

Лекция 11

Корректоры ВФ и особенности их применения

Содержание

1	Классификация корректоров ВФ	1
2	Сегментированные зеркала	2
2.1	Потенциальная эффективность	2
3	Пьезоэлектрические приводы	3
3.1	Пьезоэффект	3
3.2	Продольный пьезоэффект	3
3.3	Поперечный пьезоэффект	4
3.4	Изгибные биморфные пьезоэлементы	4
4	Сплошная поверхность	4
5	Другие типы зеркал	5
5.1	Монолитное пьезоэлектрическое зеркало	5
5.2	Пленочные зеркала с электростатическим управлением	5
5.3	Ортогонализация ф-ций отклика корректора	5
6	Задания по Лекции 11	5
7	Вопросы по Лекции 11	5

1 Классификация корректоров ВФ

Общая схема адаптивной оптической системы – рис.1.

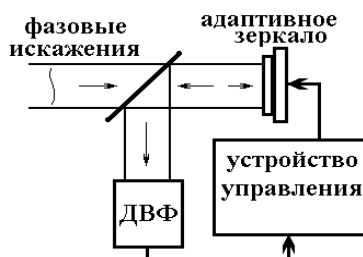


Рис. 1: Схема адаптивной оптической системы

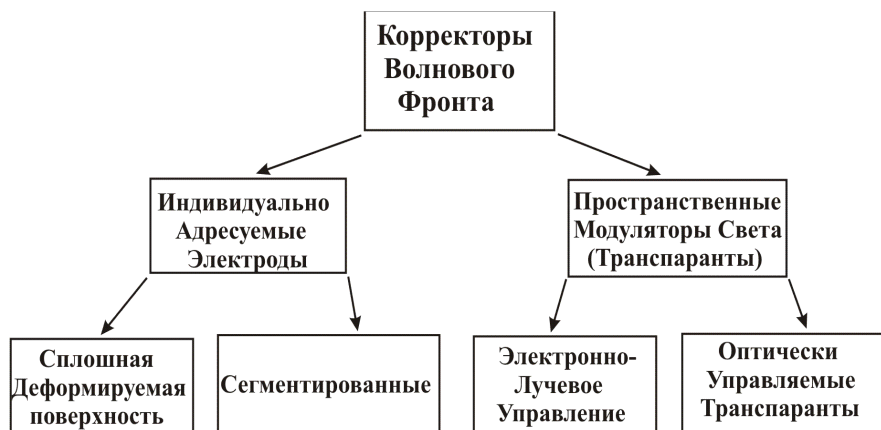


Рис. 2: Классификация корректоров ВФ

Основные параметры корректоров: 1) число каналов управления, 2) размер апертуры, 3) функция отклика, 4) максимальный прогиб поверхности, 5) ошибки воспроизведения фазовых неоднородностей, 6) рабочая полоса частот (быстродействию), 7) технологичность, лучевая стойкость, возможность охлаждения и т.п.

Зеркала с индивидуально адресуемыми электродами: гибкие и сегментированные зеркала с пьезоэлектрическими, магнитоstrictionными, электромеханическими и т.д. приводами. Имеют сравнительно небольшое число (от единиц до нескольких десятков) приводов. Каждый привод (электрод) управляется отдельной электронной схемой (или частью ИС).

Пространственные модуляторы света: большое эффективное число степеней свободы (субапертур) — порядка 10^4 и выше. Фактически полевое управление.

2 Сегментированные зеркала

Набор независимых жестких зеркал (субапертур), образующих составное зеркало. Каждая субапертура: либо «поршень», либо «поршень» + 2 наклона. Главное достоинство — простота и надежность конструкции, полная механическая независимость субапертур, малый необходимый диапазон смещений каждой субапертуры (часто достаточно $\lambda/2$). Отсутствие $2\pi N$ — проблемы.

2.1 Потенциальная эффективность составного корректора

Средний по апертуре квадрат ошибки коррекции:

$$\varepsilon^2 = \frac{1}{S} \int_S \sigma^2(\mathbf{r}) d^2r. \quad (1)$$

Для одной субапертуры:

$$\varepsilon_i^2 = \frac{1}{S_i} \int_{S_i} \sigma^2(\mathbf{r}) d^2r. \quad (2)$$

Из (1) и (2), для одинаковых субапертур получим:

$$\varepsilon^2 = \sum \frac{S_i \varepsilon_i^2}{S} = \varepsilon_i^2 \quad (3)$$

3 Пьезоэлектрические приводы

Пьезокерамика: искусственный сегнетоэлектрический материал. Изготовление элемента нужной формы, поляризация во внешнем электрическом поле. Значительная остаточная поляризация.

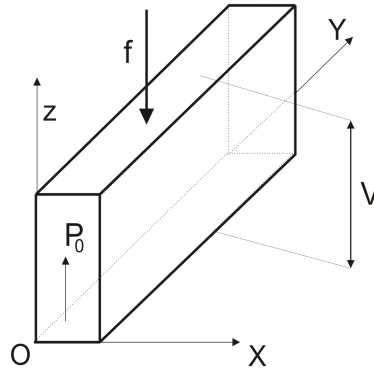


Рис. 3: Схема продольного пьезоэффекта

3.1 Пьезоэффект

Продольный и поперечный пьезоэффекты. Относительная деформация $\varepsilon = \Delta l/l$ вдоль любой оси:

$$\varepsilon = dE + e\sigma \quad (4)$$

где d — соответствующий пьезомодуль, E — напряженность управляющего поля, e — упругая податливость материала (обратный модуль Юнга), σ — упругое напряжение. Для продольного пьезоэффекта — модуль d_{33} , для поперечного — модуль d_{31} . Ограниченность прикладываемого поля — возможна деполяризация, нелинейная зависимость между полем и деформацией. Гистерезис.

3.2 Продольный пьезоэффект

Из (4):

$$\Delta l = d_{33}U - \frac{f}{k} \quad (5)$$

где l — длина образца, U — приложенное напряжение, $k = S/el$ — жесткость, S — площадь поперечного сечения, f — сила, приложенная вдоль OZ ($f = -\sigma S$). Удлинение свободного пьезоэлемента ($f = 0$):

$$\Delta l = d_{33}U \quad (6)$$

У нагруженного пьезоэлемента смещение меньше. Чувствительность определяется только пьезомодулем материала: $\Delta l/U = d_{33}$. Для ЦТС-19: $d_{33} = 3.610^{-10} \text{М/В}$

и перемещение $\Delta l_{max} = ld_{33}E_c$. Т.о.: для $l=3\text{мм}$, $\Delta l=1\mu\text{М}$ $\rightarrow U \approx 3\text{кВ}$. Пьезо-пакеты: элементы соединены электрически параллельно, а механически – последовательно, для n элементов $\Delta l = nd_{33}V$.

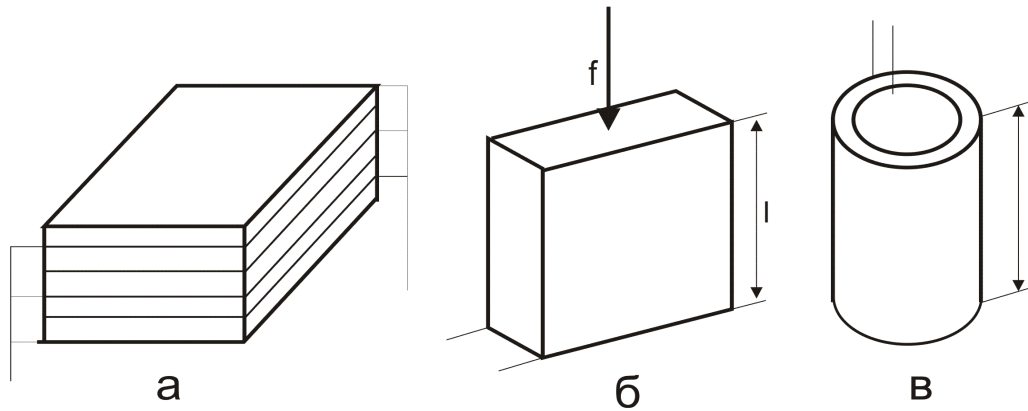


Рис. 4: Основные типы пьезоэлементов: а) пьезопакет; б) элемент с поперечным пьезоэффектом; в) трубчатый пьезоэлемент

3.3 Поперечный пьезоэффект

Вместо (5):

$$\Delta l = d_{31}U \frac{l}{h} - \frac{f}{k} \quad (7)$$

где l, h — длина и толщина образца. Максимальное удлинение свободного пьезоэлемента: $\Delta l_{max} = ld_{31}E_c$. Хотя $d_{31} \approx 0.5d_{33}$ выигрыш достигается за счет большого отношения l/h . Малая механическая жесткость.

3.4 Изгибные биморфные пьезоэлементы

Обладают еще большей чувствительностью и меньшей жесткостью, чем приводы на поперечном пьезоэффекте.

Балка с одним закрепленным концом: смещение свободного конца:

$$\Delta y = 3d_{31}U \left(\frac{l}{h}\right)^2 \quad (8)$$

Диск закрепленный по наружному контуру: смещение центра вдоль оси:

$$\Delta y = 0.75d_{31}U \left(\frac{D}{h}\right)^2 \quad (9)$$

4 Зеркала со сплошной деформируемой поверхностью

Два типа – приложение силы в точке или приложение момента. Особенность – нелокальный отклик. Для биморфного зеркала смещение ξ под действием разности потенциалов $U(x, y)$ дается уравнением:

$$\nabla^2 \xi = cU(x, y). \quad (10)$$

Константа c зависит от упругих свойств и пропорциональна d_{31}/h . Сложный характер зависимости деформации от распределения потенциала по поверхности.

5 Другие типы зеркал

5.1 Монолитное пьезоэлектрическое зеркало

Типичная чувствительность: $0.25 \div 0.5$ мкм/кВ. Функция отклика при $r \leq r_0$ (r_0 — период решетки электродов):

$$\xi(r) = \left[1 - \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 \right]^2. \quad (11)$$

5.2 Пленочные зеркала с электростатическим управлением

Пленка никеля или титана $0.25 \div 2$ мкм толщиной, 80-100 мкм до сетки управляющих электродов. Статическое смещение пленки — уравнение Пуассона

$$\nabla^2 \xi = -\frac{F}{T}, \quad (12)$$

где F — плотность э-статических сил, T — сила натяжения на единицу длины. Демпфирование собственных колебаний. Смещение: несколько мкм на 100 В управляющего напряжения.

5.3 Ортогонализация ф-ций отклика корректора

Пример гибкого зеркала с 4-мя управляющими электродами. Переход от ф-ций отклика отдельных приводов $S_1 \dots S_4$ к их линейным комбинациям:

$$\begin{aligned} \Phi_1(\mathbf{r}) &= S_1(\mathbf{r}) - S_3(\mathbf{r}) \\ \Phi_2(\mathbf{r}) &= S_2(\mathbf{r}) - S_4(\mathbf{r}) \\ \Phi_3(\mathbf{r}) &= \sum_{i=1}^4 S_i(\mathbf{r}) \\ \Phi_4(\mathbf{r}) &= S_1(\mathbf{r}) + S_3(\mathbf{r}) - S_2(\mathbf{r}) - S_4(\mathbf{r}) \end{aligned} \quad (13)$$

6 Задания по Лекции 11

1. —
2. —

7 Вопросы по Лекции 11

1. Основные параметры адаптивных корректоров, их классификация.

2. Сравнительный анализ сегментированных корректоров и корректоров со сплошной гибкой поверхностью.
3. Устройство и сравнительные характеристики (чувствительность и рабочий диапазон частот) приводов:
 - Электромеханических;
 - Магнитострикционных;
 - Пьезоэлектрических:
 - Продольный пьезоэффект;
 - Поперечный пьезоэффект;
 - Биморфные приводы.
4. Устройство и сравнительные характеристики монолитных пьезоэлектрических зеркал и мембранных корректоров.
5. Пример ортогонализация ф-ций отклика корректора.

Список литературы

1. Воронцов М.А., Шмальгаузен В. И. Принципы адаптивной оптики, М.: Наука, 1985, 288 с.
2. Воронцов М.А., Корябин А.В., Шмальгаузен В. И. Управляемые оптические системы, М.: Наука, 1988, 248 с.
3. Харди Дж. Активная оптика: Новая техника управления световым пучком. ТИИЭР, т.66, №6, с.33, 1979.