

мальная длительность квантования $T = 1/\omega_d$ при $c = 35$ и $T = 2/\omega_d$ при $c = 70$.
 Схема фотонного коррелятора, обладающая перечисленными выше параметрами,
 обеспечивает погрешность единичного измерения скорости на уровне $\sim 0,25-0,5\%$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Спектроскопия оптического смешения и корреляция фотонов/Под ред. Г. З. Камминса и Е. Р. Пайка.— М.: Мир, 1978.
2. Дюррани Г., Грейтид К. Лазерные системы в гидродинамических измерениях.— М.: Энергия, 1980.
3. Гродзовский Г. Л. Анализ точности лазерного доплеровского измерителя скорости газового потока.— Труды ЦАГИ, 1976, вып. 1750.
4. Ермаков С. М. Метод Монте-Карло и смежные вопросы.— М.: Наука, 1971.

Поступило в редакцию 22 декабря 1980 г.;
 окончательный вариант — 17 июля 1983 г.

УДК 53.082.5

С. В. ЗАЙЦЕВ, А. В. ЧЕКАН, А. О. ШИРКОВСКАЯ

(Москва)

ВОЛНОВОДНО-ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛАВНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ТОЛЩИНЫ ТОНКИХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НЕВОЛНОВОДНЫХ СЛОЕВ

В устройствах планарной волноводной оптики наряду с волноводными слоями используются промежуточные слои с малыми показателями преломления. Практически у промежуточных слоев, кроме систем с защитными покрытиями, должны быть изменения параметров (обычно толщины) в плоскости волноводной системы. Такие промежуточные слои применялись в устройствах ввода и вывода излучения через промежуточные слои, в многослойных системах со связью планарных волноводов и в некоторых других устройствах. В нашей работе [1] был рассмотрен волноводно-интерференционный метод измерений плавных изменений толщины диэлектрических слоев, основанный на явлении интерференции рассеянных волноводных волн с разной поляризацией, распространяющихся в слое. Этот метод не может быть применен непосредственно для исследований неволноводных слоев, нанесенных на подложки с большими показателями преломления. Однако можно рассмотреть возможность таких измерений, если на исследуемый слой нанесена дополнительная волноводная пленка.

Рассмотрим волноводную систему, состоящую из исследуемого слоя толщиной h_3 с показателем преломления n_3 на подложке n_4 , дополнительной волноводной пленки h_2 , n_2 и верхней среды n_1 при условии $n_1 < n_3 < n_4 < n_2$. Диэлектрический слой и пленка могут быть двулучепреломляющими с показателями преломления необыкновенных волн n_{2e} , n_{3e} . В такой системе возможно распространение TE_m - и TM_m -волноводных волн с коэффициентами замедления фазовой скорости γ_m и γ_m^* , которые при γ_m , $\gamma_m^* > n_4$ связаны с параметрами системы дисперсионными уравнениями для TE -волн —

$$k_0 k_2 h_2 = \arctg(k_1/k_2) + \arctg[(k_3/k_2) \operatorname{th} \beta_3] + m\pi, \quad (1)$$

для TM -волн —

$$\frac{n_2}{n_{2e}} k_0 k_2^* h_2 = \arctg\left[\frac{n_2 n_{2e}}{n_1^2} \frac{k_1^*}{k_2^*}\right] + \arctg\left[\frac{n_2 n_{2e}}{n_3 n_{3e}} \frac{k_3^*}{k_2^*} \operatorname{th} \beta_3^*\right] + m\pi, \quad (2)$$

где

$$\beta_3 = k_0 k_3 h_3 + \operatorname{arth}(k_4/k_3), \quad \beta_3^* = \frac{n_3}{n_{3e}} k_0 k_3^* h_3 + \operatorname{arth}\left[\frac{n_3 n_{3e}}{n_4^2} \frac{k_4^*}{k_3^*}\right]; \quad k_i = \sqrt{\gamma_m^2 - n_i^2},$$

$$i=1, 3, 4; k_j^* = \sqrt{\gamma_m^{*2} - n_j^2}, \quad j=1, 4; \quad k_3^* = \sqrt{\gamma_m^{*2} - n_{3e}^2}; \quad k_2 = \sqrt{n_2^2 - \gamma_m^2};$$

$$k_2^* = \sqrt{n_{2e}^2 - \gamma_m^{*2}};$$

$k_0 = 2\pi/\lambda$, $m = 0, 1, \dots$ — индекс волны.

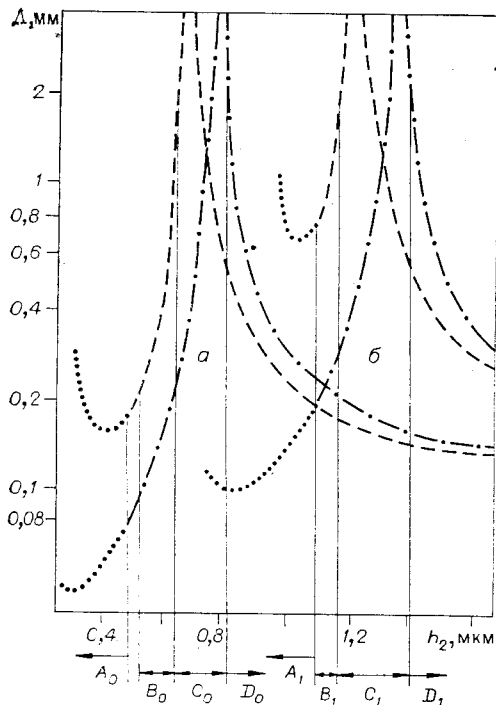


Рис. 1. Зависимость периода интерференционной картины рассеянных волноводных волн (а — TE_0 , TM_0 и б — TE_1 , TM_1) от толщины пленки полистирола при толщине слоя SiO_2 :

$h_3 = 0$ (штриховая линия) и $h_3 = \infty$ (штрихпунктирная линия).

Плавные изменения толщины исследуемого слоя $h_3 = h_3(z)$ приводят к изменениям коэффициентов замедлений $\gamma_m = \gamma_m(z)$, $\gamma_m = \gamma_m(z)$ и ширины интерференционных полос. При постоянстве остальных параметров системы в соответствии с уравнениями (1) — (3) по измерениям ширины интерференционных полос можно рассчитать изменения толщины диэлектрического слоя. Возможность применения такого метода измерений в конкретном случае определяется минимальными регистрируемыми отклонениями толщины слоя:

$$\Delta h_{3\min} = \left| \frac{\partial \gamma_m}{\partial h_3} - \frac{\partial \gamma_m^*}{\partial h_3} \right|^{-1} \frac{\lambda}{\Lambda} \frac{\Delta \Lambda}{\Lambda}. \quad (4)$$

Здесь частные производные могут быть рассчитаны в соответствии с уравнениями (1) и (2). Параметр $\Delta \Lambda / \Lambda$ связан с точностью измерений ширины интерференционных полос.

Данный метод измерений был применен при исследованиях плавных изменений толщины слоев SiO_2 , полученных методом высокочастотного катодного распыления через неконтактные маски плавного кварца на подложки стекла К-14 ($n_4 = 1,513$). Нанесение слоев проводилось в режиме, при котором показатель преломления слоя SiO_2 составлял $n_3 = 1,482$, а $(n_{3e} - n_3) < 0,001$, и в дальнейшем двулучепреломление слоев не учитывалось. Дополнительные волноводные пленки полистирола наносились методом вытягивания из раствора ($n_2 = 1,583$, $n_{2e} = 1,588$). Измерения осуществлялись на длине волны $\lambda = 0,633$ мкм, значения указанных выше оптических постоянных также соответствуют этой длине волны. Для выбора толщины дополнительных волноводных пленок h_2 были проведены расчеты зависимостей $\Lambda(h_2)$ при толщине слоя $h_3 = 0$ и $h_3 = \infty$. Результаты расчетов приведены на рис. 1. По этим графикам можно выделить области, в которых может быть выбрана толщина дополнительных пленок. Это области B_0 (для TE_0 , TM_0 -волн) и B_1 (для TE_1 , TM_1 -волн), где интерференционные картины достаточно информативны и удобны для наблюдения: $0,2 \text{ мм} < \Lambda < 2 \text{ мм}$. Такому условию удовлетворяют также области D_0 и D_1 , однако расчеты зависимостей $\Delta h_{3\min}(h_3)$ при фиксированных значениях толщины пленок, выбранных в D_0 и D_1 , показывают меньшую достижимую точность измерений. Промежуточные области C_0 и C_1 из анализа можно исключить, поскольку зависимости $\Lambda(h_3)$ здесь неоднозначны. Следует исключить также области A_0 и A_1 , где $\gamma_m, \gamma_m^* < n_4$ и при конечной толщине слоя SiO_2 происходит излучение в подложку. Для нескольких толщин дополнительных волноводных пленок полистирола, выбранных в областях

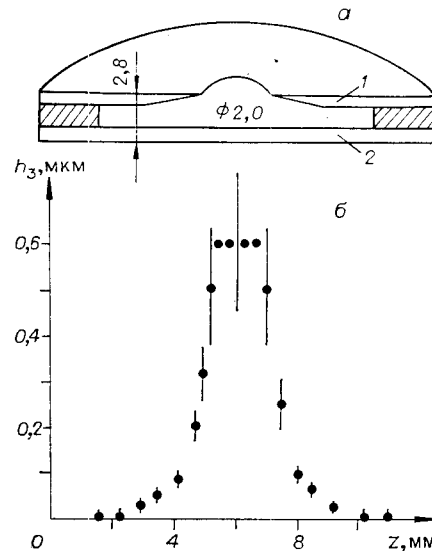


Рис. 2. Расположение маски 1 над подложкой 2 при нанесении слоя SiO_2 (а) и результат измерения толщины слоя (б).

Если вдоль некоторого направления z в системе одновременно распространяются TE_m - и TM_m -волны, может наблюдаться интерференционная картина этих двух рассеянных волн [2] с периодом

$$\Lambda = \lambda \left| \gamma_m - \gamma_m^* \right|^{-1}. \quad (3)$$

возрастать при $h_3 \approx \lambda$. В этом существенное отличие рассматриваемого волноводно-интерференционного метода от обычных методов интерферометрии, где для тонких слоев точность снижается. Схема расположения маски при изготовлении одного из образцов показана на рис. 2, а. На образец была нанесена пленка полистирола толщиной $h_2 = 1,079 \pm 0,002$ мкм, что соответствует левой границе области B_1 на рис. 1. В системе с призмным устройством ввода одновременно возбуждались TE_1 , TM_1 -волноводные волны. Интерференционные картины рассеянных волн фотографировались, и по результатам фотометрирования негативов определялась ширина интерференционных полос. Одновременное возбуждение двух TE -, TM -волн и получение интерференционной картины рассеянных волн подробно описаны в работе [2]. Результаты определения изменений толщины слоя $h_3(z)$, рассчитанные на ЭВМ по системе уравнений (1) — (3), представлены на рис. 2, б. Отмеченная погрешность измерений соответствует $\Delta\lambda/\lambda = 0,1$.

Проведенный анализ и экспериментальные исследования показали возможность применения волноводно-интерференционного метода измерений плавных изменений толщины диэлектрических неволноводных слоев на основе явления интерференции рассеянных волноводных волн с разной поляризацией в системе из исследуемого слоя и дополнительной волноводной пленки. Метод измерений является недиструктивным, если используются дополнительные пленки, которые легко удаляются, например органические пленки полистирола или полиметилметакрилата. Метод может быть применен как непосредственно для задач планарной волноводной оптики, так и в других областях техники, где требуются исследования тонких диэлектрических слоев с изменениями параметров в плоскости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агапов А. Ю., Дерюгин Л. Н., Зайцев С. В., Чекан А. В. Экспериментальное определение изменений толщины оптических волноводных пленок по интерференции полей рассеяния мод с разной поляризацией.— *Опт. и спектр.*, 1983, т. 54, № 1.
2. Агапов А. Ю., Зайцев С. В. Интерференция рассеянных мод тонкопленочного оптического волновода.— *Опт. и спектр.*, 1981, т. 51, № 4.

Поступило в редакцию 6 апреля 1983 г.

УДК 681.335

В. П. ДОРОШЕВ, В. Е. ЯМНЫХ

(Минск)

ПРЕДЕЛЬНЫЙ ДИНАМИЧЕСКИЙ ДИАПАЗОН ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ АЦП

Применение нелинейных (функциональных) шкал является одним из эффективных методов расширения динамического диапазона (ДД) входных сигналов измерительных преобразователей, в том числе аналого-цифровых (АЦП). Известен подход к выбору оптимальной (обеспечивающей минимум погрешности) шкалы квантования сигналов с заданным законом распределения уровней [1, 2]. Однако для большинства случаев применения АЦП невозможно заранее указать закон распределения, что не позволяет найти оптимальную шкалу, и, кроме того, реализация шкал произвольного вида зачастую связана с заметным усложнением аппаратуры. В связи с этим на практике в системах передачи данных [3], телевидении [4], связи [5] и в других областях используется ограниченный набор функциональных шкал, причем некоторые из них оказываются достаточно близкими к оптимальным шкалам для сигналов, действующих в указанных системах.

Целью работы является сравнение наиболее распространенных функциональных АЦП по величине достижимого ДД при заданном числе уровней и среднеквадратической погрешности квантования синусоидального входного сигнала.

Выбор синусоидального сигнала обусловлен следующими причинами: во-первых, он широко применяется для автоматизированных испытаний АЦП [6, 7]; во-вторых, сравнительно просто обеспечивается прецизионность формы этого сигнала; в-третьих, облегчается экспериментальная проверка результатов анализа, поскольку среднеквадратическая погрешность его совпадает с коэффициентом гармоник K_g [8], который, в свою очередь, измеряется стандартными прямопоказывающими приборами.