

ЯВЛЕНИЕ ПОЛНОГО "ВНЕШНЕГО" ОТРАЖЕНИЯ СВЕТА ОТ ПОВЕРХНОСТИ ГОФРИРОВАННОГО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В УЗКОПОЛОСНЫХ ФИЛЬТРАХ

Г.А. Голубенко, В.А. Сычугов, А.В. Тищенко

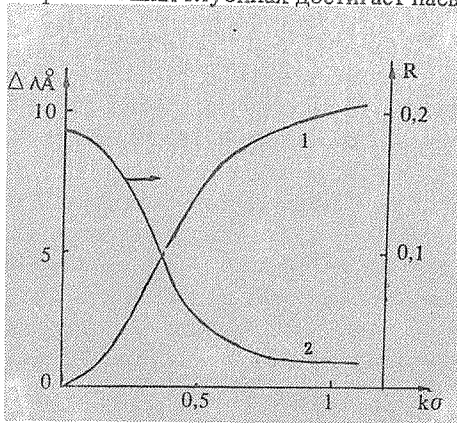
На основе явления полного отражения света от поверхности гофрированного волновода предлагается создать узкополосный частотный фильтр. Проанализированы характеристики и указаны некоторые возможности создания таких фильтров с различными формами линий отражения.

Анализ дифракции света на гофрированной поверхности диэлектрического волновода показывает, что интенсивность волн нулевого порядка (отраженной и прошедшей в подложку волны) претерпевает сильные изменения в зависимости от условий возбуждения волновода вплоть до того, что интенсивность отраженной волны сравнивается с интенсивностью падающей. Физическая интерпретация этого явления состоит в том, что распространяющаяся по гофрированному волноводу мода излучает волны (в обе прилегающие к волноводному слою среды); фаза которых зависит от условий возбуждения моды; в частности, можно создать такие условия, при которых происходит интерференционное гашение прошедшей волны, т.е. полное отражение падающей волны /1/.

В настоящем сообщении обсуждается вопрос об использовании этого явления в узкополосных частотных фильтрах, работающих на отражение, и их возможные характеристики. Одним из важнейших параметров фильтра является ширина полосы его отражения, которая в силу резонансного характера явления, лежащего в основе рассматриваемого фильтра, может иметь довольно малую величину. Как отмечалось ранее /2/, эта ширина зависит от диссипативных потерь и глубины гофрировки оптического волновода. Поскольку диссипативные потери приводят не только к уширению полосы отражения, но и к уменьшению коэффициента отражения, то желательны другие способы воздействия на ширину линии. Практически удобным методом из-

менения ширины линии является формирование на поверхности волновода гофрировки подходящей глубины.

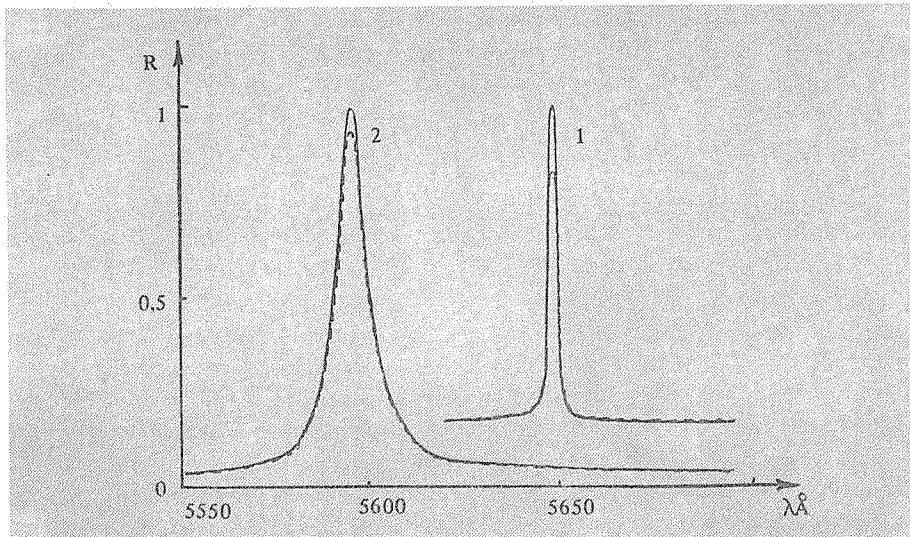
Для расчета зависимости ширины линии отражения от глубины гофрировки необходимо решить задачу о дифракции света на глубоком гофре. Такая задача в приближении Рэля для синусоидального гофра на тонкопленочном волноводе (пленка ZnO на стекле с толщиной $h = 0,4$ мкм и периодом гофра $\Lambda = 0,301$ мкм) была решена в случае падающей волны ТЕ-поляризации. Результаты расчета ширины линии отражения в зависимости от глубины гофра с учетом 19 дифракционных порядков представлены на рис. 1. Из рисунка видно, что рост ширины линии отражения $\Delta\lambda$, наблюдаемый при малой глубине гофра σ , заметно ослабевает при средних его глубинах и прекращается при большой глубине гофра. Такая зависимость $\Delta\lambda$ от σ обусловлена главным образом характером изменения излучательных потерь света в гофрированном волноводе. Как было показано в работах [3, 4], величина излучательных потерь с ростом глубины гофра, также как и $\Delta\lambda(\sigma)$, сначала растет, а затем при больших глубинах достигает насыщения.



Р и с. 1. Зависимость ширины линии отражения от глубины гофра (кривая 1) и зависимость коэффициента отражения света вне резонанса от глубины гофра (кривая 2).

На рис. 2 показана форма линии отражения света от указанной выше волноводной структуры с глубиной гофра $\sigma = 200$ Å и 1000 Å при двух значениях потерь в оптическом волноводе. Наличие диссипативных потерь в волноводе заметно уширяет линию отражения при малой глубине гофра и слабо ее изменяет при больших σ . Аналогичная ситуация наблюдается и для максимума коэффициента отражения. Следует отметить увеличение сдвига по шкале длин волн максимума линии отражения с ростом глубины гофра, что необходимо учитывать при выборе положения линии отражения фильтра.

Интересной особенностью рассматриваемой структуры является то обстоятельство, что увеличение глубины гофра в ней сопровождается уменьшени-



Р и с. 2. Спектры отражения света от гофрированной волноводной структуры (пленка ZnO на стекле, $h = 0,4$ мкм, $\Lambda = 0,301$ мкм) при двух значениях глубины гофра $k\sigma = 0,2$ (1), $k\sigma = 1$ (2) и коэффициента диссипативных потерь $\alpha = 0$ (сплошная кривая), $\alpha = 10 \text{ см}^{-1}$ (пунктир), $k = 2\pi/\lambda$.

ем коэффициента отражения света от поверхности гофрированного волновода вне линии отражения. При нулевой глубине гофра коэффициент отражения от волноводной структуры равен коэффициенту френелевского отражения при заданном угле падения, но с ростом глубины гофрировки поверхности он существенно уменьшается. Аналогичное явление экспериментально изучалось ранее в работе /5/ для нормально падающей на гофрированную поверхность кварца волны ТМ-поляризации. Объяснить это явление можно, если предположить, что глубокая решетка синусоидального (или треугольного) профиля представляет собой слой диэлектрика с переменной по глубине плотностью и, следовательно, с показателем преломления, изменяющимся от 1 до n (n — показатель преломления волноводного слоя). Отражение света, падающего под малыми углами на поверхность среды, покрытой таким слоем, может быть доведено до весьма малых значений. Изменение величины этого отражения для рассматриваемой здесь структуры представлено на рис. 1 (кривая 2). Широкополосность отмеченного выше явления очевидна, поскольку оно определяется глубиной и формой гофра и не зависит от его периода (при надлежащем выборе этого периода). В случае ТМ-волн, кроме

отмеченной здесь возможности уменьшения уровня широкополосного фона в фильтре, существует еще одна возможность, которая состоит в выборе угла падения света на поверхность структуры, близкого к углу Брюстера, и периода гофрировки, соответствующего возбуждению оптического волновода.

Результаты расчета ширины линии отражения в зависимости от глубины гофра показывают, что изменение ширины линии не сопровождается заметным изменением ее формы. Поскольку на практике могут возникнуть задачи, требующие различных форм линий отражения, необходимо отметить две возможности изменения ее. Во-первых, создание на поверхности волновода двух коллинеарных решеток с очень близкими значениями периодов Λ гофрировки. Возможности формирования линии отражения при этом существенно расширяются, если гофрировка осуществляется на различных границах волновода.

Другая возможность определяется зависимостью положения линии отражения от величины эффективного показателя преломления возбуждаемой моды, который в свою очередь зависит от толщины волноводного слоя. Модуляция толщины волноводного слоя представляет вторую возможность формирования линии отражения фильтра. Такая периодическая модуляция может быть выполнена с достаточно большим периодом, как вдоль вектора основной решетки, на которой осуществляется ввод света в волновод, так и ортогонально ему.

В заключение отметим, что развитие волоконно-оптических систем связи со спектральным уплотнением большого числа информационных каналов ставит задачу разработки узкополосных частотных фильтров, и рассмотренная выше структура может явиться, на наш взгляд, тем элементом, который позволит существенно продвинуть решение этой задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г о л у б е н к о Г.А. и др. Квантовая электроника, 12, № 7, 1335 (1985).
2. А в р у ц к и й И.А. и др. Письма в ЖТФ, 11, в. 16, 971 (1985).
3. C h a n g K.C., S h a h V., T a m i g T. J. Opt. Soc. Amer., 70, 804 (1980).
4. С п и х а л ь с к и й А.А., С ы ч у г о в В.А., Т и щ е н к о А.В. Квантовая электроника, 10, № 5, 944 (1983).
5. E n g e r R.C., C a s e S.K. Appl. Opt. 22, № 20, 3220 (1983).

Поступила в редакцию 19 июля 1985 г.