

- [4] С и р о т и н Ю., Ш а с к о л ь с к а я М.П. Основы кристаллофизики. М.: Наука, 1979.
- [5] Акустические кристаллы / Под ред. Шаскольской М.П. М.: Наука, 1982.
- [6] Г о р о н о в с к и й И.Т., Н а з а р е н к о Ю.П., Н е к р я ч Е.Ф. Краткий справочник по химии. Киев: Наукова Думка, 1987. С. 293.

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

Поступило в Редакцию
5 апреля 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 12
06.3; 12

26 июня 1989 г.

ФОКУСИРУЮЩАЯ РЕШЕТКА НА ВОЛОКНЕ И СПОСОБ ЕЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

А.С. С в а х и н, В.А. С ы ч у г о в,
А.Е. Т и х о м и р о в

Создание дифракционной решетки на поверхности волоконного световода открывает новые возможности для реализации различных элементов и устройств оптических систем связи, систем обработки информации, а также датчиков физических величин. Одним из таких устройств является спектроанализатор, выполненный на базе одномодового волоконного световода, на сполитированной боковой поверхности которого нанесена дифракционная решетка [1]. Конкретная реализация такого устройства, имеющего линейную дисперсию, равную 25 А/мм, например, для анализа спектров излучения полупроводниковых лазеров с $\lambda = 0.85$ мкм, требует использования соответствующего одномодового волокна решетки с периодом $\Lambda = 0.38$ мкм и линзового объектива с фокусным расстоянием 10 см. Слабым местом спектроанализатора такого типа является использование линзового объектива. В связи с этим естественно попытка вместо линзы использовать решетку переменного периода, фокусирующее выходящее из волокна излучение на некотором заданном расстоянии [2]. Обычным способом создания фокусирующих решеток является голографический метод, в котором засветка фоточувствительного слоя производится двумя когерентными пучками света. При этом один из этих пучков света имеет плоский волновой фронт, а другой — сферический [3]. Использование указанной двухлучевой схемы записи фокусирующей решетки сопряжено обычно с рядом сложностей, которые легко можно исключить при использовании так называемой однолучевой схемы записи решетки. Эта схема записи широко используется в интегральной оптике при создании решеток постоянного периода. При этом плоское отражающее зеркало устанавливается

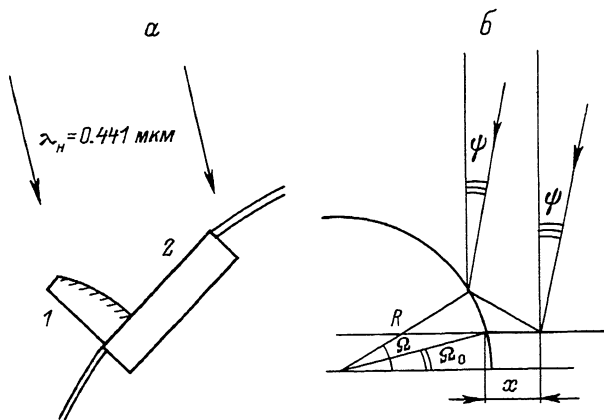
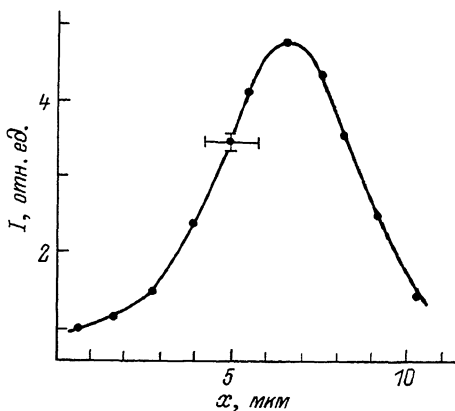


Рис. 1. Схема засветки фоторезиста на полированном волокне (а), схема процесса записи (б): 1 – линза с металлизированной сферической поверхностью, 2 – кварцевый блок со вклеенным волокном.

непосредственно на поверхность подложки, и лазерный пучок направляется под соответствующим углом к подложке так, чтобы одна половина пучка попадала на зеркало, а другая – на подложку. Для создания фокусирующей решетки в качестве зеркала нами была использована металлизированная выпуклая линза, разрезанная пополам (см. рис. 1, а). Решетка записывалась на сполитированный до сердцевины поверхности одномодового на длине волны $\lambda = 1.3$ мкм волокна. Волокно было вклеено в кварцевый блок в канавке переменной глубины так, что волокно имело изгибы с радиусом ~ 30 см. Длина сполитированного участка волокна составляла ~ 3 мм. На поверхность блока и сполитированного участка волокна наносился фоторезист СК-502 толщиной 0.25 мкм. После этого к поверхности блока прижималась металлизированная линза с радиусом кривизны отражающей поверхности, равной 11 см, и производилась засветка резиста по однолучевой схеме с использованием $He - Cd$ лазера ($\lambda_H = 0.44$ мкм). Затем после проявления сформированный резистивный рельеф переносился на поверхность сполитированной части волокна путем ионного травления в атмосфере фреона.

Исследование фокусирующих свойств решетки на волокне проводилось с использованием $He - Ne$ лазера с $\lambda = 0.63$ мкм. Свет, введенный в торец волокна, доходил до решетки и излучался с решетки вперед по ходу движения под углом, в среднем равным $\theta_0 \sim 10^\circ$ по нормали к образцу. На расстоянии ~ 2.6 см от поверхности образца на экране наблюдалась четкая фокусировка света, выведенного решеткой из образца. Для оценки качества фокусировки были проведены измерения размеров фокального пятна света и распределение света в нем (см. рис. 2). Как видно из рис. 2, размеры фокуса на полувысоте этого распределения составляют 5 мкм.

Рис. 2. Распределение интенсивности света, выведенного из волокна в фокальном пятне.



Для того чтобы установить связь между параметрами линзы и фокусирующей решетки рассмотрим процесс отражения света от поверхности металлизированной линзы. На рис. 1, б представлена схема этого процесса и введены необходимые для дальнейшего изложения обозначения.

R - радиус кривизны отражающей поверхности линзы; Ψ - угол падения света с $\lambda_H = 0.44$ мкм на поверхность подложки, x - расстояние от линзы до точки, где рассчитывается период решетки, Ω - угол (изменяющийся параметр). Зависимость периода решетки Λ_x в точке поверхности, удаленной на некоторое x расстояние от края линзы, может быть представлена в параметрическом виде:

$$\Lambda_x = \frac{\lambda_H}{2 \sin(\Psi + \Omega) \cos \Omega}, \quad (1)$$

$$x = R[(\sin \Omega - \sin \Omega_0) \operatorname{tg}(\Psi + 2\Omega) - (\cos \Omega_0 - \cos \Omega)], \quad (2)$$

где угол Ω_0 характеризует смещение оси линзы относительно поверхности подложки, в частности, угол Ω_0 имеет отрицательные значения, если ось линзы располагается над поверхностью подложки. В нашем эксперименте угол Ω_0 имел значение, равное -1° , а угол падения света с $\lambda_H = 0.44$ мкм составлял 27.6° .

На рис. 3 показана зависимость $\Lambda_x(x)$, реализованная в нашем эксперименте. Здесь же представлена „идеальная“ зависимость $\Lambda(x)$, т.е. зависимость, требуемая для предельной фокусировки света с помощью решетки. Эта зависимость может быть аналитически представлена следующим образом:

$$\Lambda(x) = \frac{\lambda}{n^* + \frac{x/f - \operatorname{tg} \theta_0}{\sqrt{1 + (x/f - \operatorname{tg} \theta_0)^2}}}, \quad (3)$$

где n^* - эффективный показатель преломления волноводной моды. Угол $\theta_0 > 0$, если фокусировка света происходит по ходу распространения света в волокне, и $\theta_0 < 0$ в другом случае. Под f подразумевается расстояние от плоскости волновода до точки, где происходит фокусировка.

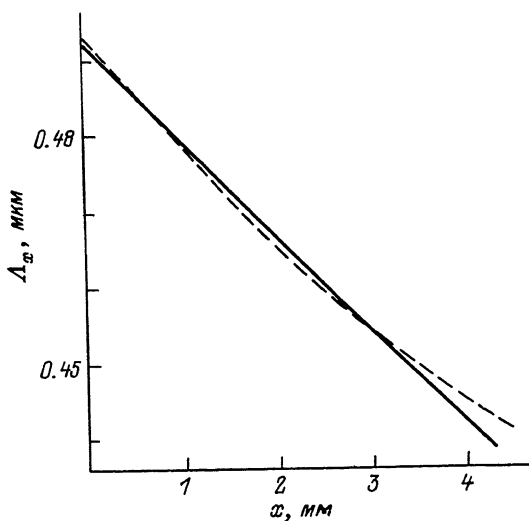


Рис. 3. Зависимость периода записываемой решетки от координаты; сплошная линия соответствует „идеальной“ фокусировке, пунктирная линия соответствует реальному распределению периода при записи с использованием линзы $R = 110$ мм.

Зависимость расстояния f от радиуса кривизны линзы линейна и в геометрии, реализованной в эксперименте, имеет вид $f \sim 0.23 R$.

Сопоставление двух кривых на рис. 3, а также результаты представленного выше эксперимента показывают, что однолучевая схема записи фокусирующих решеток на волокне или на канальном волноводе вполне приемлема для реализации практических устройств интегральной оптики и волоконной оптики.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] R u s s e l P. St. Y., U l r i c h R. Single mode fiber grating spectrometer (de) multiplexer. - Technical Digest of 7th Topical Meeting of Integrated and Guided Wave Optics, Washington OC, USA, 1984, Postdeadline paper PO3-1.
- [2] С в а х и н А. С., С ы ч у г о в В. А., Т у л а й к о в а Т. В. // Квантовая электроника. 1986. Т. 13. № 2. С. 440-442.
- [3] Б о ж е в о л ь н ы й С. И., З о л о т о в Е. М., К и с е л е в В. А., П р о х о р о в А. М., Щ е р б а к о в Е. А. // Письма ЖТФ. 1977. Т. 3. В. 15. С. 746-750.

Институт общей
физики АН СССР,
Москва

Поступило в Редакцию
31 марта 1989 г.