

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 535.32

**ТРАНСФОРМАЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ОТРАЖАЮЩЕГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА
В ПОЛЯРИЗОВАННОМ СВЕТЕ**

© Н. Д. Голдина

*Институт лазерной физики СО РАН,
630090, г. Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 15б
E-mail: ngold@laser.nsc.ru*

Новый вариант отражающего интерферометра для S -поляризованного света состоит из тонкой металлической плёнки, размещённой перед многослойным диэлектрическим интерферометром. От расположения металлической плёнки в узле или пучности стоячей волны, отражённой от интерферометра, зависит появление узких экстремумов (максимумов или минимумов) в спектральной или угловой зависимости коэффициента отражения.

Ключевые слова: многолучевой интерферометр, отражённый поляризованный свет, металлический слой.

DOI: 10.15372/AUT20210214

Введение. Наклонное падение света в многослойной оптике используется давно для создания поляризаторов [1]. Включение многослойных покрытий в поляризационные устройства позволило создать новый поляризатор, оперирующий при углах больше критического угла [2] с коэффициентом пропускания S -поляризованного света $T_s \sim 1$ и коэффициентом отражения P -поляризации $R_p \sim 1$.

В работах [3, 4] рассмотрена 9-слойная металл-диэлектрическая структура GHLHLHLMNA при наклонном падении света под углом 45° . Здесь G — стеклянная призма, A — воздух, H и L — слои с высоким и низким показателями преломления соответственно, M — металлический слой. Структура HLHLHLHMN представляет собой добротный интерферометр. Одним из зеркал является граница полного внутреннего отражения (ПВО), вторым зеркалом — многослойник из 7 диэлектрических слоёв внутри структуры. Базой интерферометра для настройки на рабочую длину волны служит слой H между металлом M и воздухом A. При добавлении 7-слойного зеркала получается узкая полоса поглощения 5 нм (резкий провал) в спектральной кривой для коэффициента отражения S -поляризованного света. Интересно рассмотреть вариант, когда металлическая плёнка находится на входе в интерферометр.

Конструирование. В данном исследовании предлагается новая конструкция отражающего интерферометра GMHLHLHNA: металлическая плёнка размещается перед многослойным диэлектрическим интерферометром. Ограничивающими средами здесь также являются стеклянная призма G (показатель преломления $n = 1,52$) и воздух A ($n = 1,0$). Угол падения превышает критический (41°), расчёт сделан для угла 44° . Показатели преломления диэлектрических слоёв H и L равны 2,36 и 1,46 соответственно. Следует заметить, что в расчётах используется модель комплексно-проводящей поверхности, в которой металлическая плёнка вместо оптических констант $n = 3,4$, $k = 4,7$ и толщины $h = 7$ нм характеризуется двумя параметрами: активной $2nk\gamma$ и реактивной $(n^2 - k^2)\gamma$ (где $\gamma = 4\pi h/\lambda$) составляющими комплексной поверхностной проводимости [3].

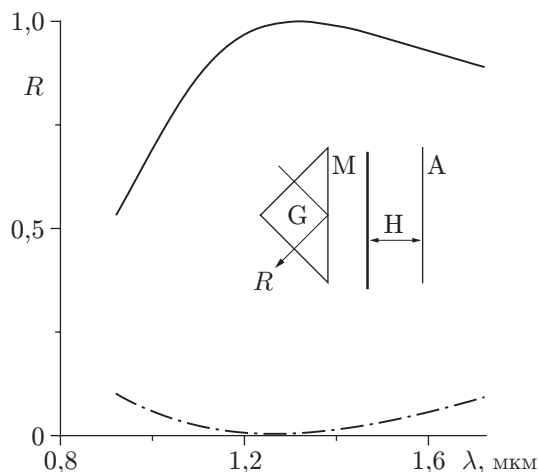


Рис. 1. Коэффициент спектрального отражения интерферометра из двух слоёв — металлической плёнки М и диэлектрического слоя Н. Сплошная кривая — толщина Н-слоя соответствует расположению М в узле стоячей волны, отражённой от границы ПВО; штрихпунктирная кривая — в пучности

Рассмотрим вначале простой вариант отражающего интерферометра (ОИ) из двух слоёв (рис. 1) по схеме ГМНА, где М — металлическая плёнка и Н — диэлектрический слой. Граница Н-слоя с воздухом является границей ПВО. Рассматривается S -поляризация. На рисунке приведена спектральная зависимость коэффициента отражения R_s . Сплошной линией показана зависимость R_s для толщины Н-слоя $\delta = 0,4(\lambda_0/4)$, штрихпунктирной — для $\delta = 1,3(\lambda_0/4)$, здесь $\lambda_0 = 1,22$ мкм. В первом случае металлическая плёнка находится в узле стоячей волны, отражённой от границы ПВО, и R_s имеет максимум ~ 1 для λ_0 ; во втором случае металл находится в пучности и R_s имеет минимум, близкий к 0.

Предлагаемый вариант нового ОИ состоит во внесении между металлической плёнкой

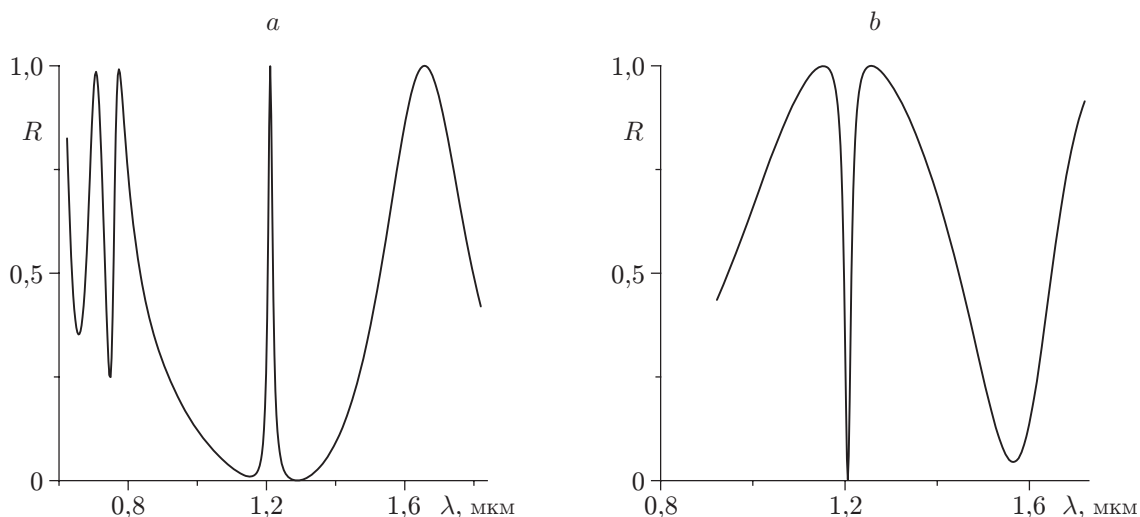


Рис. 2. Спектральные коэффициенты отражения нового варианта отражающего интерферометра: металл находится в узле стоячей волны, отражённой от внутреннего диэлектрического интерферометра (а), в пучности (б)

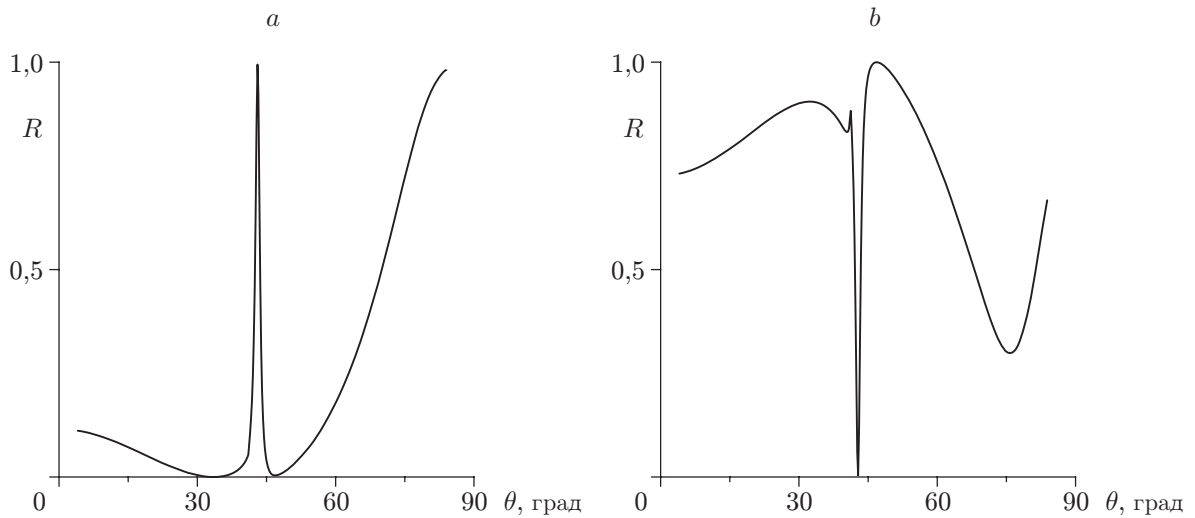


Рис. 3. Угловые зависимости коэффициента отражения для λ_0 при изменении толщины зазора (прилегающего к металлу диэлектрического слоя): металл находится в узле стоячей волны (а); в пучности (b)

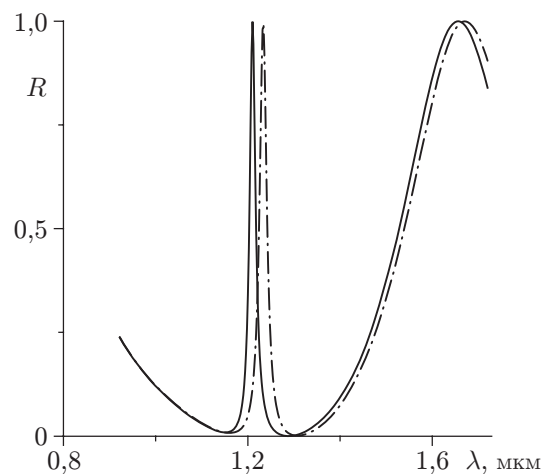


Рис. 4. Спектральное смещение пика на 24 нм при изменении показателя преломления внешней среды с 1,00 до 1,02

и границей ПВО многослойного диэлектрического интерферометра. Структуру ОИ можно записать в следующем виде: $\text{GMH}_\delta\text{LHLHLH}_\varphi\text{A}$. Базой диэлектрического интерферометра служит слой H_φ перед границей ПВО. Изменение толщины φ приводит к смещению кривых по спектру. Толщина прилегающего к металлической плёнке H_δ -слоя («зазор») используется для настройки двух вариантов ОИ. Все остальные слои многослойного покрытия имеют четвертьволновую толщину $\lambda_0/4$. Изменением толщины зазора регулируется расположение металлической плёнки в узле или пучности стоячей волны. Тем самым осуществляется метаморфоза экстремума R_s : при толщине $\delta = 0,4(\lambda_0/4)$ имеем узкий максимум R_s , при толщине $\delta = 1,3(\lambda_0/4)$ — резкий минимум R_s (рис. 2).

Подобная трансформация экстремума коэффициента отражения R_s может быть осуществлена и в угловой зависимости. На рис. 3 приведены результаты расчёта для $\lambda_0 = 1,22$ мкм. Здесь толщины слоёв те же, что и на рис. 2. При $\delta = 0,4(\lambda_0/4)$ экстремум $R_s(\theta)$ имеет максимум вблизи угла $\theta = 44^\circ$, а при $\delta = 1,3(\lambda_0/4)$ — минимум.

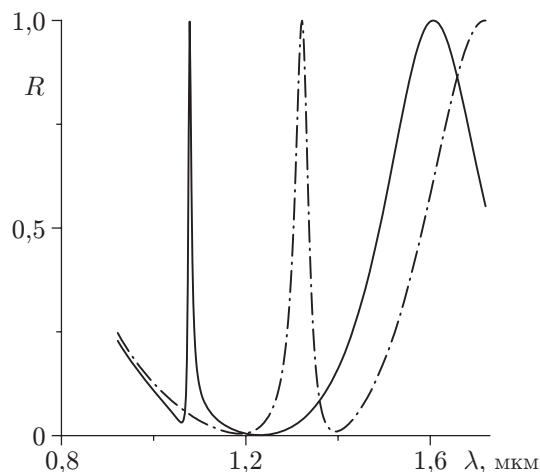


Рис. 5. Смещение пика коэффициента отражения при уменьшении толщины базы (сплошная кривая) и увеличении толщины (штрихпунктирная кривая)

Обсуждение. Предлагаемый ОИ для S -поляризованного света с узким экстремумом R_s может быть использован как сенсор для анализа изменений показателя преломления внешней среды. На рис. 4 показано спектральное смещение пика на 24 нм при изменении показателя преломления с 1,00 до 1,02. Аналогичные изменения происходят и для системы в виде провалов R_s .

Трансформация спектральных и угловых зависимостей R_s может быть произведена, если зазор изготовлен из материала, показатель преломления которого изменяется при каком-либо физическом воздействии (электрического поля, температуры).

Смещение экстремумов при изменении толщины H -базы в пределах спектрального плато показано на рис. 5. Размеры плато могут быть увеличены добавлением числа диэлектрических слоёв. Уменьшение толщины металлической плёнки также приводит к расширению плато за счёт спада поглощения.

Преобразованные экстремумы (инверты), помимо области плато вблизи $\lambda_0 = 1,22$ мкм, находятся и в других областях спектра. Так, на рис. 2 они хорошо видны с коротковолновой стороны. Если для λ_0 это максимумы R_s , то для $\lambda < \lambda_0$ — минимумы R_s .

Для P -поляризации эффект также присутствует, но нет резкости для экстремумов R_p .

Заключение. Метаморфоза зависимости коэффициента отражения S -поляризованного света в новом варианте ОИ, когда металлическая плёнка находится перед многослойным диэлектрическим интерферометром, происходит при изменении толщины одного диэлектрического слоя — зазора. Происходит превращение узких экстремумов R_s в спектральной или угловой зависимости.

Новый вариант ОИ может быть использован для анализа показателя преломления окружающей среды [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кард П. Г. Анализ и синтез многослойных интерференционных плёнок. Таллин: Валгус, 1971. 235 с.
2. Li L., Dobrowolski J. A. High performance thin-film polarizing beam splitter operating at angles greater than the critical angle // Appl. Opt. 2000. **39**, N 16. P. 2754–2771.

3. **Голдина Н. Д.** Тонкослойные покрытия для лазерной оптики. Новосибирск: Академиздат, 2018. 132 с.
4. **Голдина Н. Д.** Расчёт коэффициента отражения металл-диэлектрических структур при нарушенном полном внутреннем отражении // Автометрия. 2009. **45**, № 6. С. 99–104.
5. **Терентьев В. С., Симонов В. А.** Спектральные характеристики наклонного отражательного интерферометра как сенсора показателя преломления // Оптика и спектроскопия. 2021. **129**, вып. 2. С. 238.

Поступила в редакцию 24.12.2020

После доработки 13.01.2021

Принята к публикации 18.01.2021
