

07;12

Некоторые особенности процесса рельефообразования на фототермопластических носителях при их применении в двухэкспозиционной интерферометрии

© Л.М. Панасюк, И.В. Чапурин

Молдавский государственный университет,
277009 Кишинева, Молдавия

(Поступило в Редакцию 8 июня 1996 г.)

Рассмотрены основные тенденции развития поверхностного рельефа фототермопластических носителей оптической информации при регистрации на них двухэкспозиционных голографических интерферограмм. Выявлено, что для получения качественных интерферограмм необходимо выбирать такие условия записи (учитывающие состав материала и температуру разогрева термопластического слоя носителя, а также параметры сенсibiliзирующего коронного разряда), которые позволяют рассматривать поверхность фототермопластического носителя в эквипотенциальном приближении.

Введение

В работе представлены результаты исследований процессов формирования рельефных изображений при записи двухэкспозиционных интерферограмм (ДИ) на фототермопластическом носителе (ФТПН). Последний выполнен в виде нанесенной на металлизированную подложку двухслойной структуры из слоя фоточувствительного полупроводникового материала и покрывающего его термопластического (ТП) полимерного слоя. Зарядовая сенсibilизация данного типа ФТПН осуществляется в поле коронного разряда одновременно с разогревом ФТПН и его экспонированием [1]. Механизм рельефообразования при таком способе записи оптической информации достаточно детально изучен в ряде работ, например [2–5].

Одним из наиболее значимых практических применений ФТПН является его использование в системах двухэкспозиционной голографической интерферометрии [6,7], при котором осуществляется последовательная запись на непрерывно разогреваемый ФТПН двух голографических изображений тестируемого объекта, находящегося в различных состояниях. При этом осуществляют два цикла коронной зарядки ФТПН, а межзарядовый временной интервал используют для создания условий, позволяющих осуществить качественную запись второй из регистрируемых голограмм на поверхностном рельефе ФТПН, образованном при записи первой голограммы. В общем виде задача моделирования процессов, происходящих в системе ФТПН при формировании ДИ, сводится к выявлению тенденций изменения первоначально сформированного на поверхности ФТПН рельефа при дополнительном воздействии на него деформирующих сил [8].

Если к началу повторной зарядки ФТПН на его поверхности сформирован поверхностный рельеф с пространственной частотой k и глубиной $A = A_0 \cos kx$, моделирующий первоначально зарегистрированное голографическое изображение, то коронная зарядка ФТПН

модулирует плотность поверхностного заряда также по гармоническому закону $\sigma = \sigma_0 + \sigma_1 \cos kx$. При этом амплитуда деформации A_0 учитывается заведомо меньшей толщины слоя d . Уравнение движения ТП слоя тогда запишется (согласно [9]) в виде

$$\tau_m \frac{dB}{dt} + (1 - Fe^{-\omega_f t})B + Ye^{-\omega_y t} = 0, \quad (1)$$

где $B = Ak$ — нормированная глубина поверхностного рельефа, τ_m — характерное время механической релаксации моделирующей ТП слой вязкоупругой жидкости, коэффициенты Y и ω_y характеризуют эволюцию рельефа ТП слоя под воздействием промодулированного по плотности поверхностного заряда с амплитудой σ_1 и частотой k , коэффициенты F и ω_f характеризуют эволюцию рельефа под воздействием равномерной зарядки ТП слоя поверхностной плотностью зарядов σ_0 .

Исследование влияния коронной зарядки деформированной поверхности ФТПН на эволюцию глубины рельефа

Будем считать заряжаемую поверхность ФТПН эквипотенциальной. Это приближение характеризует ТП слой носителя низким значением удельного поверхностного сопротивления, позволяя рассматривать ТП поверхность как "металлизированную". Рассмотрим основные тенденции, последовательно во времени характеризующие эволюцию поверхностного рельефа ФТПН.

1. При коронной зарядке поверхности ФТПН с присутствующим на ней некоторым начальным рельефом происходит эффективная модуляция поверхностного заряда вследствие перераспределения коронного тока во впадины рельефа поверхности [10]. Это вызывает увеличение плотности деформирующих сил, воздействующих на первоначально сформированные поверхностные деформации ФТПН, и приводит к углублению начального

рельефа в процессе достижения поверхностным потенциалом своего равновесного значения на всей свободной поверхности ФТПН.

2. По достижении эквипотенциальности поверхности ФТПН на ней накапливается значительная поверхностная плотность зарядов σ_0 , много бóльшая модулированной плотности σ_1 . Так как последняя пропорциональна Y , то можем принять $Y = 0$ и переписать (1) в виде

$$\tau_m \frac{dB}{dt} + (1 - Fe^{-\omega_f t})B = 0. \quad (2)$$

Решение (2) при временах $t \ll \omega_f^{-1}$ имеет вид

$$B(t) = B(0)e^{-\frac{(1-F)t}{\tau_m}}. \quad (3)$$

Проведенные нами расчеты показали, что для исследуемых типов ФТПН обычно выполняется соотношение $F > 2$. Поэтому глубина поверхностного рельефа продолжает увеличиваться по экспоненциальному закону с инкрементом роста, превышающим τ_m^{-1} в $(F - 1)$ раза.

3. В процессе увеличения глубины поверхностного рельефа происходит рост параметра ω_f [9]. В некоторый момент времени, соответствующий оптимальной продолжительности коронной зарядки ФТПН, параметр ω_f возрастает настолько, что экспоненциальный член в (2) становится пренебрежимо малым и углубление поверхностного рельефа сменяется его заплыванием с характерным временем спада глубины, равным τ_m .

4. Прекращение коронной зарядки ФТПН при его продолжающемся разогреве приводит к замедлению спада глубины поверхностного рельефа, который характеризуется постоянной времени $\tau_m^* > \tau_m$. Увеличение характерного времени τ_m^* связано с тем, что в отсутствие коронной зарядки ТП слой моделируется уже не вязкоупругой, а ньютоновской вязкой жидкостью.

Выбор ТП слоев с повышенными величинами удельного поверхностного сопротивления, когда реализуется "диэлектрическое" модельное представление рассматриваемой системы, определяет величину $\omega_f < 0$ и рост поверхностных деформаций при коронной зарядке ФТПН не ограничивается указанным выше фактором. В этом случае рельеф развивается на всю толщину ТП слоя (деформация типа "воронки"). Однако при высоких пространственных частотах в регистрируемых голографических изображениях деформации от соседних интерференционных линий начинают частично перекрываться. Это приводит к снижению пространственной частоты в регистрируемом изображении, ограничивая тем самым механический пробой ТП слоя, но одновременно значительно снижая качество зарегистрированного на ФТПН изображения.

Влияние равномерной засветки заряжаемого ФТПН на эволюцию его поверхностного рельефа

Если одновременно с коронной зарядкой продеформированной поверхности ФТПН осуществить ее равномерную засветку, под влиянием последней происходят

как уменьшение поверхностного потенциала V_s из-за возрастания токов утечки через ФТПН, так и увеличение его дифференциальной емкости C вследствие накопления отрицательных зарядов на границе полупроводникового и ТП слоев. Как показали проведенные нами эксперименты по исследованию кинетики изменения V_s на устройстве [11], при освещении V_s уменьшается в бóльших масштабах, нежели возрастает C , причем эта тенденция усиливается при увеличении освещенности E . Следовательно, как полный поверхностный заряд $\Omega = V_s C$, так и определяемая им поверхностная плотность зарядов σ_0 уменьшаются с увеличением освещенности ФТПН. Учитывая, что $F \simeq \sigma_0^2$ [9], отметим, что увеличение E приводит к значительному снижению величины F . Если при некоторых величинах E выполняется соотношение $F > 1$, то основные закономерности эволюции рельефа ФТПН, описанные выше, сохраняются. Однако начиная с некоторой величины освещенности реализуется ситуация, когда $F < 1$. Рассмотрим ее подробнее в зависимости от знака параметра ω_f .

а) Случай $\omega_f > 0$, характеризующий ТП с эквипотенциальной ("металлизированной") поверхностью. По завершении переходных процессов, приводящих к установлению эквипотенциальности и характеризующихся значительным углублением рельефа на ФТПН, начинается этап экспоненциального, согласно (3), заплывания поверхностных деформаций с характерными временами, превышающими τ_m настолько, насколько значение F близко к единице. Следовательно, роль равномерного освещения при зарядке ФТПН с первоначально сформированным на нем поверхностным рельефом сводится к изменению этого рельефа на необходимую величину.

б) Случай $\omega_f < 0$, характеризующий ТП с высоким поверхностным сопротивлением ("диэлектрическое" приближение). При этом реализуется ситуация, аналогичная рассмотренному выше случаю зарядки неосвещаемого ФТПН и приводящая к механическому пробою ТП слоя. При этом модуляция глубины поверхностного рельефа в зависимости от величины освещенности не осуществляется. К тому же представляется более предпочтительным использование механизма записи на ФТПН, при котором рост поверхностных деформаций ограничивается (или управляется) тем или иным способом.

Эволюция первоначально сформированного на ФТПН поверхностного рельефа при повторной записи голографического изображения

Так как при увеличении освещенности заряжаемого ФТПН величина его V_s снижается, то на наиболее освещенные участки ФТПН перераспределяется дополнительный зарядный ток [12]. Учитывая постоянство полного зарядного тока по кадру ФТПН, отметим, что это обуславливает уменьшение зарядного тока в участках ФТПН с меньшими освещенностями, что в свою очередь

приводит к уменьшению на этих участках величин σ_0 и связанного с ними коэффициента F . Кроме того, параметр ω_f увеличивается за счет снижения удельного сопротивления полупроводникового слоя ФТПН при увеличении освещенности на нем [9]. Все эти факторы, взаимодействуя, проводят к модуляции глубины первоначально сформированного рельефа ФТПН в процессе его развития в зависимости от распределения освещенностей в регистрируемом вторым изображении. Применительно к регистрации ДИ можно сказать, что происходит одновременное восстановление первоначально зарегистрированной голограммы и модуляция соответствующего ей поверхностного рельефа голографическим изображением, регистрируемым вторым. Таким представляется механизм регистрации ДИ на ФТПН.

Рассмотрим, каким образом влияют параметры ТП слоя на качество регистрации ДИ.

а) Случай ТП в "диэлектрическом" приближении ($\omega_f < 0$). Как показано выше, первоначально сформированный рельеф сначала частично заплывает и лишь при $t > |\omega_f^{-1}|$ начинает углубляться. Поскольку величина ω_f зависит от освещенности различных участков ФТПН, переход к усилению частично заплывшего рельефного изображения наступает в различные моменты времени для участков ФТПН с различными регистрируемыми освещенностями. В этом случае, однако, первое из регистрируемых голографических изображений будет преобладающим в результирующем интерферометрическом изображении, а сама ДИ будет характеризоваться низким контрастом.

б) Случай ТП в "металлическом" приближении ($\omega_f > 0$). При достаточно большом различии в величинах минимальной и максимальной освещенностей в регистрируемом вторым голографическом изображении наблюдается ситуация, когда каждая из темных и светлых интерференционных линий может быть представлена как эквипотенциальная поверхность с характеризующими ее различными значениями коэффициента F : $F > 1$ и $F < 1$ соответственно. В первом случае глубина рельефа сперва возрастает, а затем экспоненциально спадает с характерным временем τ_m . Во второй ситуации такому же экспоненциальному спаду предшествует участок замедленного спада глубины поверхностного рельефа без его предварительного заглубления. При этом реализуется ситуация, когда вместе с восстановлением первого голографического изображения формируется изображение голограммы, экспонируемой при портовой коронной зарядке. Следовательно, формирование ДИ осуществляется на всем протяжении процесса зарядки ФТПН, а качество регистрируемой ДИ практически не зависит от продолжительности коронной зарядки.

Заключение

Рассмотренные особенности формирования ДИ на ФТПН позволяют сделать вывод, что на эволюцию первоначально нанесенного поверхностного рельефа при повторной зарядке ФТПН влияют как параметры разогрева

его ТП слоя, так и условия зарядовой сенсibilизации и экспонирования ФТПН. Определяющим фактором для качественной регистрации ДИ на ФТПН представляется такой выбор параметров записи, который позволяет рассматривать поверхность ТП слоя как "металлизированную" в режиме коронной зарядки.

Авторы выражают признательность Цитрону А. "Арко-Глобус, Инк.", Нью-Йорк за постоянное внимание к проводимым исследованиям и их финансовую поддержку.

Список литературы

- [1] Панасюк Л.М. // Способы записи информации на бесшерстяных носителях. Киев: Вища школа, 1977. Вып. 8. С. 12–24.
- [2] Handojo A. // J. Appl. Phys. 1979. Vol. 50. N 2. P. 886–892.
- [3] Storck E., Wolff U. // Siemens Forsch.-u. Entwickl. 1977. Vol. 6. N 2. P. 63–68.
- [4] Выборнов В.И., Панасюк Л.М., Русанов М.М. // ЖТФ. 1984. Т. 54. Вып. 5. С. 929–933.
- [5] Аникин В.И. // Фундаментальные основы оптич. памяти и среды. Киев: Вища школа, 1989. Вып. 20. С. 9–13.
- [6] Аникин В.И., Коршак О.Я., Панасюк Л.М. и др. // Свойства светочувствительных материалов и их применение в голографии. Л.: Наука, 1987. С. 100–105.
- [7] Панасюк Л.М., Чапурин И.В. // Опт. и спектр. 1996. Т. 81. Вып. 1. С. 140–143.
- [8] Chapurin I.V., Panasyuk L.M. // Optics for science and new technology. ICO-17 Congress.
- [9] Гуцо Ю.П. // Перспективы и возможности несеребряной фотографии. Л.: Химия, 1988. С. 196–239.
- [10] Аникин В.И., Журминский И.Л., Панасюк Л.М. // Фундаментальные основы оптич. памяти и среды. Киев: Вища школа, 1987. Вып. 18. С. 41–43.
- [11] Погорельский Л.Б., Панасюк Л.М. // АС СССР. № 1341593.
- [12] Денисенко Ю.И., Панасюк Л.М., Яковенко П.Н. // Журн. науч. и прикл. фото- и кинематографии. 1982. Т. 27. Вып. 4. С. 241–244.