

- [1] *Ishizaki A., Shiraki J.* // J. Electrochem. Soc. 1986. Vol. 113. P. 666–671.
- [2] *Kobayashi Y., Shinoda Y., Sugii K.* // Jap. J. Appl. Phys. 1990. Vol. 29. P. 1004–1008.
- [3] *Houghton R.F., Patel G., Leong W.Y.* et al. // J. Cryst. Growth. 1987. Vol. 81. P. 326–331.
- [4] *Jakob P., Dumas P., Chabal Y.J.* // Appl. Phys. Lett. 1991. Vol. 59. N 23. P. 2968–2970.
- [5] *Gould G., Irene E.A.* // J. Electrochem. Soc. 1988. Vol. 135. N 6. P. 1535–1539.
- [6] *Utani K., Suzuki T., Adachi S.* // J. Appl. Phys. 1993. Vol. 73. N 7. P. 3467–3471.
- [7] *Morita Y., Tokumoto H.* // Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 1992. Vol. 315. P. 491–496.
- [8] *Grundner M., Graf D., Hahn P.O.* et al. // Solid State Technol. 1991. Vol. 34. N 2. P. 69–75.
- [9] *Watanabe S., Nakayama N., Ito T.* // Appl. Phys. Lett. 1991. Vol. 59. N 12. P. 1458–1460.
- [10] *Chabal Y.J., Higashi G.S., Raghavachari R.* et al. // J. Vac. Sci. Technol. A. 1989. Vol. 7. N 3. P. 2104–2109.
- [11] *Watanabe S., Shigeno M.* // Jap. J. Appl. Phys. 1992. Vol. 31. Pt 1. N 6A. P. 1702–1708.
- [12] *Nenwald V., Hessel N.E., Feltz A.* et al. // Appl. Phys. Lett. 1992. Vol. 60. N 11. P. 1307–1309.
- [13] *Ogawa H., Terada N., Sugiyama K.* et al. // Appl. Surf. Sci. 1992. Vol. 56–58. P. 836–840.
- [14] *Rubloff G.W.* // J. Vac. Sci. Technol. A. 1990. Vol. 8. N 3. P. 1857–1863.
- [15] *Engel T.* // Surf. Sci. Rep. 1993. Vol. 18. N 4. P. 91–144.

07;12

Журнал технической физики, т. 66, в. 12, 1996

## МЕТОД ЭЛЕКТРОННОЙ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ СПЕКЛ-КАРТИН ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ПОЛЕЗНОГО СИГНАЛА ОДНОВОЛОКОННЫХ МНОГОМОДОВЫХ ИНТЕРФЕРОМЕТРОВ

© Ю.Н.Кульчин, О.Б.Витрик, О.Г.Максаев,  
О.В.Кириченко, О.Т.Каменев

Дальневосточный государственный технический университет,  
690600 Владивосток, Россия  
(Поступило в Редакцию 16 ноября 1995 г.)

Одним из перспективных типов волоконных интерферометров для регистрации физических величин являются одноволоконные многомодовые интерферометры (ОМИ), использующие явление интерференции мод одного и того же многомодового волоконного световода (ВС) [1]. Регистрация внешнего воздействия такими интерферометрами осуществляется по отслеживанию изменений пространственного распределения картины межмодовой интерференции. Однако перемещение отдельных ярких областей (спеклов) в картине межмодовой интерференции при большом количестве возбуждаемых мод не связано напрямую с величиной внешних воздействий. Это не допускает применения традиционных методов обработки интерференционных сигналов, разработанных для ставших классическими схем волоконных интерферометров. Как показано в [2], эффективным элементом, реализующим выделение полезного сигнала ОМИ, служит пространственный фильтр

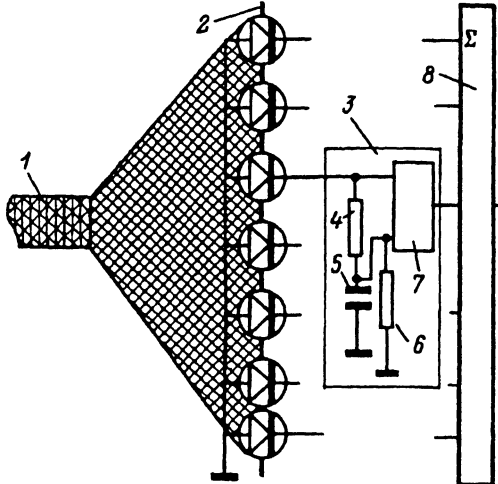
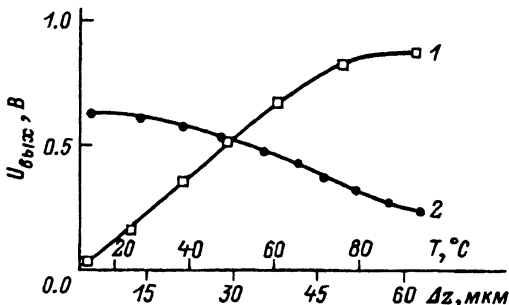


Рис. 1. Электронное устройство корреляционной обработки сигналов одноволоконного многомодового интерферометра.

(ПФ), используемый в схеме корреляционной обработки спекл-картин интерферометра. Однако эксплуатация такого фильтра в реальных условиях ограничена низкочастотным температурным дрейфом параметров ВС. Устранить дестабилизирующее влияние температурных изменений возможно, если опорный сигнал, записываемый на фильтре в дальнейшем поле излучения ОМИ, будет адаптироваться под температурные изменения поля излучения многомодового интерферометра. По-видимому, добиться хороших результатов в этом случае можно при использовании электронных средств регистрации и хранения оптических изображений. Поэтому целью настоящей работы явилась разработка метода электронной корреляционной обработки спекл-картин ОМИ, являющегося электронным аналогом метода пространственной корреляционной фильтрации.

Схема электронного устройства корреляционной обработки (ЭУКО) сигналов ОМИ представлена на рис. 1. Поле излучения многомодового интерферометра 1 направляется на матрицу из полупроводниковых фотоприемников 2. Общее число фотоприемников в матрице при этом выбирается таким, чтобы зарегистрировать пространственное положение всех спеклов в картине межмодовой интерференции. Согласно [3], средний размер световых пятен в спекл-картине может быть рассчитан  $\Delta = 2\lambda L/d$ , где  $d$  — диаметр источника излучения (сердцевина ВС),  $\lambda$  — длина волны источника,  $L$  — расстояние между источником и плоскостью регистрации. Диаметр светового поля, излучаемого ВС в плоскости, удаленной на расстояние  $L$ , может быть, согласно [4], рассчитан  $D = 2NAL$ , где  $NA$  — числовая апертура ВС. Поэтому общее число светлых и темных пятен в спекл-картине составляет  $N = D^2/\Delta^2 = NA^2d^2/\lambda^2$ . В связи с этим для используемого в работе ВС с параметрами  $NA = 0.15$ ,  $d = 30$  мкм и He-Ne лазера с  $\lambda = 0.63$  мкм число фотоприемников выбрано равным  $N = 50$ . При этом фотоприемники располагаются равномерно по всему световому полю ОМИ. Электрический сигнал каждого из фотоприемников направляется в блок 3, включающий аналоговое запоминающее устройство (выполняемое на основе конденсатора 5 и резисторов 4 и 6), а

Рис. 2. Зависимость выходного напряжения электронного устройства корреляционной обработки сигналов многомодового интерферометра от величины удлинения последнего (1) и от температуры окружающей среды (2).



также устройство перемножения электрических сигналов 7. В начальный момент перед проведением измерений конденсатор 5 заряжается током фотодиода. Если время зарядки конденсатора достаточно велико, то его подзарядка током фотодиода возможна только вследствие медленных температурных процессов. При этом быстрые изменения фототока, соответствующие сигнальной компоненте, не будут влиять на величину опорного напряжения, сохраняемого конденсатором. Операция перемножения сигнальной и опорной компонент оптического поля, которую выполняет схема на основе ПФ, в ее электронном аналоге осуществляется элементом умножения 7. Выходное напряжение всех таких элементов суммируется сумматором 8, что соответствует интегрированию отфильтрованного ПФ светового сигнала по апертуре. Таким образом, работа устройства на основе ПФ и ЭУКО полностью аналогична. Поэтому изменения выходного сигнала ЭУКО от фазовых изменений мод многомодового интерферометра будут такими же, как и для схемы с использованием ПФ, т. е. будут описываться выражением [2]

$$\Delta U = U_0 \rho, \quad (1)$$

где  $U_0$  — амплитуда корреляционного сигнала;  $\rho$  — коэффициент корреляции записывающего и считывающего сигналов, который при аксиальных деформациях ОМИ определяется  $\rho = \sin^2(0.5k\Delta n\Delta z)$ , где  $k = 2\pi/\lambda$ ,  $\Delta n$  — разность показателей преломления сердцевинки и оболочки ОМИ,  $\Delta z$  — величина аксиального растяжения последнего.

Из выражения (1) следует, что выходной сигнал ЭУКО нелинейно зависит от величины удлинения ОМИ, что может исказить результаты измерений, проводимых с помощью одноволоконного интерферометра. Для того чтобы избежать этого недостатка, в настоящей работе выходной сигнал ЭУКО линеаризуется при помощи специального корректирующего усилителя.

При проведении экспериментальных исследований метода излучение He-Ne лазера вводилось в одноволоконный многомодовый интерферометр и на выходе последнего регистрировалось фотодиодной матрицей, входящей в состав ЭУКО. Внешние деформационные воздействия на интерферометр моделировались периодическим аксиальным растяжением отрезка ОМИ, навитого на пьезокерамический цилиндр.

На рис. 2 (кривая 1) представлены результаты измерений зависимости обработанного сигнала ОМИ от его удлинения при частоте модуляции 500 Гц. Как видно, разработанное устройство линейно преобразует величину удлинения интерферометра в электрическое напряже-

ние, если амплитуда удлинения не превышает 40 мкм. Динамический диапазон выделенного полезного сигнала достигает 35 дБ. Результаты измерений амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) показали, что последняя линейна в диапазоне 6–2500 Гц. Завал АЧХ вне этого диапазона обусловлен частотно-временными характеристиками используемой электронной схемы. Результаты исследования зависимости обработанного сигнала интерферометра от температуры представлены на рис. 2 (кривая 2). Как видно, средняя нестабильность сигнала не превышает  $0.5\%/^{\circ}\text{C}$ , что соответствует температурной нестабильности используемых фотоприемников (ФЛ-23К). Исследование долговременной стабильности показало, что при постоянной амплитуде деформации многомодового интерферометра его выходной сигнал в течение 8 ч изменяется более чем на 2.5%.

Таким образом, предложенное устройство может значительно расширить область применения многомодовых интерферометров в измерительных устройствах.

### Список литературы

- [1] Бусурин В.И., Семенов А.С., Удалов Н.П. // Квантовая электрон. 1985. Т. 12. № 5. С. 901–943.
- [2] Быковский Ю.А., Витрик О.Б., Кульчин Ю.Н. // Квантовая электрон. 1990. Т. 17. № 10. С. 1377–1378.
- [3] Звелто О. Физика лазеров. М.: Мир, 1984. 395 с.
- [4] Снайдер А., Лав Дж. Теория оптических волноводов. М.: Радио и связь. 1987. 656 с.

## МОДЕЛЬ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ

© В.Н.Перевезенцев

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН,  
Нижегородский филиал,  
603024 Нижний Новгород, Россия  
(Поступило в Редакцию 12 января 1996 г.)

1. Известно [1], что мелкозернистые алюминиевые сплавы при температурах, близких к температурам солидуса ( $T_s$ ), способны деформироваться с необычайно высокой скоростью ( $\dot{\epsilon} = 10^0 - 10^3 \text{ с}^{-1}$ ), обнаруживая при этом все характерные черты сверхпластичности: высокую предельную деформацию ( $\epsilon_c \sim 800 - 1000\%$ ), высокие значения коэффициента скоростной чувствительности ( $m = \partial \lg \sigma / \partial \lg \dot{\epsilon} \cong 0.5 - 0.6$ ), существование порогового напряжения течения, сохранение равноосности зерен в ходе деформации. Было показано [1–5], что эффект высокоскоростной сверхпластичности обусловлен локальным плавлением границ зерен при температуре  $T_i < T_s$ , причем  $T_i$  может существенно