$$a_1 = <d_1^*> = (10,3 \pm 0,1) \text{ мкм};$$

$$a_2 = \frac{2}{\sqrt{3}} <d_2^*> = (10,2 \pm 0,2) \text{ мкм}.$$

Средний период решетки ФК определяется по формуле

$$<a> = \frac{a_1 + a_2}{2} = (10,2 \pm 0,2) \text{ мкм}.$$

Видим, что в пределах погрешности измерений среднее значение периода решетки ФК <a> совпадает, как и следовало ожидать, с расстоянием между оптоволоконными нитями (10 мкм), из которых изготовлен данный ФК.

Заключение

Разработана экспериментальная установка для получения брэгговской дифракции света на 2D–фотонной структуре и предложена методика расчета периода решетки двухмерного ФК по его оптической лауэграмме, с помощью которых можно определить структурные параметры ФК. Результаты работы могут быть использованы в учебном процессе для демонстрации основных свойств ФК и их применения в различных областях науки и техники.

Библиографический список

1. **Inoue, K.** Photonic crystals: physics, fabrication and applications / K. Inoue, K. Ohtaka – Berlin: Springer, 2004.

2. **Yablonovitch, E.** Photonic band dtructure / E. Yablonovitch // In: Photonic band gaps and localization – N.–Y.: Plenum Press; 1993. – P. 207—234.

3. **Наими, Е. К.** Фотонные кристаллы с показателем преломления, модулируемым ультразвуком / Е. К. Наими, Ю. Х. Векилов // Изв. вузов. Материалы электрон. техники. – 2011. – № 1. – С. 21—24.

4. **Сивухин, Д. В.** Общий курс физики. Оптика / Д. В. Сивухин – М. : Наука, 1980. – С. 384—393.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы «Развитие научного потенциала высшей школы» Министерства образования и науки РФ (грант РПН.2.1./1552).

УДК 621.315.592

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОДНОСЛОЙНЫХ И ДВУХСЛОЙНЫХ ТЕНЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ СТРУКТУР КРЕМНИЙ–НА–САПФИРЕ

© *2011 г.* А. А. Устинов, Ю. С. Нагорнов*, А. И. Козлов
ЗАО МИДАУС,
****ГОУ ВПО «Ульяновский государственный университет»***

Рассмотрены сравнительные характеристики полупроводниковых тензорезисторных преобразователей давления на основе структур кремний–на–сапфире. Исследованы два вида конструкции тензорезисторных преобразователей: с однослойным упругим элементом на керамическом основании и с двухслойным упругим элементом из сапфира и металла. Показано, что однослойные тензорезисторные преобразователи обладают лучшими характеристиками, чем двухслойные, но они имеют ограниченное применение по диапазонам измеряемого давления.

Ключевые слова: датчик давления, тензопреобразователь давления, структура кремний–на–сапфире.

Полупроводниковые тензорезисторные преобразователи **(ТП)** давления широко используют в измерительных системах. При этом с каждым годом к метрологическим характеристикам датчиков предъявляют все более жесткие требования, в том числе к точности и температурной погрешности. Наряду с характеристиками, которые определяют точность ТП, существуют характеристики качества. В их число входят следующие:

– температурный дрейф **(ТД)** выходного сигнала;

– гистерезис первого нагружения **(ГПН)**, т. е. изменение начального выходного сигнала после первого обдавливания номинальным давлением;

– температурный невозврат начального выходного сигнала — изменение выходного сигнала после воздействия температуры и временная стабильность выходного сигнала в диапазоне рабочих температур.

В России получили широкое распространение (разработка и производство) интегральные ТП с полупроводниковыми чувствительными элементами **(ПЧЭ)** на основе структур кремний–на–сапфире **(КНС)**. В ТП давления используют мостовую схему из кремниевых тензорезисторов **(ТР)**. За счет соответствующего расположения на мембране радиальные ТР обладают одним знаком тензочувствительности, а тангенциальные ТР — противоположным. Существуют два основных

Характеристики однослойных и двухслойных тензорезисторных преобразователей

Вид ТП	ТД, $\frac{\%}{10\,^{\circ}\mathrm{C}}$	ГПН, %	Температурный невозврат, %	Стабильность, %
С однослойным упругим элементом из сапфира	0,02—0,06	0,002—0,003	0,011—0,012	0,01—0,03
С двухслойным упругим элементом из сапфира и металла	0,11—0,14	0,08—0,25	0,03—0,17	0,02—0,05
Обозначения: ТП — тензорезисторный преобразователь; ТД — температурный дрейф; ГПН — гистерезис первого нагружения.				

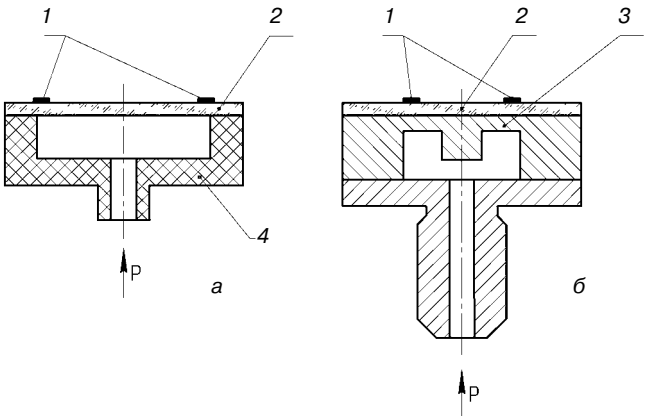

Рис. 1. Схематическое изображение конструкций ТП давления с однослойным упругим элементом из сапфира (*а*) и двухслойным упругим элементом из сапфира и металла (*б*): *1* — ТР; *2* — ПЧЭ; *3* — металлическая упругая мембрана; *4* — керамическое основание

вида конструкции ТП, использующих ПЧЭ на основе структуры КНС[1]:

– с однослойным упругим элементом из сапфира (рис. 1, *а*);

– с двухслойным упругим элементом из сапфира и металла (рис. 1, *б*).

Наиболее широко применяют двухслойные ТП. Из–за существенного различия коэффициентов температурного расширения **(КТР)** сапфира и титана такие ТП имеют сильную температурную зависимость выходного сигнала. В характеристики двухслойных ТП значительный вклад дают свойства металла и соединительного слоя. ТП с однослойным упругим элементом представляет собой ПЧЭ, напаянный на керамическое основание. В качестве припоя используют стеклопорошок. Точностные параметры такого ТП сравнимы с серийно выпускаемыми двухслойными ТП. Из–за лучшего согласования КТР мембраны (сапфир) и основания (керамика) однослойные ТП обладают меньшими температурными погрешностями[2]; недостатком таких ТП являются ограничения по диапазонам измеряемого давления.

Ниже приведены результаты измерения перечисленных выше характеристик однослойных и двухслойных ТП:

– ТД начального выходного сигнала в диапазоне температур –40—160 °С;

– ГПН при температурах –40, 30 и 80 °С;

– температурный невозврат начального выходного сигнала на –40 °С после воздействия 80 °С для однослойных ТП и на 30 °С после воздействия 150 °С для двухслойных ТП;

– стабильность выходного сигнала при выдержке на температуре 160 °С в течение 10 сут. Измеренные данные в процентах от диапазона изменения выходного сигнала представлены в таблице.

Как видно из таблицы, однослойные ТП обладают лучшими характеристиками, чем двухслойные. Этого можно было ожидать, учитывая монокристаллическую структуру сапфировой мембраны. Керамические ТП более стабильны. Это, по–видимому, связано с тем, что в их конструкции нет металла, в котором присутствует пластическая деформация. Используемое в качестве припоя стекло ограничивает рабочий диапазон температур однослойных ТП. Такие ТП можно рекомендовать для создания высокоточных и сравнительно недорогих барометров с электрическим выходом.

[1] **Стучебников, В. М.** Структуры КНС как материал для тензопреобразователей механических величин / В. М. Стучебников // Радиотехника и электроника. – 2005. – Т. 50, № 6. — С. 678—696.

[2] **Стучебников, В. М.** Исследование температурного дрейфа и нелинейностей тензопреобразователей давления на основе керамики / В. М. Стучебников, А. А. Устинов, Ю. С. Нагорнов // Изв. вузов. Поволжский регион. Техн. науки. – 2010. – № 2 (14). – С. 62—69.

* * *