

УДК 678.073

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРМОПЛАСТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЗАПИСИ ИНФОРМАЦИИ

Н.Г. Находкин

I. Введение

Если в слое жидкости со свободной поверхностью создать поле сил, то такая жидкость деформируется. Величина деформации определяется равновесием деформирующих сил и сил, противодействующих деформации. В данном случае силами, противодействующими деформации, являются силы поверхностного натяжения, гидростатическое давление и сила внутреннего трения в жидкости. Рельеф деформированной поверхности жидкости отражает характер распределения заданного ранее поля деформирующих сил. Поле этих сил можно, например, создавать нанесением на поверхность жидкости или внесением в ее объем заряда, распределение которого по поверхности отражает записываемую информацию. Таким образом, информация, передаваемая распределением заряда или электростатических сил в слое жидкости, преобразуется в рельеф ее поверхности, отражающий исходную информацию. Этот слой, способный отражать исходную информацию, будем в дальнейшем называть носителем информации.

Деформация размягченных диэлектриков под действием электростатических сил была обнаружена еще в прошлом веке [1]. Вспо-

следствии это свойство нашло практическое применение при конструировании проекционной телевизионной системы "Эйдофор" [2,3]. В этой системе записанный сигнал сохраняется недолго, потому что релаксация заряда и силы поверхностного натяжения сглаживают рельеф за сравнительно короткое время ($0,1 + 1$ сек.).

В 1959 году Гленн [4] модифицировал систему типа "Эйдофор", заменив вязкую диэлектрическую жидкость термопластическим слоем, который размягчается при температурах $60-100^{\circ}\text{C}$. В размягченном состоянии термопластический слой деформируется под действием электростатических сил, а при последующем быстром охлаждении он затвердевает, сохраняя записанный рельеф на своей поверхности. Длительность хранения записи определяется хладо-текучестью термопластического слоя.

Полный цикл термопластической записи можно разделить на три этапа:

- 1) образование скрытого изображения;
- 2) его появление;
- 3) фиксация.

Скрытое изображение образуется полем деформирующих сил в термопластическом слое носителя (ТПН). Его появление происходит при размягчении вещества ТПН, например, при нагревании до температуры размягчения. Последующее быстрое охлаждение ТПН создает благоприятные условия для фиксации записи.

Сравнительная простота процесса записи, возможность многократного повторения циклов записи, воспроизведения и стирания, возможность частичного стирания и перезаписи, сравнительно слабое влияние проникающего излучения, отсутствие зерна, что обеспечивает большое разрешение — все эти особенности являются основными преимуществами записи информации на термопластических материалах, которые открывают ей возможность практического применения. В настоящей работе мы хотим рассмотреть общие особенности некоторых разновидностей термопластической записи информации с тем, чтобы выяснить возможность применения термопластических носителей в вычислительной технике.

2. Особенности процесса проявления

Процесс проявления записи, заключающийся в деформации размягченного носителя полем сил скрытого изображения, является общим для всех разновидностей термопластических материалов для записи информации ТПЗИ. В идеальном случае, когда силы не релаксируют и время проявления достаточно велико, устанавливается равновесное состояние. Равновесная форма деформированной поверхности носителя определяется равенством нулю равнодействующей всех сил, действующих в данной точке поверхности. В действительности равновесное состояние достигнуть очень трудно, потому что одновременно с деформацией поверхности носителя происходит релаксация деформирующих сил. Поэтому на практике проявление проводят в течение сравнительно короткого времени и при таких режимах, чтобы за время деформации не произошло существенное уменьшение деформирующих сил. При этом фиксируется неравновесное состояние деформированного носителя. Возникает необходимость выбора оптимального времени проявления и оптимального режима проявления. Оптимальный режим проявления зависит от многих величин, значение которых трудно измерить и удерживать постоянными в реальных условиях опыта. Поэтому наряду с реальным экспериментом необходимо вести эксперимент теоретический при помощи счетно-решающих машин или аналитических вычислений. В этом случае исключается влияние случайных изменений температуры, состава и структуры вещества, условий на его поверхности, содержания примесей, всегда имеющих место в реальном эксперименте. В [5] нами была поставлена такая задача, которая сводилась к нахождению деформации реологической среды объемными силами. К сожалению, эта задача в общем виде до сих пор еще не решена.

В некоторых случаях эту задачу можно упростить, считая, что:

- 1) При сравнительно малых градиентах скорости деформации (~ 1 сек $^{-1}$), которые имеют место на опыте, и оптимальных температурах размягченный термопластик можно считать ньютоновской жидкостью. Проявление можно вести и при более низких температурах, когда необходимо учитывать отклонения реальной жидкости от ньютоновской. Однако этот режим проявления не обе-

спечивает, по-видимому, большой чувствительности ТПН.

2) Деформации малы по сравнению с глубиной слоя носителя, так что членами второго порядка малости можно пренебречь.

3) Изменение сил во времени не зависит от деформации носителя.

Задача о малых деформациях ньютоновской жидкости применительно к ТПН решалась в работах Бадда [6] и Гучо [7]. В первой работе рассматривалось сглаживание рельефа поверхности ньютоновской жидкости, а во второй — деформация бесконечного слоя жидкости электростатическими силами поверхностного заряда. Обычно термопластические носители имеют конечную толщину и деформируются объемными силами. Такая задача была решена в нашей лаборатории Бутенко А.Д. Оказалось, что амплитуда синусоидальной деформации зависит от многих величин: пространственной частоты синусоиды $\omega = \frac{2\pi}{\lambda}$, толщины слоя носителя δ , его вязкости μ , времени проявления t , распределения объемных сил и двух характерных времен $\tau_{жс}$ и τ_p . Здесь $\tau_{жс}$ — время релаксации жидкости, зависящее от вязкости, поверхностного натяжения, пространственной частоты ω и толщины слоя δ , а τ_p — время релаксации объемных сил. Эта зависимость для двумерной задачи имеет вид:

$$A = \frac{\varphi(\omega\delta, F(x, z))}{\mu} \cdot \frac{1}{\frac{1}{\tau_p} - \frac{1}{\tau_{жс}}} (e^{-\frac{t}{\tau_{жс}}} - e^{-\frac{t}{\tau_p}}), \quad (1)$$

где ось x лежит в плоскости недеформированного носителя, ось z — перпендикулярно его поверхности, $\varphi(\omega\delta, F(x, z))$ — функционал, зависящий от характера действующих сил, толщины слоя δ и пространственной частоты ω . Временная зависимость $A(t)$ определяется разностью двух экспонент, в которые входят два характерных времени $\tau_{жс}$ и τ_p . Временная зависимость получается такой же, как и в случае поверхностных сил.

Анализ временной зависимости показывает, что $A(t)$ проходит через максимум при

$$t_{опт} = \frac{1}{\frac{1}{\tau_p} - \frac{1}{\tau_{жс}}} \ln \frac{\tau_{жс}}{\tau_p} \quad (2)$$

Так как τ_p и $\tau_{жс}$ зависят от температуры T , а $\tau_{жс}$ еще и от поверхностного натяжения σ и $\omega\delta$, то $t_{опт}(T, \sigma, \omega\delta, \mu, \tau_p)$.

Таким образом, для каждой пространственной частоты существует свое оптимальное время проявления. Наилучшими материалами будут материалы, у которых $\tau_p > \tau_{жс}$. В идеальном случае, когда $\tau_p \rightarrow \infty$ и $t_{опт} \rightarrow \infty$, деформация определяется равновесием деформирующих и сглаживающих сил (сил поверхностного натяжения и гидростатического давления)

$$A_{\tau_p \rightarrow \infty} = - \frac{\varphi[\omega\delta, F(x, z)]}{\mu} \tau_{жс} \quad (3)$$

В этом случае имеет место максимальная чувствительность носителя, которая в частном случае поверхностных электростатических сил определяется формулой Гюенна [4]. При достижении максимальной чувствительности ($t \rightarrow \infty$) мы получим малую разрешающую способность, потому что с ростом времени проявления ухудшается передача больших пространственных частот и улучшается передача малых пространственных частот. Это заключение вытекает из анализа формулы (1) и может быть получено элементарно из формулы (3) (см. формулу (29) в [5]).

3. Скрытое изображение

Без ограничения общности можно утверждать, что скрытое изображение имеет электрическую природу. Однако по характеру действующих сил его удобно разделить на два класса: электростатическое и неэлектростатическое^{*}. В первом случае скрытое изображение образуется неоднородно распределенными поверхностными или объемными зарядами. Во втором случае внутри чувствительного слоя под действием света или электронов возникает внутреннее напряжение.

Заряд можно создать:

1) воздействием модулированного электронного луча, сканирующего поверхность носителя [3, 4];

2) локальной разрядкой равномерно заряженного носителя при локальном воздействии на него светом и электронами [8 - 12];

^{*} Для общности необходимо добавить еще один класс — магнитный. Термопластическая запись информации с использованием магнитных сил описана в [47, 48].

3) переносом заряда, как это делается в электрофотографии [12];

4) образованием устойчивой поляризации (фотоэлектричные состояния) [13];

5) фотозарядным процессом [15];

6) используя автоэлектронную эмиссию и электрические пробой промежутка подложка-острие, на которое подается модулированное сигналом напряжение.

Скрытое электростатическое изображение неоднократно изучалось в связи с проблемами переноса изображения, электростатической записи и электрофотографии, однако во многих случаях детали процесса еще не полностью известны. Хорошо известно, что:

1) предельная плотность заряда не может превышать q_{max} , при которой образуется пробой ($q_{max} \sim 2 \cdot 10^{-7} \text{ К/см}^2$ [15]);

2) усилительные процессы (например, в результате размыкания электронов) могут существенно увеличить эффективность воздействия света и электронов;

3) предельная пространственная частота электростатического скрытого изображения, образованного под действием света, ограничивается дифракцией и поэтому

$$\frac{1}{\lambda_{пред}} < \frac{1}{0,3 \lambda} = 5000 \frac{\text{лин}}{\text{мм}},$$

где λ — длина волны света;

4) предельная пространственная частота электростатического изображения, образованного электронами в толстых слоях, ограничивается пробоем электронов, т.е. $\frac{1}{\lambda_{пред}} < \frac{1}{R}$.

При энергии первичных электронов 10 кэВ $R \sim 2 \text{ мк}$, т.е. $\frac{1}{\lambda_{пред}} \sim 500 \text{ лин/мм}$. В тонких слоях ($\delta < R$) можно существенно увеличить $\frac{1}{\lambda_{пред}}$, доводя ее до $10^4 \div 10^5 \text{ лин/мм}$ [16].

В случае электростатической ТПЗИ скрытое изображение образуется не заряд, а поле поперечных сил этого заряда, зависящее не только от свойств термопластического слоя и его геометрии, но также и от геометрии окружающих электронов [12]. При этом наибольшим изменениям подвергаются сигналы со сравнительно малыми пространственными частотами.

В случае неэлектростатической термопластической записи информации внутренние натяжения в веществе возникают в результате различных фазовых и химических превращений в чувствитель-

ном слое термопластического носителя под действием света или электронов. Такими превращениями могут быть фотолиз, окисление [26], сшивки [28,29], полимеризация [30] и другие процессы. Свет и электроны инициируют начало реакции и, если удастся обеспечить условия, необходимые для течения цепных реакций, такая система должна иметь высокую чувствительность. Подбором специальных красителей удастся управлять спектральной областью чувствительности носителей [10,12,26].

4. Передаточная характеристика

В телевидении и теории цепей широкое применение нашла передаточная характеристика (ПХ) [16 - 18]. Наиболее привлекательной особенностью ПХ линейных систем является то, что ПХ всей системы выражается произведением ПХ отдельных ее частей. В связи с этим заманчиво вести ПХ термопластического носителя (ПХТПН), которая должна явиться наиболее полной ее информационной характеристикой. Такой подход к описанию свойств ТПН был ранее использован в наших предыдущих работах [5,19].

Обычно передаточную характеристику определяют как отношение Фурье-образа выходного сигнала к Фурье-образу входного сигнала, и она представляет собой амплитуду выходного сигнала при подаче на вход синусоидального входного сигнала определенной пространственной частоты $\omega = \frac{2\pi}{\lambda}$. Выходной сигнал $B(x, y, z)$ определить в нашем случае легко — это рельеф деформированной после проявления поверхности термопластического носителя. Входной сигнал определить труднее — это плотность заряда или световой энергии, вызывающих изменения в чувствительном слое ТПН. Не конкретизируя деталей образования скрытого изображения, можно для всех ТПН при их проявлении считать входным сигналом распределения деформирующих сил скрытого изображения. Слой ТПН не является линейной системой, и метод ПХ в общем случае к ней неприменим. Однако если рассматривать малые деформации и считать, что внесенный заряд или другое воздействие (силовое поле) сосредоточены на малой глубине по сравнению с толщиной ТПН, то нормальные составляющие деформирующих сил можно приближенно

представить внешним эквивалентным давлением на поверхности жидкости $P(x, y, t)$. В этом случае ПХ определяется выражением:

$$\tau_z(\omega_1, \omega_2) = \frac{F[B, (x, y, t)]}{F[P(x, y, t)]}, \quad (4)$$

где $F[B, (x, y, t)]$ - Фурье-образ выходного сигнала (рельефа поверхности), $F[P(x, y, t)]$ - Фурье-образ эквивалентного внешнего давления на поверхность ТПН. Вычисление эквивалентного внешнего давления не является простой задачей. Кроме того, на жидкость кроме нормальной составляющей силы действует составляющая вдоль ее поверхности. Это обстоятельство можно учесть введением эффективного поверхностного натяжения, учитывающего поверхностные силы расталкивания. Использование эффективного поверхностного натяжения для учета сил расталкивания использовалось, например, ранее в [6].

Полная задача о ПХ термопластического носителя еще не решена. Поэтому в настоящее время производится, главным образом, экспериментальные исследования ПХ [5, 19, 20]. Имеются сведения о ПХ ТПН в случае записи типа "мороз" [21, 22]. Оказалось, что ПХ ТПН представляют собой кривую с максимумом, ТПН представляет собой фильтр, пропускающий некоторую область средних пространственных частот и не пропускающий очень большие и очень малые пространственные частоты. Аналогичный вид ПХ получается из формулы (1), если ее нормировать на силы, ускоренные по радиусу, т.е. свести входной сигнал к эквивалентному давлению P . Оптимальная пространственная частота зависит от температуры и времени проявления, толщины слоя носителя δ , рода вещества (от характерных времен τ_{xc} и τ_p и вязкости μ) и для типичных ТПН равна ~ 100 лин/мм ($\omega_{opt} = \frac{2\pi}{\tau_{opt}} = 100 - 600$ лин/мм). Увеличивать ω_{opt} можно, уменьшив поверхностное натяжение [23], время проявления и толщину слоя носителя [22], потому что $\omega_{opt} \delta = const$. Однако это уменьшение t и δ приводит к уменьшению чувствительности носителя.

У очень чувствительных систем с малым поверхностным натяжением или у носителей, у которых в процессе записи поверхностное натяжение уменьшается нанесением заряда [6, 9, 11, 24] или тонких слоев чужеродного вещества [23, 25], при проявлении возникает хаотическая деформация типа "мороз". Эта деформация мо-

жет быть промодулирована полезным сигналом, т.е. она может быть хаотическим "растром". Средняя пространственная частота этого хаотического растра весьма близка к оптимальной пространственной частоте ПХ носителя. Поэтому если записывать сигнал на несущей частоте, соответствующей ω_{opt} ПХ, то хаотическая деформация исчезнет, а регулярная усилится [22]. Этот своеобразный "гидродинамический резонанс" выгодно использовать при записи сигналов. Подбор определенного значения ω_{opt} выгодно осуществлять изменением толщины ТПН, так как $\omega_{opt} \delta = const$. Поэтому лучше использовать ТПН для записи сигналов на несущей частоте $\omega_n = \omega_{opt}$.

ТПН может передавать не только деформации с оптимальной пространственной частотой ω_{opt} , но и гораздо большими частотами. Условимся предельной частотой ω_{max} называть частоту, при которой амплитуда периодического растра по отношению к амплитуде сигнала с оптимальной частотой уменьшится в 10 раз. Эту частоту ω_{max} можно условно считать мерой разрешающей способности носителя. Обычно ω_{max} на порядок больше, чем ω_{opt} . Поэтому ТПН могут обеспечить разрешение до 10^3 лин/мм. Введением специальных фильтров можно частично исправить искажения в передаче, связанные с завалами на ПХ в области высоких и низких частот. Используя ТП систему, в которой источником деформирующих сил являются микроскопические пузыри (с радиусом, меньшим длины волны света), можно уменьшить завал на их ПХ в области малых ω .

5. Чувствительность

Существующие методы определения чувствительности [4, 3] неудобны при сравнении различных систем записи информации. Поэтому, учитывая квантовый характер процессов образования скрытого изображения, мы предложили обобщить определение обратной чувствительности, приведенное для фотоматериалов в [32], на все виды записи^{*)}.

^{*)} Ранее это определение чувствительности было нами использовано применительно к ТПН электронным лучом [5].

Для обратной электронной чувствительности получаем:

$$\Delta_{эл} = \frac{q_{min}}{e \cdot e^2 \cdot 100} \left[\frac{\text{эл.}}{\text{ячейка}} \right] \quad (5)$$

и для обратной светочувствительности

$$\Delta_{св} = \frac{W_{св}}{h\nu \cdot e^2 \cdot 100} \left[\frac{\text{квант}}{\text{ячейка}} \right] \quad (6)$$

Здесь e - число разрешаемых линий на мм, q_{min} и $W_{св}$ - минимальные плотности заряда или световой энергии, необходимые для образования минимально обнаруживаемой деформации, e и $h\nu$ - заряд электрона и энергии кванта. Если заряд создается светом с эффективным квантовым выходом η , то

$$\Delta_{св} = \frac{\Delta_{эл}}{\eta} \quad (7)$$

Приведенные соотношения позволяют сравнивать по чувствительности все виды записи информации. Поскольку разрешаемая ячейка не может возбуждаться меньше, чем одним квантом или электроном, то и Δ всегда больше 1. Отклонение этих величин от 1 характеризует скрытые возможности этих систем, которые в принципе можно реализовать, используя усиление.

В таблице приведены вычисленные из литературных данных значения Δ . Видно, что наибольшей чувствительностью обладают обычные фотоматериалы. Не очень отстают от них фотопластические системы, а затем идут остальные разновидности ТПЗИ. Сравнительно низкая чувствительность существующих ТПЗИ говорит о неполном использовании различных усилительных процессов. Поэтому дальнейший прогресс в области применения ТПН требует дальнейших усилий со стороны исследователей, направленных на изучение и использование усилительных процессов. Однако даже при существующем уровне чувствительности некоторые разновидности ТПН могут найти применение.

6. Особенности считывания

Конечное изображение записанного на ТПН сигнала представ-

Сравнение видов записи информации

Т А Б Л И Ц А					
№ пп	Тип записи	q_{min} <i>w_{св}</i>	ℓ лин/мм	Обратная чувстви- тельность Δ эл и Δ св	Ссылка
1.	Термопластическая запись электронным лучом	$10^{-9} + 10^{-8}$ к/см ²	40	$4 \cdot 10^4 + 4 \cdot 10^5$	49
2.	Обычные фотоматериалы под действием электронов	$2 \cdot 10^{-12}$ к/см ²	40	40	49
3.	Обычные фотоматериалы под действием света	$2 \cdot 10^{-9}$ Дж/см ² $5 \cdot 10^{-10}$ Дж/см ²	1000 100	100 1000	50
4.	Запись типа "мороз"	$2,5 \cdot 10^{-9}$ Дж/см ²	100	$5 \cdot 10^3$	II
5.	Фотопластическая запись	$2,5 \cdot 10^{-9}$ Дж/см ²	1000	100	10, 31
6.	Фотохромные системы	0,1 Дж/см ²	3000	10^8	
7.	Кальвар-процесс	0,26 Дж/см ²	200	10^{11}	51

ляет собой рельеф поверхности. Если записываемый сигнал изменяет амплитуду или период (либо то и другое одновременно) какого-либо регулярного растра, то поверхность проявленного ТПН образует двухмерную фазовую решетку, которая содержит информацию о характере исходного сигнала. Для считывания необходимо использовать специальные способы: фазово-контрастный метод Зерника, метод Шинера, метод восстановления волнового фронта [33], метод растрового микроскопа [34].

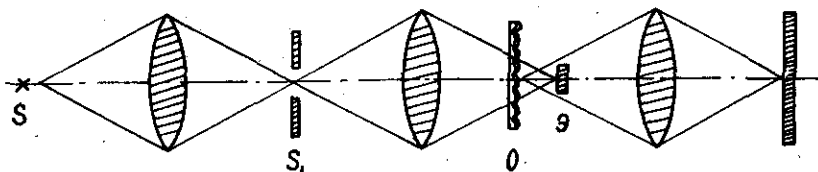


Схема одной из распространенных шпир-систем:
S — источник, S₁ — щель, Э — непрозрачный экран, O — объект.

До сих пор чаще всего применялся метод Шинера. На рисунке показана схема одного из примеров шпир-системы. Свет от источника S фокусируется на щели S₁, изображение которой проецируется на непрозрачный экран Э. Таким образом, в отсутствие объекта или при наличии плоскопараллельной пластинки O экран не будет освещен. Любое нарушение поверхности объекта рассеивает свет. Рассеянный свет не задерживается экраном Э, и объектив спроецирует на экран изображение неоднородностей объекта. Увеличение числа щелей S₁ и сопряженных экранов Э увеличивает светосилу и разрешающую способность системы [33].

Метод растрового микроскопа выгодно применять в тех случаях, когда необходимо записанную информацию преобразовывать в электрические сигналы и когда разрешение оптических систем окажется недостаточным при считывании записанной информации.

Преимущества двухмерной фазовой решетки, образуемой на поверхности ТПН, можно реализовать при считывании информации методом восстановления волнового фронта. Успешная попытка записи

и восстановления голограмм на фотопластическом носителе описана в [21,22]. Запись и восстановление проводились при помощи одного и того же когерентного источника света, что значительно уменьшало искажения. Кроме того, использование несущей частоты, близкой к пространственной частоте, соответствующей максимуму передаточной кривой, значительно уменьшало хаотический шум за счет капиллярных поверхностных волн.

Нелинейность ТПН может исказить записываемую информацию методом голограмм. Однако знание ПХ носителя поможет создать соответствующие фильтры, которые компенсируют искажения при считывании. Таким образом, можно считать, что ТПН являются удобными носителями для записи голограмм.

7. Применение ТПН

Запись информации на ТПН выгодно применять при регистрации и считывании большого количества сигналов на одном кадре. В этом случае удается обеспечить сравнительно большую скорость записи $10^7 - 10^8$ знаков за 1 сек.

В связи с этим ТПН могут найти применение в выходных устройствах вычислительных машин. Малое поглощение света ТПН, работающих на просвет, или хорошее отражение металлизированного ТПН позволяет использовать более мощные источники света, чем в кинопроекторных аппаратах. Эта особенность наряду с большим разрешением ТПН обеспечивает возможность проектировать записанную на ТПН информацию на большой экран. Легкое стирание всего кадра или его части дает возможность выводить изменения, возникающие в процессе длительного счета и обработки данных ТПН, позволяя также записывать и восстанавливать цветное изображение предметов [35].

Можно, по нашему мнению, использовать ТПН для вывода синтезированных на ЭВМ голограмм [36-38]. Синтезированная голограмма электронным лучом записывается на ТПН с размерами, обеспечивающими дифракцию света, а затем голограмма считывается оптическим путем.

ТПН можно применять для долговременной памяти и входных устройств. Основными преимуществами ТПН в этом случае являются —

ся длительное хранение информации и большое разрешение, достигающее в некоторых случаях 1000 лин/мм. [10], а при записи электронным лучом на фоторезистах до 10^5 лин/мм [43, 52]. Такое большое разрешение не может быть использовано при оптическом считывании, поэтому для чтения такой записи необходимо использовать растровый электронный микроскоп. Таким образом, входное устройство может представлять собой голограмму (цифровую [36] или предметную), записанную на ТПН, электрические сигналы с которой вводятся в ЭВМ при помощи сканирующего электронного луча или с помощью фотодиодной матрицы.

Входное голографическое устройство весьма удобно, потому что голографический способ записи позволяет сравнительно легко создавать распознающие устройства. Это означает, что становится возможным ввод в машину рукописных текстов и других образов [46].

В настоящее время ведется интенсивный поиск путей создания запоминающих устройств, имеющих емкость 10^9 бит. В [39] показано, что оптические запоминающие устройства могут иметь емкость $10^8 - 10^{10}$ бит при сравнительно коротком (по сравнению с существующими магнитными и полупроводниковыми устройствами) времени обращения ($10^{-4} - 1$ сек). Разработка оптических систем записи информации ведется по двум направлениям. В первом из них запись информации осуществляется по точкам острого фокусированным световым лучом. Однако такой путь имеет ряд трудно устранимых недостатков [40], связанных с практическим осуществлением большой точности в установке считывания, влиянием пыли и др. Во втором направлении разработки оптических запоминающих устройств [39] используется метод голограмм. Существенным достоинством этого метода является его надежность и помехоустойчивость, потому что выход из строя отдельных участков голограммы не приводит к значительному ухудшению качества изображения, а лишь к потере некоторых его деталей. Кроме того, при записи и считывании голограмм не требуется высококачественной оптики. Как уже указывалось, фототермопластические носители удобны для записи голограмм. Поэтому их можно использовать, например, в таких запоминающих устройствах, которые разрабатываются фирмой Bell Telephone Laboratories [41, 42].

В работе Микаэляна с сотрудниками [40] предложено записы-

вать на одном и том же носителе несколько голограмм, отличающихся опорным лучом. Изображение восстанавливается при считывании и матрицей фотодиодов превращается в комбинацию электрических сигналов. Выборка чисел (комбинации сигналов) осуществляется выбором положения опорного луча при считывании. Использование в этих системах в качестве фоточувствительного слоя ФТПН, допускающего многократную запись и простое сухое проявление, позволяет построение не только постоянных, но и оперативных записывающих устройств голографического типа. Оценка информационной емкости таких ЭУ, произведенная в [40], оказывается равной $10^9 - 10^{13}$ бит.

Термопластические материалы и слои из них могут найти применение также при разработке некоторых технологических операций в микроэлектронике, так как среди них есть фоторезисты.

8. Заключение

В заключение еще раз перечислим преимущества ТПН:

- 1) большое разрешение 10^3 лин/мм (для некоторых видов записей электронным лучом $10^4 - 10^5$ лин/мм);
- 2) цикличность (до 10^3 циклов записи и стирания на одном и том же участке носителя);
- 3) сухое и быстрое проявление записи (время проявления меньше 1 сек);
- 4) возможность образования двумерных фазовых решеток;
- 5) отсутствие серебра и низкая стоимость термопластических материалов.

ТПН не лишены и недостатков. Эти недостатки следующие:

- 1) сравнительно медленная скорость записи и проявления отдельных сигналов при их записи по точкам;
- 2) нелинейность ТПН в передаче сигналов;
- 3) сравнительно узкая полоса пропускания пространственных частот и др.

Эти недостатки в некоторых устройствах не имеют существенного значения, однако они ограничивают область применения ТПН.

Анализируя преимущества и недостатки ТПН, можно утверждать, что они имеют перспективы применения в вычислительной технике,

а именно используются для создания:

- 1) входных и выходных устройств;
- 2) устройств, позволяющих выводить информацию на большой экран;
- 3) оптических запоминающих устройств большой емкости.

Наибольшее применение ТПН найдут, по нашему мнению, при голографической обработке информации.

К сожалению, ТПН в настоящее время еще не нашли широкого применения в вычислительной технике. Это обусловлено, главным образом, отсутствием должного внимания к развитию этого направления. Поэтому в ближайшее время необходимо не только интенсифицировать исследования физических и химических свойств ТПН, но и исследования, в которых при помощи ЭВМ выяснились бы все возможные особенности, связанные с применением ТПН. Преимуществом теоретического эксперимента при помощи ЭВМ является отсутствие случайных неконтролируемых изменений свойств носителя и всей системы в целом, которые часто встречаются в реальном эксперименте.

Л и т е р а т у р а

1. SWAN J.W. Proc. Roy. Soc./London/, 62, 38, 1897.
2. ЗВОРЫКИН В.К., МОРТОН Д.А. "Телевидение", М., ИЛ, 1956, стр. 219.
3. ТИМАНН Х. В сб. ст. "Термопластическая запись", М., изд. "Искусство", 1966, стр. 31.
4. GLENN W.E. J. Appl. Phys., 42, 1970, 1959.
5. НАХОДКИН Н.Г. Способы записи информации на бессеребряных носителях, Киев, 1969, стр. 8.
6. BUDD H.F. J. Appl. Phys., 36, 1613, 1965.
7. ГУДО Ю.П., ИОНКИН П.А. ЖНПФЖК 14, 1966, № 6.
8. GAYNOR J., AFTERGUT S. Термопластическая запись информации, М., "Искусство", 1966, стр. 120.
9. GUNDLACH R.W., CLAUS C.J. Термопластическая запись информации, М., "Искусство", 1966, стр. 150.
10. GAYNOR J. Unconventional Photographic System. Second Symposium, October 26-28, 1967, Washington, D.C., p. 25.
11. BICKMORE J.C., CLAUS C.J. Phot. Sci. and Eng., 2, 283, 1965.

12. ШАФФЕРТ Р. Электрофотография, М., "Мир", 1968.
13. CAMSO PAUL J. Unconventional Photographic System, Symposium Washington, D.C., 1964.
14. GAYNOR J., SEVELL. Phot. Sci. and Eng., 11, 204, 1967.
15. НАХОДКИН Н.Г., НЕЩЕВ В.П. ЖНПФЖК, 13, 122, 1968.
16. ЛЕБЕДЕВ Д.С., ЦУКЕРМАН И.И. Телевидение и теория информации М., "Энергия", 1965.
17. ЗИНОВЬЕВ А.Л., ФИЛИПОВ Л.И., Введение в теорию сигналов и цепей, М., "Высшая школа", 1968.
18. РЫТИН Я.А. Телевизионная система, "Советское радио", М., 1967.
19. НАХОДКИН Н.Г., ЮРЧЕНКО В.М., "Физическая электроника" сб. ст. 1, 20, 1969.
20. MEUGERBAUER H.E. J. Appl. Optic, 4, 453, 1965.
21. URBACH J.C., MEIER R.W. Appl. Optic, 5, 4, 1966.
22. URBACH J.C., Phot. Sci. and Eng., 10, 287, 1966.
23. НАХОДКИН Н.Г., КУВШИНСКИЙ Н.Г., ШЕВЛЯКОВ Ю.А., Способы информации на бессеребряных носителях, Киев, 1969, стр. 94.
24. CHESMAN D.J. J. Appl. Phys., 34, 2327, 1963.
25. NICOLL F.H. RCA Rev., 25, 209, 1964.
26. КУВШИНСКИЙ Н.Г., ТАЦЮРА Л.Я., НАХОДКИН Н.Г., ПОЧИНОК В.Я., ФЕДОРОВА Л.Н. Физические основы электрографии, Вильнюс, 1969, стр. 195.
27. НАХОДКИН Н.Г., КУВШИНСКИЙ Н.Г., ЖНПФЖК, 14, 41, 1969.
28. НАХОДКИН Н.Г., КУВШИНСКИЙ Н.Г., ШЕВЛЯКОВ Ю.А., БОРОДКИНА М.С., НЕДУХИЙ С.А., ШЕБЕРСТОВ В.И., УСПЕНСКИЙ В.И. ЖНПФЖК, 13, 359, 1968.
29. КУВШИНСКИЙ Н.Г., НАХОДКИН Н.Г., КОСТЮК А.А., ЯВОРСКАЯ Л.В. Физические основы электрофотографии, Вильнюс, 1969, стр. 191.
30. CONEN A.B. Unconventional Photographic System. Second Symposium, Washington, D.C., 1967, p. 122.
31. АФТЕРГУТ З., ГАЙНОР Дж., ВАГНЕР В.К. Термопластическая запись, М., "Искусство", 1966, стр. 131.
32. GOODMAN J.W., MILES R.B., KIMBALL R.B., J.O.S.A., 58, 603, 1958.
33. ЗАЛЬ-САМ Г., Оптическая обработка информации, М., "Мир", 1966, стр. 251.
34. Электронная микроскопия, под ред. А.А. Лебедева, гос. изд. технико-теоретической лит., М., 1954.
35. GLENN W.E. J.O.S.A., 48, 841, 1958.
36. ЛЕЗЕМ Л., ХИРН П., ДЖОРДАН Дж. Зарубежная радиоэлектроника, № 8, 46, 1969.
37. ЛЕЗЕМ Л., ХИРН П., ДЖОРДАН Дж., Зарубежная радиоэлект -

роника № 12, 41, 1969.

38. БЛЮ и ЧЕН, Электроника, № 5, 8, 1968.

39. МИКАЭЛИН А.И., БОБРИНОВ В.И., НАУМОВ С.М., СОКОЛОВА Л.
З. Радиотехника и электроника, 14, 115, 1969.

40. SMITHS F.H., GALLAGHER L.E. Bell System Technical Journal July-August, 1967, p. 1267.

41. ANDERSON L.K. Bell Laboratories Record, November, 1968, p. 319.

42. ПРЕСС Ф.П. Фотолитография в производстве полупроводниковых приборов, "Энергия", М., 1968.

43. ЛЯЛИКОВ К.С. ЖНПОЖ, 14, 71, 1969.

44. ШЕБЕРСТОВ В.И., ЧИБИСОВ К.В., УСПЕНСКИЙ В.И., СЛУЦКИЙ А.А. ЖНПОЖ, 14, 61, 1969.

45. СТРОУК Дж. Введение в когерентную оптику и голографию, М., "Мир", 1967.

46. Патент США, 340-174, №311903, опуб. 23.03.67.

47. КОТЛЯРСКИЙ В.М. ЖНПОЖ, 14, №6, 1969.

48. GLENN W.E. Сб.ст., "Термопластическая запись", из-во "Искусство", М., 1966.

49. Физический энциклопедический словарь. Гос.научное изд. "Советская энциклопедия", М., 1966.

50. WESFON Thech. Papers, 12, 1967, № 3.

51. KAZUMITSU TANAKA, Optic, 25, № 5, 1967.

Поступила в редакцию

19.XI.1969 г.