

ЛИТЕРАТУРА

1. Gramenopoulos N., Hartfield E. D. Advanced Laser Image Recorder.— Appl. Opt. 1972, vol. 11, N 12, p. 2778—2782.
2. Слюсарев Г. Г. Методы расчета оптических систем.— Л.: Машиностроение, 1969.

Поступила в редакцию 19 ноября 1982 г.

УДК 681.3.06

А. М. ЩЕРБАЧЕНКО, Ю. И. ЮРЛОВ

(Новосибирск)

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО ФОТОПОСТРОИТЕЛЯ ДИФРАКЦИОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Применение голограмм, синтезированных ЭВМ, для преобразования волновых фронтов открывает новые возможности при конструировании дифракционных оптических элементов, которые могут отклонять, фокусировать, модулировать, разделять и трансформировать световые пучки. Однако до последнего времени реализация этих возможностей сдерживалась отсутствием прецизионных фотопостроителей и светочувствительных материалов высокого разрешения, обеспечивающих запись синтезированных ЭВМ голограмм без последующего их уменьшения с помощью репродукционной техники.

Созданный в Институте автоматизации и электрометрии прецизионный лазерный фотопостроитель [1] позволяет вести запись сфокусированным лазерным лучом осесимметричных изображений (голограмм), синтезированных ЭВМ, на стеклообразных полупроводниковых материалах, имеющих разрешение порядка 2000 лин/мм. Полученные таким образом голограммы не требуют последующего масштабирования при изготовлении дифракционных оптических элементов.

Среди дифракционных оптических элементов значительную группу составляют элементы, выполненные на базе круговых дифракционных решеток. Круговые дифракционные решетки — это осесимметричные структуры, на основе которых с помощью различных технологических способов могут быть созданы аксиконы, киноформные линзы, коррекционные пластинки, элементы лазерных сканаторов [2].

Лазерный фотопостроитель предназначен для записи таких элементов и представляет собой прецизионный токарный станок, управляемый ЭВМ, в котором в качестве исполнительного инструмента используется луч лазера. Запись изображений осуществляется сфокусированным лазерным лучом посредством механического перемещения его в радиальном направлении относительно оси вращения шпинделя, на котором закрепляется экспонируемый материал. Управление скоростью вращения шпинделя, положением записывающего луча и его интенсивностью производится с помощью специализированных электронных модулей КАМАК-аппаратуры, конструкция которых не зависит от типа ЭВМ.

Машинная независимость электронных модулей КАМАК позволила применить для их управления различные типы ЭВМ. На первом этапе исследования работы фотопостроителя управление электронными модулями КАМАК было возложено на специализированную микро-ЭВМ «Электроника ТЗ-16М». Разработанное математическое обеспечение [4] дало возможность провести запись на нем простейших дифракционных оптических элементов — аксиконов и зонных пластинок Френеля. Вместе с тем ограничения по памяти и быстрдействию микро-ЭВМ не позволили в

полной мере реализовать потенциальные возможности фотопостроителя, в частности произвести запись фотошаблонов коррекционных линз, радиальных решеток с неравномерным шагом и других элементов. Поэтому на втором этапе работы для управления электронными блоками фотопостроителя была выбрана ЭВМ СМ-3.

В предлагаемой статье рассматривается программное обеспечение лазерного фотопостроителя, управляемого от ЭВМ СМ-3. Программное обеспечение фотопостроителя построено на базе ДОС СМ-3 и включает в себя общее и собственное обеспечение. Общее программное обеспечение определено составом ДОС СМ-3 и используется при написании, редактировании, компоновке, отладке и выполнении программ. Собственное программное обеспечение отражает особенности структуры фотопостроителя и алгоритмов записи дифракционных оптических элементов и состоит из системного и специального обеспечения.

Системное программное обеспечение предназначено для управления функциональными узлами фотопостроителя: шпинделем, кареткой с блоком фокусировки лазерного луча, модулятором записывающего лазерного луча. Системное обеспечение содержит набор программных модулей, которые размещаются в библиотеках, перемещаемых двончных модулей дисковой операционной системы ЭВМ СМ-3. На основе этих модулей созданы различные исполнительные программы, осуществляющие настройку и проверку отдельных электронных блоков КАМАК, исследование характеристик светочувствительных материалов, полуавтоматическое выполнение подготовительных операций, предшествующих операции записи изображений, синтезированных ЭВМ.

Системное программное обеспечение включает в себя: макрокоманды обращения к модулям КАМАК; подпрограммы, обеспечивающие обмен данными между ЭВМ и регистрами управления модулей, задание режимов работы, управление отдельными функциональными узлами фотопостроителя и т. д.; подпрограммы настройки и тестирования контроллера и модулей КАМАК.

Обращение к модулям КАМАК от ЭВМ СМ-3 производится через крейт-контроллер КАМАК. В крейт-контроллере используется прямая адресация регистров как самого контроллера, так и модулей КАМАК. Это позволяет каждый из регистров рассматривать как обычную ячейку памяти ЭВМ. Крейт-контроллер формирует команды обращения к модулям КАМАК, которые подробно описаны в [3].

Формирование КАМАК-команд требует предварительного форматирования слов, определяющих адреса регистра A , выбранного модуля N и кода исполняемой команды F . Для облегчения операций форматирования КАМАК-команд, а также команд обращения к крейт-контроллеру в библиотеку макрокоманд введено макроопределение SYMV. Макроопределение содержит символическое обозначение кодов адресов регистров контроллера и всех модулей крейта и кодов, определяющих режимы работы контроллера. В библиотеку включены также макрокоманды, выполняющие элементарные операции в модулях крейта.

Для ускорения процесса составления рабочих программ лазерного фотопостроителя, при написании которых используется язык ФОРТРАН-IV, разработан ряд системных подпрограмм. Системные подпрограммы представляют собой модули различной степени сложности. По той роли, которую они выполняют, их можно разделить на подпрограммы, обеспечивающие: обмен данными между ЭВМ и регистрами различных модулей; установку режимов работы и определения степени готовности отдельных функциональных блоков; преобразование вещественных чисел в формат двоичных целых с фиксированной запятой и обратное преобразование; управление перемещением каретки с блоком фокусировки лазерного луча.

К подпрограммам, осуществляющим обмен данными между ЭВМ и регистрами модулей КАМАК, относятся WRX, WRDX, WRTSAP, RDX, RDDX. Подпрограммы WRX и WRDX предназначены для записи данных в регистры счетчиков X и DX соответственно модулей измерения текущей

координаты каретки с блоком фокусировки лазерного луча и управления перемещением этой каретки, а RDX и RDDX — для чтения данных из этих регистров. Подпрограмма WRTSAP осуществляет запись в регистр цифроаналогового преобразователя (ЦАП) кода числа, пропорционально которому ЦАП формирует напряжение, управляющее модулятором записывающего лазерного луча.

Подпрограммы второй группы REJIMP, REJIMV устанавливают триггеры сервисного регистра модуля управления перемещением каретки в состояние, при котором обеспечивается работа блока в режимах «позиционирование» (REJIMP) либо «движение с постоянной скоростью» (REJIMV). Подпрограмма OPRGOT опрашивает состояние триггера готовности шпиндельного блока. Этот триггер устанавливается в «единичное» состояние в том случае, когда лазерный луч начинает запись информационной дорожки на экспонируемом материале. Возвращение этого триггера в исходное состояние производится с помощью подпрограммы SBRGOT.

Разработка подпрограмм преобразователя вещественных чисел в формат целого 24-разрядного двоичного числа (RCONI) и обратного преобразователя (ICONR) была вызвана отсутствием в версии языка ФОРТРАН-IV стандартных подпрограмм преобразования.

Подпрограммы управления перемещением каретки TABLE 1, TABLE 2 используются в рабочих программах при битовой записи осесимметричных кольцевых дифракционных решеток с задаваемой шириной прозрачных и непрозрачных зон. Подпрограмма TABLE 1 после записи в реверсивный счетчик DX значения рассогласования, на которое должна переместиться каретка, не проверяет выхода ее на заданную позицию. В отличие от TABLE 1 подпрограмма TABLE 2 после записи в реверсивный счетчик DX значения рассогласования проверяет выход каретки в точку с заданными координатами. Во время перемещения каретки по показаниям реверсивного счетчика X и счетчика времени ЭВМ вычисляет значения величины рассогласования и скорости перемещения каретки. Как только погрешность позиционирования каретки и скорость ее перемещения становятся меньше заданных, выполнение подпрограммы считается законченным. С помощью подпрограммы TABLE 2 производится вывод каретки в положения, где происходит запись границ радиальных зон, а с помощью программы TABLE 1 — перемещение записывающего лазерного луча для засветки всей ширины зоны.

Вспомогательные подпрограммы REPER и WCHOD применяются при выполнении операций, связанных с предварительной настройкой ряда блоков фотопостроителя, с заданием параметров синтезируемых элементов. Подпрограмма REPER обеспечивает вывод записывающего лазерного луча в центр вращения шпинделя, который принимается за начало отсчета координат при синтезе элементов. Вывод лазерного луча в центр производится от исходной реперной точки, координаты которой измеряются микронным индикатором. Хотя положение от репера до центра известно, вследствие температурных дрейфов оно все же может изменяться во времени. Поэтому положение центра перед записью очередного элемента корректируется в полуавтоматическом режиме. Совпадение оси вращения шпинделя с центром лазерного луча определяется визуально с помощью микроскопа, а корректирующие значения перемещений задаются в счетчик DX в диалоговом режиме с клавиатуры алфавитно-цифрового дисплея VT-340. Скорректированное значение расстояния от репера до центра вращения шпинделя запоминается ЭВМ и используется для обнаружения сбоев, которые могут происходить во время записи элемента. Подпрограмма WCHOD позволяет задать в диалоговом режиме параметры синтезируемого элемента, а также некоторые параметры, которые определяют режимы записи. Так, при записи зонной пластинки Френеля с помощью этой программы задаются: длина волны излучения, для которой подготавливается пластинка, ее фокусное расстояние, номера конечной и начальной зон, расстояние от репера до центра вращения шпинделя, значения

зон по рассогласованию и скорости, характеризующие окончание процесса вывода каретки с блоком фокусировки лазерного луча на заданную границу зоны, и другие параметры.

Для настройки и тестирования модулей КАМАК фотопостроителя разработан пакет программ. Тестовые программы TSTX, TSTDХ, TSTSAP дают возможность осуществить проверку типовых узлов модулей (регистров, счетчиков, дешифраторов), выполнить общую настройку модулей. Подпрограммы тестирования каждого модуля построены по единому принципу. Каждый тест включает в себя генерацию по заданному алгоритму команд и сигналов, проверку реакции модуля на допустимые и недопустимые команды, сравнение данных, считанных из модуля. В случае ошибки в логике работы модуля подпрограмма выдает сообщение, в котором указывается вид и адрес регистра.

Для настройки следящей системы позиционирования фотопостроителя разработана подпрограмма GRAF. С ее помощью на цифropечатающем устройстве выводятся данные в виде графиков и таблиц, которые характеризуют переходный процесс при отработке заданного рассогласования.

Специальное программное обеспечение — это развивающийся отдел программного обеспечения, состоящий из алгоритмов, отражающих особенности синтеза различных дифракционных элементов. Хотя фотопостроитель позволяет вести запись на светочувствительных материалах синтезированных ЭВМ голограмм с несколькими уровнями интенсивности типа киноформ и бинарных голограмм, разработанные к настоящему времени программы обеспечивают лишь бинарную запись круговых дифракционных решеток с задаваемой шириной прозрачных и непрозрачных зон.

Изготовление круговых бинарных решеток на фотопостроителе заключается в засветке сфокусированным лазерным лучом на светочувствительных материалах радиальных зон, которые в зависимости от вида применяемых при последующей обработке специальных селективных травителей должны быть сохранены или удалены.

Процессу записи дифракционных решеток предшествует задание их параметров и режимов записи радиальных зон. После вывода фокусирующего лазерного луча из объектива в центр вращения шпинделя, на котором закреплена плоская пластина с нанесенным светочувствительным материалом, ЭВМ вычисляет значение конечного и начального радиусов зоны, подлежащей засветке лазерным лучом. Засветка зон ведется последовательно.

Запись границ зон проводится всегда лишь после окончания переходного процесса позиционирования каретки с блоком фокусировки лазерного луча. При этом запись зон в зависимости от ширины зоны B , допустимой погрешности ее выполнения δ и ширины дорожки Δ , засвечиваемой лазерным лучом за один оборот шпинделя, выполняется по-разному.

Если $\Delta - \delta \leq B < \Delta$, запись зоны происходит за один оборот шпинделя, причем после вывода каретки на расстояние, равное среднему значению радиуса зоны.

В том случае когда $\Delta < B \leq 2\Delta$, запись зоны осуществляется за два оборота. Во время одного оборота шпинделя лазерный луч засвечивает верхнюю границу зоны, а во время второго — нижнюю. Каретка с объективом при этом устанавливается на расстояния от центра, равные соответственно $R_k - \Delta/2$ и $R_n + \Delta/2$, где R_k и R_n — конечный и начальный радиусы зоны.

Наконец, когда $B > 2\Delta$, запись верхней и нижней границ зоны проводится так же, как и в предыдущем случае. Запись же внутри зон выполняется последовательно шаг за шагом, не дожидаясь окончания переходного процесса позиционирования каретки. Новая засветка очередной дорожки возможна через $1/8$ оборота шпинделя. Для непрерывной засветки ширины каждой зоны значение рассогласования, равное одному шагу, выбирается меньшим, чем ширина одной засвечиваемой дорожки. Во время засветки материала внутри зоны ЭВМ контролирует положение объектива, не допуская выхода его за нижнюю границу зоны. Исполь-

зование такого режима позволяет сократить время записи примерно в 2 раза по сравнению с режимом, при котором запись всех дорожек проводится после окончания переходного процесса позиционирования.

После засветки всех зон каретка с объективом выводится на репер с целью определения возможных за время записи голограммы сбоев. Если сбоев не обнаружено, цифрорпечатающее устройство печатает паспорт синтезируемого элемента, содержащий его параметры и общее время изготовления.

На рис. 1 изображена зонная пластинка Френеля, предназначенная для фокусирования плоскопараллельной волны когерентного монохроматического источника света. Радиусы зон пластинки Френеля рассчитаны в соответствии с выражением

$$R_m = [m\lambda F + (m^2\lambda^2/4)]^{1/2},$$

где m — номер зоны, λ — длина волны источника света, F — фокусное расстояние. Изготовленная зонная пластинка представляет собой линзу с фокусным расстоянием 13,5 см и апертурой, равной 1/2. Число зон пластинки превышает 8000. Ширина последней зоны составляет 2 мкм. Запись такой зонной пластинки на фотопостроителе занимает время порядка 1 ч.

Изображенные на рис. 2 и 3 голограммы представляют собой внеосевые зонные пластинки Френеля и могут применяться в лазерных сканаторах не только для отклонения лазерного пучка, но и для одновременной его фокусировки. Отклонение плоскопараллельного лазерного пучка достигается в таких сканаторах перемещением участков голограмм относительно этого пучка. Голограммы, синтезированные ЭВМ, записываются на плоском материале и затем помещаются на барабан или диск.

На рис. 2 показана голограмма, которая применяется во вращающемся сканаторе барабанного типа. Она обеспечивает линейную развертку лазерного пучка, причем величина отклонения пропорциональна углу поворота барабана. Изготовлена голограмма копированием зонной пластинки Френеля на фотоноситель, размещенный на полоске гибкого прозрачного материала шириной 2 см и длиной 4 см. Число разрешенных положений отклоняемого луча порядка 1000 при угле сканирования 16° .

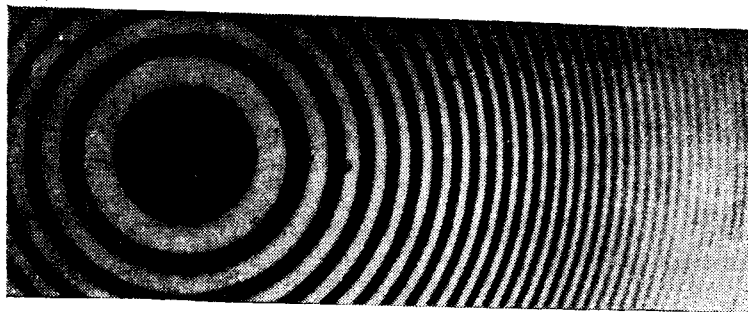


Рис. 1.

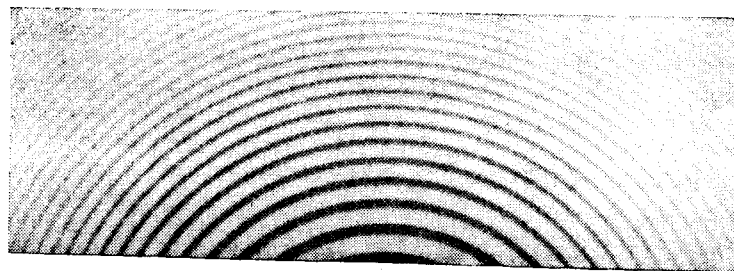


Рис. 2.

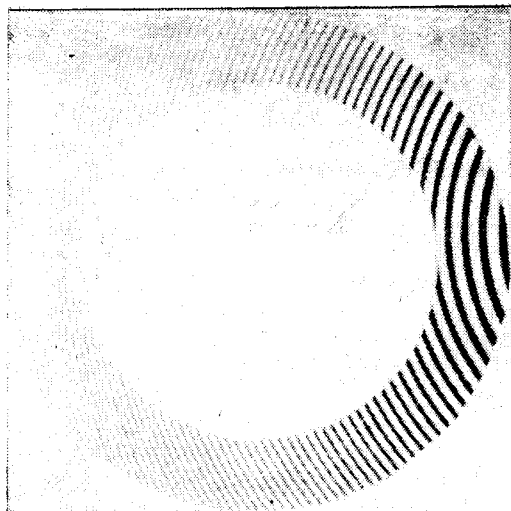


Рис. 3.

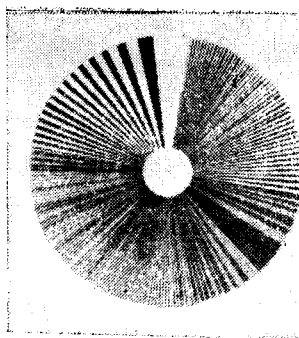


Рис. 4.

На рис. 3 изображена голограмма, используемая во вращающемся сканаторе дискового типа. Голографическая решетка выполнена также в виде зонной пластинки Френеля, однако при записи ось вращения

круговой пластинки эксцентрична оси вращения шпинделя. Решетка закреплена на диске таким образом, что ее центр вращения совпадает с осью, а плоскость перпендикулярна оси вращения ротора двигателя. Плоскопараллельный пучок лазера, падающий под прямым углом на участок поверхности решетки, будет собираться в фокальной плоскости пластинки, а при ее вращении — перемещаться по кругу.

Кроме осесимметричных круговых голограмм на фотопостроителе, были изготовлены радиальные решетки с неравномерным шагом (рис. 4). Процессу записи таких решеток предшествует операция вычисления радиального угла решетки, выраженного числом штрихов датчика, используемого в следящей системе скорости вращения шпинделя. Значения радиального угла заносятся в модуль перепрограммируемой памяти. Адресным регистром этой памяти служит счетчик импульсов датчика, который устанавливается в исходное нулевое положение перед началом очередного оборота шпинделя. При вращении диска на выходе модуля памяти формируется последовательность импульсов, которая и используется для управления модулятором лазерного луча. Запись радиальных штрихов проводится последовательно шаг за шагом, причем величина шага, как и в предыдущих случаях, меньше, чем ширина записывающего луча. Запись такой решетки на фотопостроителе показывает возможность записи на дисках произвольных структур, в том числе символической информации.

Из приведенных примеров видно, что разработанное программное обеспечение позволяет записывать на фотопостроителе как осесимметричные круговые и радиальные дифракционные решетки, так и структуры произвольной формы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ведерников В. М. и др. Прецизионный фотопостроитель для синтеза оптических элементов.— Новосибирск: ИАиЭ СО АН СССР, 1979. (Препринт АН СССР, Сиб. отд-ние, ИАиЭ; № 93).
2. Bryngdahl O., Lee W.-M. Lazer Beam Scanning Using Computer-Generated Holograms.— Appl. Opt., 1976, vol. 15, N 1.
3. Щербаченко А. М., Юрлов Ю. И. Электронные модули КАМАК прецизионных лазерных измерительных и управляющих систем.— Автометрия, 1980, № 3.
4. Щербаченко А. М., Юрлов Ю. И. Применение ВУМС «Электроника ТЗ-16М» в установке записи синтезированных оптических элементов.— Электрон. пром-сть, 1979, № 11—12.

Поступила в редакцию 26 июня 1981 г.