

### *Интерференция переотражений в фазовых пластинах.*

В настоящее время фазовые пластины в большинстве случаев используются в устройствах с источниками когерентного излучения – лазерами. В таких случаях при измерении параметров ФП необходимо учитывать интерференцию многократных переотражений от ее поверхностей, которая оказывает влияние на реальный фазовый сдвиг. Для устранения переотражений в практических устройствах на рабочие поверхности ФП наносят как можно более эффективные антиотражающие покрытия. Но в процессе изготовления ФП приходится измерять задержку без просветления в присутствии френелевского отражения.

В литературе по ФП этот вопрос исследовался теоретически и экспериментально [4,5,6,7,8]. Показано, что интерференция переотражений приводит к появлению у фазовой пластины линейного дихроизма по осям о- и е-лучей. При этом реально наблюдаемый фазовый сдвиг ФП изменяется. Нас интересуют конкретные проявления интерференции в спектрах полуволновых минимумов (Рис.3а), индикатрисах поляризованного пропускания (Рис.3б) трех наших методиках измерения точности ФП, описанных в предыдущем разделе (1.1.1.). Из теоретических работ [4,5] этого сделать нельзя, поэтому мы провели собственные расчеты.

Расчеты проводились в рамках формализма матриц Джонса. Была составлена матрица Джонса для фазовой пластины с произвольной задержкой, ориентацией азимута оптической оси и коэффициентом отражения от поверхностей при наличии многократных переотражений, не содержащая никаких подгоночных параметров как в [8]. Расчет проводился для ФП из кристаллического кварца, т.е. использовались дисперсионные зависимости показателей преломления кварца. Коллимированный пучок когерентного линейно поляризованного излучения падает по нормали к поверхности ФП. Для моделирования реальной ситуации взята полуволновая и четвертьволновая ФП мультипорядка с волновой задержкой  $N=13,5$  и  $N=13,25$  для He-Ne лазера с длиной волны  $\lambda=0,6328$  мкм. Толщина такой пластины 0,9437 мм и 0,9262 мм соответственно. Пластины с толщиной порядка 1 мм наиболее часто встречаются в заказах фирмы.

**Ситуация 1.** Точность полуволновой пластины измеряется методом полуволновых минимумов при высоком разрешении спектрального прибора порядка 1 А (0,0001 мкм). При таком разрешении длина когерентности зондирующего излучения составляет величину порядка 1,3 мм и для данной ФП излучение близко к когерентному. На Рис.4 а,б приведены расчетные спектры пропускания ФП между параллельными идеальными поляризаторами вблизи полуволнового минимума с волновой задержкой  $N=13.5$  для разных диапазонов сканирования.

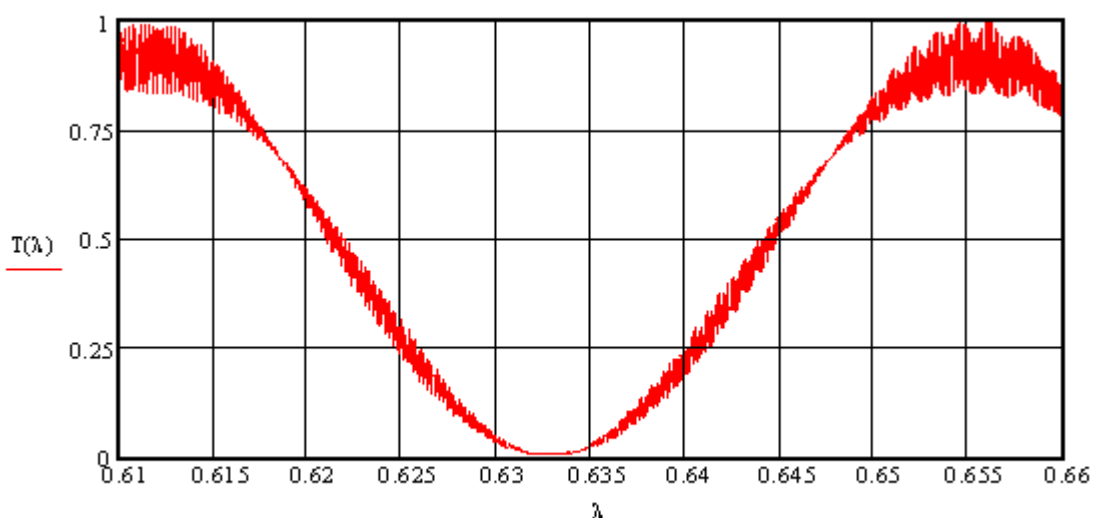


Рис. 4а. Спектр пропускания ФП с волновой задержкой  $N=13.5$  на длину волны He-Ne лазера  $\lambda=0,6328$  мкм между параллельными поляризатором и анализатором

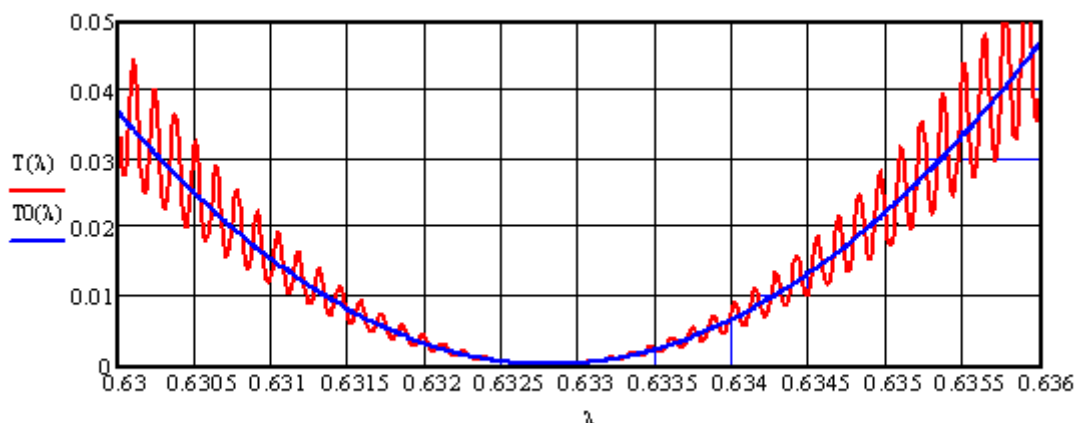


Рис.4а, 4б. Спектр пропускания ФП с волновой задержкой  $N=13.5$  на длину волны He-Ne лазера  $\lambda=0,6328$  мкм между параллельными поляризатором и анализатором при наличии интерференции френелевских переотражений  $T(\lambda)$  и в отсутствие последних  $T_0(\lambda)$ .

На графиках отчетливо видно, что в области спектра, где ФП является полуволновой, переотражения взаимно гасят друг друга. В области, где дробная часть задержки равна нулю и в некоторых областях эллиптичности интерференция переотражений проявляется максимально. Основной вывод: метод полуволновых минимумов нечувствителен к интерференции переотражений (как и к ошибкам в установке азимутальных углов ФП и анализатора) и может применяться для измерения точности полуволновых ФП в любых ситуациях.

**Ситуация 2.** Четвертьволновая ФП с  $N=13.25$  тестируется непосредственно с помощью He-Ne лазера методом измерения индикатрисы поляризованного пропускания либо компенсационным методом Сенармона (раздел 1.1.1.). На Рис.5а, 5б приведены расчетные индикатрисы пропускания ФП между поляризатором и анализатором при вращении анализатора для разной точности изготовления толщины ФП.

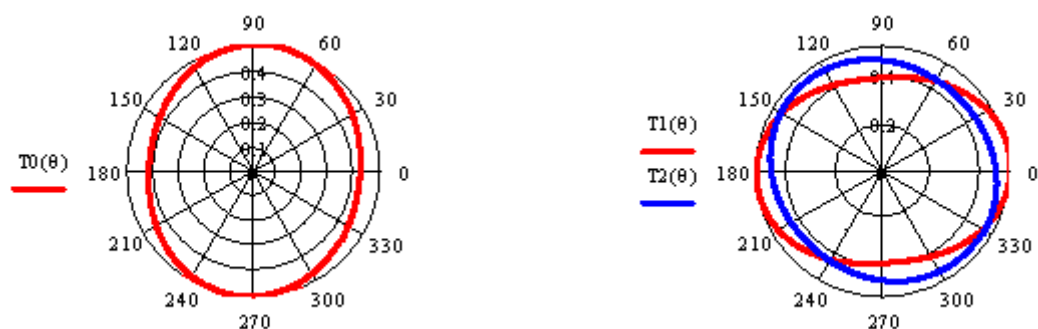


Рис.5а, 5б. Индикатрисы пропускания четвертьволновой ФП на длине волны He-Ne лазера после вращающегося анализатора.

5а – толщина ФП изготовлена с абсолютной точностью

5б – толщина ФП изготовлена с точностью задержки  $-\lambda/100$  (-4%) кривая  $T_1(\theta)$ , с точностью задержки  $+\lambda/100$  (+4%) кривая  $T_2(\theta)$

Ситуация не очень приятная. Абсолютно точная ФП (Рис.5а) показывает ошибку задержки 5,7% ( $+\lambda/70$ ), изготовленная с точностью (-4%) показывает ошибку -9,6%

$(-\lambda/42)$ , изготовленная с точностью  $+4\%$  ( $+\lambda/100$ ) дает почти идеальную задержку с ошибкой  $(-0,03\%)$ . На Рис.6 представлена ошибка задержки (%) относительно требуемой  $\pi/2$  в зависимости от ошибки изготовления толщины пластины в мкм.

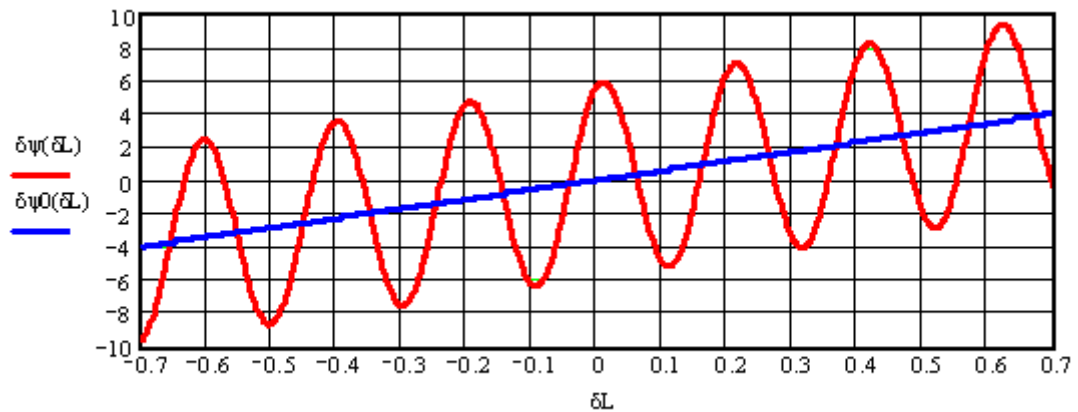


Рис.6. Ошибка задержки в процентах относительно требуемой в  $\pi/2$  на рабочей длине волны (He-Ne лазер) в зависимости от ошибки изготовления толщины  $\delta L$  в мкм.  
 $\delta\psi(\delta L)$  - при наличии Френелевских переотражений,  $\delta\psi_0(\delta L)$  – в отсутствие переотражений

Рис.6 показывает, что даже в пределах одного технологического полировального блока  $100 \times 100$  мм (ошибка  $\delta L$  в толщинах ФП на противоположных сторонах блока  $\pm 0,12$  мкм) фазовые пластины могут показывать ошибку в задержке  $-6,4\% (-\lambda/63) < \delta\psi < +6\% (+\lambda/67)$ . Расчетное моделирование измерений компенсационным методом Сенармона показывает абсолютно такой же результат. Поэтому в целях экономии места графиков не приводим. Это свидетельствует о невозможности контроля точности изготовления четвертьволновых фазовых пластин с помощью когерентных источников света без применения специальных методик измерения. Такие методики предлагаются в [6,7], для них требуется сложная дорогостоящая аппаратура, они весьма экзотичны и вряд ли пригодны для применения в технологии производства. В [10] предлагается несложный метод, но в нем для измерения одной фазовой пластины нужно проводить целую серию измерений, что непригодно для производства. Приемлемый способ устранения влияния переотражений при оперативном измерительном контроле ФП с помощью лазерных источников рассмотрен в следующем разделе 1.1.3..

Наша расчетная методика позволяет точно ответить на важный практический вопрос: какое качество должно быть у антиотражающего покрытия при работе в лазерных системах для получения циркулярной поляризации высокого качества. Этот вопрос имеет глобальное значение для эллипсометрии [2] и в ряде фундаментальных исследовательских задач [9,10]. На Рис.7 приведена ошибка задержки в % от идеально циркулярной ( $\pi/2$ ) в зависимости от качества просветления поверхностей для абсолютно точно изготовленной четвертьволновой фазовой пластины.

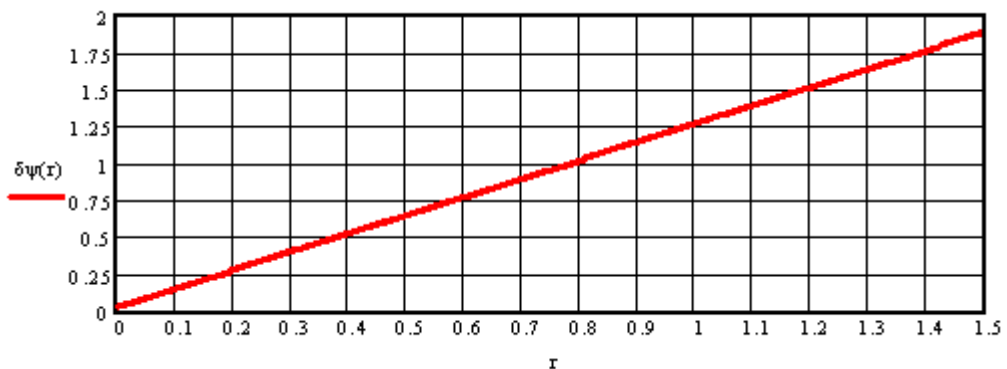


Рис.7. Отклонение задержки  $\delta\psi(r)$  в % от  $\pi/2$  в зависимости от коэффициента отражения  $r(\%)$  рабочих поверхностей абсолютно точно изготовленной четвертьволновой ФП

Как следует из рис.7, абсолютно точно изготовленная ФП будет давать задержку с ошибкой не хуже 0,8% ( $\lambda/500$ ) при коэффициенте остаточного отражения поверхности пластины не хуже 0,6%. Фазовые пластины для работы в лазерных системах должны быть просветлены особенно тщательно.