

Высокотемпературный отжиг приводит к существенному улучшению структурного совершенства поверхности как полированных, так и травленных образцов (рис. 2). При этом КДО травленных образцов после отжига (см. таблицу) имеют наилучшие параметры, приближающиеся к теоретически рассчитанным для идеальных кристаллов BSO и BGO (рассчитанные по динамической теории КДО имеют следующие параметры: для BSO  $R_{\max}=45.8\%$ ,  $W_{1/2}=7.8''$ , для BGO  $R_{\max}=45\%$ ,  $W_{1/2}=7.7''$ ). Таким образом, в процессе высокотемпературной обработки происходит не только отжиг дефектов, внесенных механической обработкой, но и отжиг «ростовых дефектов».

Высокотемпературный отжиг структурных дефектов должен приводить к увеличению фоточувствительности образцов вследствие уменьшения рекомбинации свободных носителей заряда, однако оказалось, что он приводит, напротив, к существенному уменьшению фоточувствительности травленных образцов, незначительно увеличивая фоточувствительность полированных образцов (рис. 1, кривые 3, 4).

Существенно повысить фоточувствительность образцов можно путем стравливания тонкого приповерхностного слоя толщиной порядка 10 мкм после высокотемпературного отжига (рис. 1, кривая 5). Параметры КДО при этом не ухудшаются (см. рис. 2 и таблицу).

Исходя из этих результатов, можно предположить, что в процессе высокотемпературной обработки наблюдается не только отжиг структурных дефектов, но и диффузия неконтролируемых примесей в тонкий приповерхностный слой. Эти примеси, не внося существенного изменения в структурное совершенство поверхности, значительно снижают ее ФП, что приводит в свою очередь к уменьшению фоточувствительности образцов во всем исследованном спектральном диапазоне.

Вопрос о природе примесей пока остается открытым. Не исключено, что это кислород, диффундирующий в приповерхностный слой BGO и BSO из воздуха, или адсорбированные на рыхлой полированной поверхности атомы других элементов.

#### Список литературы

- [1] *Hau S. L., Oliver D. S.* // Appl. Phys. Lett. 1971. Vol. 18. N 8. P. 325—328.
- [2] *Петров М. П., Хоменко А. В., Красинькова М. В.* // ЖТФ. 1981. Т. 51. Вып. 7. С. 1422—1431.
- [3] *Huignard J. P., Herriau J. P.* // Appl. Opt. 1978. Vol. 17. P. 2671—2672.
- [4] *Ja Y. H.* // Appl. Phys. 1985. Vol. B-36. N 1. P. 21—24.
- [5] *Анцыгин В. Д., Гудачев О. А., Малиновский В. К.* // Автометрия. 1980. № 1. С. 109—113.
- [6] *Волосов А. Я., Костюк В. Х., Кудзин А. Ю., Соколянский Г. Х.* // ФТТ. 1981. Т. 23. Вып. 7. С. 2187—2189.
- [7] *Камышилов В. Ф., Косцов Э. Г.* // ЖТФ. 1983. Т. 4. Вып. 7. С. 65—67.
- [8] *Леонов Е. И., Орлов В. М., Титкова О. В.* Травитель для обработки монокристаллов силенидов. Заявка № 430082/31-26. 18.02.1988. Положит. решение от 22.08.1988.

Физико-технический институт  
им А. Ф. Иоффе АН СССР  
Ленинград

Поступило в Редакцию  
16 июня 1988 г.

В окончательной редакции  
8 декабря 1988 г.

### ОПТИЧЕСКИЙ КОРРЕЛЯТОР С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ЗАПИСЬЮ ФУРЬЕ-СПЕКТРОВ

*М. П. Петров*

В настоящей работе рассматривается когерентно-оптический коррелятор, в плоскости фильтра которого осуществляется запись фурье-образов как эталона, так и текущего изображения. Однако в отличие от схемы с совместным фурье-преобразованием [1] в данном случае запись фурье-образов осуществляется не одновременно, а последовательно. Появление произведения двух фурье-образов возникает за счет нелинейности светочувствительной среды (перекрестных эффектов). Возможность использования нелинейности фоторефрактивных сред для задач корреляционного анализа применительно к объемным голограммам рассматривалось ранее [2-4]. В настоящем сообщении исследованы условия, при которых возможно

использование нелинейных тонких сред, и показано, что подобная схема объединяет в себе ряд достоинств как схемы коррелятора Ван дер Люгта [5], так и схемы с совместным фурье-преобразованием [1].

Рассмотрим схему, представленную на рисунке. Ввод изображений в тракт когерентной обработки осуществляется с помощью пространственно-временного модулятора света (ПВМС). Вначале на ПВМС записывается первое изображение  $F_1(x, y)$ , после этого с помощью когерентных лучей с волновыми векторами  $K_0$  и  $K_1$  записывается его фурье-голограмма (в данной схеме принято, что ПВМС работает на просвет, хотя совершенно очевидно, что можно использовать и ПВМС, работающий на отражение). Затем первое изображение стирается и на ПВМС записывается второе изображение  $F_2(x, y)$ , после чего с помощью лучей  $K_0$  и  $K_2$  записывается его фурье-голограмма. Экспозиция выбирается таким образом, чтобы обеспечить появление нелинейных (перекрестных) членов. Затем с помощью луча  $K_3$ , который может совпадать по направлению с одним из предыдущих лучей  $K_0, K_1, K_2$  или отличаться от них, производится считывание. Например, считывание корреляционного сигнала может осуществляться на отражение.

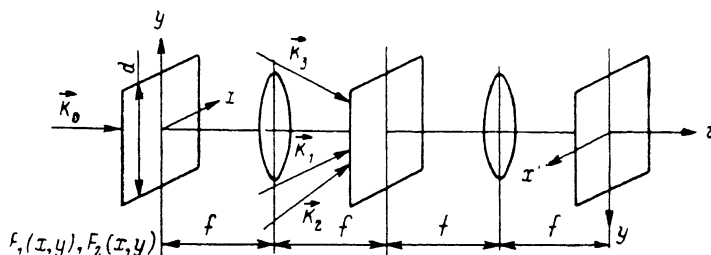


Схема оптического коррелятора с последовательной записью фурье-спектров.

Рассмотрим кратко теорию данного коррелятора. Пусть интенсивность света в плоско-отфильтре при записи фурье-голограммы первого изображения имеет вид

$$I_1(\nu, \zeta) = I_1 + I_0 |\tilde{F}(\nu, \zeta)|^2 + A_0 A_1^* \tilde{F}_1(\nu, \zeta) + A_0^* A_1 \tilde{F}_1^*(\nu, \zeta), \quad (1)$$

где  $A_0$  и  $A_1$  — комплексные амплитуды,  $I_0$  и  $I_1$  — интенсивности лучей  $K_0$  и  $K_1$  соответственно,  $\nu$  и  $\zeta$  — пространственные частоты,  $\tilde{F}_1(\nu, \zeta)$  — фурье-образ изображения  $F_1(x, y)$ .

Аналогично для второго изображения

$$I_2(\nu, \zeta) = I_2 + I_0 |\tilde{F}(\nu, \zeta)|^2 + A_0 A_2^* \tilde{F}_2(\nu, \zeta) + A_0^* A_2 \tilde{F}_2^*(\nu, \zeta). \quad (2)$$

Если при записи голограмм выполняются условия появления перекрестных членов, то коэффициент пропускания фильтра можно записать в виде

$$T(\nu, \zeta) = \alpha [I_1(\nu, \zeta) + I_2(\nu, \zeta)] + \gamma I_1(\nu, \zeta) \cdot I_2(\nu, \zeta). \quad (3)$$

Здесь  $\alpha$  и  $\gamma$  — коэффициенты, зависящие от свойств материала, из которого изготавливается фильтр. Возможные другие члены, описывающие нелинейные эффекты, мы для краткости опускаем, поскольку они не дают интересных результатов и могут быть в значительной мере подавлены выбором экспозиции.

При считывании лучом  $K_3$  в выходной плоскости получим следующее выражение для комплексной амплитуды света:

$$\begin{aligned} A_{\text{вых}}(x', y') = & \Phi_1(x', y') * \delta(x' + x_3, y' + y_3) + \Phi_2(x', y') * \delta(x' + x_3 - x_1, y' + y_3 - y_1) + \\ & + \Phi_3(x', y') * \delta(x' + x_3 - x_2, y' + y_3 - y_2) + \Phi_4(x', y') * \delta(x' + x_3 + x_1, y' + y_3 + y_1) + \\ & + \Phi_5(x', y') * \delta(x' + x_3 + x_2, y' + y_3 + y_2) + \\ & + C_8 \gamma F_1(x', y') * F_2(x', y') * \delta(x' + x_3 - x_1 - x_2, y' + y_3 - y_1 - y_2) + \\ & + C_8 \gamma F_1(-x', -y') * F_2(-x', -y') * \delta(x' + x_3 + x_1 + x_2, y' + y_3 + y_1 + y_2) + \\ & + C_8 \gamma F_1(x', y') \otimes F_2(x', y') * \delta(x' + x_3 + x_1 - x_2, y' + y_3 + y_1 - y_2) + \\ & + C_8 \gamma F_2(x', y') \otimes F_1(x', y') * \delta(x' + x_3 + x_2 - x_1, y' + y_3 + y_2 - y_1). \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь \* означает операцию свертки, а  $\otimes$  — операцию корреляции,  $x_j = f \lambda \sin \theta_j$ ,  $y_j = f \lambda \sin \eta_j$ ,  $f$  — фокусное расстояние объектива,  $\lambda$  — длина волны света,  $\theta_j$  и  $\eta_j$  — углы, проецирующие волновой вектор луча  $K_j$  на ось  $x$  и  $y$  соответственно ( $j = 1, 2, 3$ ). Вычисления  $\Phi_1 - \Phi_5$  равны

$$\begin{aligned}
\Phi_1(x', y') &= C_0 + C_1 F_1(x', y') \otimes F_1(x', y') + C_2 F_2(x', y') \otimes F_2(x', y') + \\
&+ C_3 \gamma F_1(x', y') \otimes F_1(x', y') * F_2(x', y') \otimes F_2(x', y'), \\
\Phi_2(x', y') &= C_4 F_1(x', y') + C_5 \gamma F_1(x', y') * F_2(x', y') \otimes F_2(x', y'), \\
\Phi_3(x', y') &= C_4 F_2(x', y') + C_5 \gamma F_2(x', y') * F_1(x', y') \otimes F_1(x', y'), \\
\Phi_4(x', y') &= C_6 F_1(-x', -y') + C_7 \gamma F_1(-x', -y') * F_2(x', y') \otimes F_2(x', y'), \\
\Phi_5(x', y') &= C_6 F_2(-x', -y') + C_7 \gamma F_2(-x', -y') * F_1(x', y') \otimes F_1(x', y'). \quad (5)
\end{aligned}$$

Коэффициенты  $C_0$ — $C_8$  включают в себя характеристики естественности среды фильтра, нормировочные множители интенсивности записывающих лучей, амплитуду считывающего луча и т. п. Заметим, что система координат на выходе  $x', y'$  инвертирована относительно системы координат на входе  $x, y$ .

В выражении (4) вид  $\delta$ -функций указывает координаты, около которых концентрируются световые пятна, описываемые каждым слагаемым этого выражения. Наиболее интересным для нас являются последние два члена, представляющие собой кросс-корреляционные функции от  $F_1(x, y)$  и  $F_2(x, y)$ . Для того чтобы наблюдать корреляционные пики при  $F_1(x, y) = F_2(x, y)$ , необходимо обеспечить условия по крайней мере типа  $[(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2]^{1/2} > d$ , где  $d$  — максимальный размер изображения на входе, причем предполагается, что исходные изображения являются достаточно информативными (сложными), чтобы автокорреляционные функции имели вид узких пиков. Отсюда следует, что при типичных максимальных значениях пространственных частот входного изображения порядка 10—20 лин/мм, разрешающая способность среды фильтра должна составить по крайней мере десятки линий на миллиметр.

Выбор различных значений  $x_j, y_j$  (или, что то же самое, углов  $\theta_j$  и  $\eta_j$ ) позволяет обеспечить оптимальную схему с точки зрения согласования ее с полосой пропускания пространственных частот фильтра. Интересным является симметричный случай, когда  $\theta_1 = -\theta_2$  и  $\eta_1 = -\eta_2$ . Экспериментальные характеристики (эффективность по считываемому свету) данного коррелятора могут быть вполне сравнимы с коррелятором Ван дер Люгта при значениях  $\gamma \sim 0.1$ — $0.3$ , ожидаемых для фоторефрактивных кристаллов в соответствии с работой [6].

Предлагаемая схема коррелятора объединяет в себе такие достоинства схемы с совместным фурье-преобразованием, как высокую стабильность (произведение фурье-образов хранится в фильтре), и такие преимущества схемы Ван дер Люгта, как минимально возможные требования к величине информационной емкости входного транспаранта. В качестве недостатков данного типа коррелятора следует указать на некоторое усложнение схемы и снижение в два раза темпа работы, так как для выполнения одного такта распознавания необходимо выполнить два такта записи фурье-голограмм.

### Список литературы

- [1] Касасент Д. // Оптическая обработка информации. М.: Мир, 1980. С. 289—340.
- [2] Камшилин А. А., Петров М. П., Степанов С. И. // Письма в ЖТФ. 1979. Т. 5. Вып. 6. С. 374—377.
- [3] Камшилин А. А., Петров М. П., Степанов С. И. // Матер. XI Всесоюз. школы по голографии. Л.: Наука, 1979. С. 219—229.
- [4] Petrov M. P., Miridonov S. V., Stepanov S. I. // Opt. Commun. 1979. Vol. 31. P. 301—305.
- [5] Van der Lugt A. // IEEE Trans. Information Theory. 1964. Vol. IT-10. P. 139—145.
- [6] Шлягин М. Г., Хоменко А. В., Брыксин В. В. и др. // ЖТФ. 1985. Т. 55. Вып. 1. С. 119—126.

Физико-технический институт  
им. А. Ф. Иоффе АН СССР  
Ленинград

Поступило в Редакцию  
2 марта 1989 г.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОГЛАСОВАНИЯ ТОРЦЕВЫХ ДЖОЗЕФСОНОВСКИХ ПЕРЕХОДОВ С СВЧ ТРАКТОМ

В. А. Ильин, И. А. Семин, В. С. Эткин

Для оптимизации параметров приемного устройства на джозефсоновском переходе необходимо определить степень его согласования с сигнальным трактом. Из-за низких значений мощности насыщения джозефсоновских переходов ( $\leq 10^{-9}$  Вт [1]) при этом не удастся использовать стандартные методы и схемы измерений [2]. В то же время для СВЧ детекторов изве-