачи // Радиотехника. 1999, № 9.
2. Vasilev Yu. G. Microoptical commutation Devices for Microsystem Technique. Тезисы докладов междунар. научно-техн. конференции «СЕНСОР- 2000». Санкт-Петербург. 2000
3. Дональд Дж. Стерлинг. Техническое руководство по волоконной оптике. М.: Мир, 2001.
4. Магдич Л. Н., Молчанов В. Я. Акустооптические устройства и их применение. М.: Советское радио, 1978.
5. Васильев Ю. Г. и др. Расчет световых развязок между каналами двухкоординатного акустооптического дефлектора // Радиотехника. 1986. № 6
6. Свечников Г. С. Элементы интегральной оптики. М.: Радио и связь, 1987.
7. Красюк В. А., Корнеев Г. И. Оптические систем связи и световодные датчики. М.: Радио и связь, 1985.