

Исследование влияния показателя преломления окружающей среды на дифракционную эффективность отражающей и рельефно-фазовой дифракционных решеток

© А.М. Настас, М.С. Иову

Институт прикладной физики АН Молдавии,
MD-2028 Кишинев, Молдавия
e-mail: nastas_a@usm.md; nastas_am@rambler.ru

(Поступило в Редакцию 6 мая 2014 г.)

Численно-компьютерным методом исследовано влияние показателя преломления окружающей среды (газов и жидкостей) на дифракционную эффективность рельефных дифракционных решеток. Для дифракции в прошедшем свете рассмотрено влияние состава материала, из которого изготовлена дифракционная решетка, на зависимость дифракционной эффективности от показателя преломления окружающей среды. Показано, что как в прошедшем, так и в отраженном свете существует однозначная зависимость между дифракционной эффективностью и показателем преломления окружающей среды. Предложено использовать исследованный эффект в компактных переносных рефрактометрах для определения показателя преломления жидкостей.

Введение

Сегодня существует большое разнообразие высокоточных рефрактометров для измерения показателей преломления в жидких и газообразных средах. Они предназначены для анализа вещества по коэффициенту преломления, для определения значения чистоты вещества и используются в различных отраслях промышленности, научно-исследовательских работах, анализе сточных вод и т.д. Почти все они довольно громоздки и являются стационарными. Однако сейчас разрабатываются и уже продаются компактные переносные рефрактометры, способные работать в полевых условиях [1,2]. В современных рефрактометрах для измерений используются разнообразные физические процессы. Известен способ определения показателя преломления жидкости с помощью дифракционной решетки (угол дифракции зависит от показателя преломления среды, в которой находится дифракционная решетка) [3]. Однако определение показателя преломления жидкости с помощью дифракционной решетки, по-видимому, возможно не только благодаря измерению угла дифракции, а так же благодаря измерению дифракционной эффективности η рельефной решетки, которая определяется как отношение интенсивности света в первом порядке дифракции к общей интенсивности света, падающего на решетку.

Цель настоящей работы состояла в численно-компьютерном расчете зависимости дифракционной эффективности рельефно-фазовой и отражающей решеток от показателя преломления окружающей среды (жидкостей), в которую погружена рельефная дифракционная решетка.

1. Результаты

Строгий расчет дифракционной картины плоских фазовых решеток представляет значительную трудность.

В настоящей работе период решетки почти на порядок превышал длину волны считывающего излучения, что позволило при решении прямой оптической задачи использовать приближение Кирхгофа [4]. Для проведения расчетов был модернизирован разработанный нами ранее численно-компьютерный алгоритм расчета (программа написана на языке Паскаль) дифракционной эффективности и определения глубины дифракционных решеток, полученных на поверхности фототермопластического носителя [5,6].

Рассмотрим зависимость дифракционной эффективности рельефно-фазовой решетки от показателя преломления окружающей среды n при дифракции в прошедшем свете, которая была рассчитана по вышеописанному алгоритму. На рис. 1 приведено семейство вышеуказанной зависимости для материалов с различным показателем

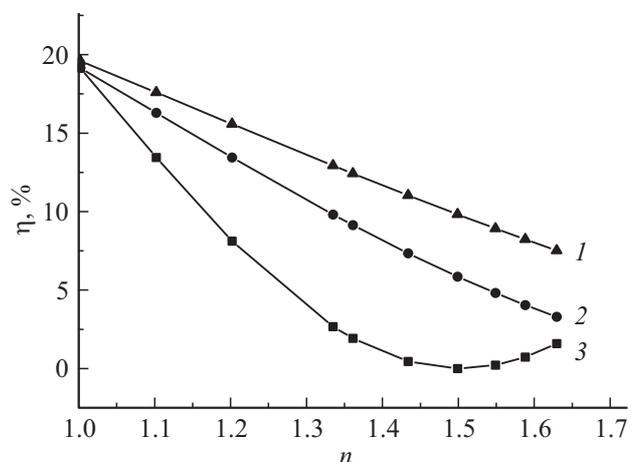


Рис. 1. Зависимость дифракционной эффективности (дифракция в прошедшем свете) от показателя преломления окружающей среды, в которой находится дифракционная решетка, изготовленная из материала с показателем преломления, P : 1 — 2.45, 2 — 2, 3 — 1.5.

преломления P , из которых может быть изготовлена дифракционная решетка. Кривая 1 — $P = 2.45$ (халькогенидный стеклообразный полупроводник — As_2S_3), кривая 2 — $P = 2$, кривая 3 — $P = 1.5$ (полимер).

В данной работе, при расчете считали, что профиль рельефной решетки является синусоидальным (легко может быть получен голографическим методом, например, на фоторезистах). При расчетах считали, что период решетки $\Delta = 2 \mu m$, длина волны нормально падающего к поверхности решетки считывающего луча принималась равной $\lambda = 0.6328 \mu m$. Решетки для удобства считали чисто фазовыми, т.е. не поглощающими свет. При расчете глубина рельефа H принималась равной 400, 200 и 140 nm для материалов, из которых изготовлены решетки с показателем преломления P , равным 1.5, 2 и 2.45 соответственно.

Как видно из рисунка, однозначная зависимость существует при показателе преломления материала решетки, равном $P = 2$ и более (кривые 1 и 2), наибольшая чувствительность наблюдается при показателе преломления материала, из которого изготовлена решетка, равном 2 (кривая 2). Однако поиск такого материала, в котором может быть изготовлена голографическим методом дифракционная решетка, является довольно проблематичным. Поскольку для голографической дифракционной решетки, изготовленной в тонкой пленке халькогенидного стеклообразного полупроводника (ХСП) с показателем преломления $P = 2.45$ ($\lambda = 0.6328 \mu m$), чувствительность не намного меньше, чем для материала с $P = 2$ (см. кривые 1 и 2). А также учитывая, что изготовление таких голографических дифракционных решеток в тонких пленках ХСП не отличается особой сложностью [7,8], по-видимому, основным претендентом на изготовление рефрактометра на базе рельефно-фазовой решетки следует считать тонкие пленки ХСП. Так, например, при увеличении показателя преломления жидкости n с 1.333 до 1.6277 (диапазон жидкостей) дифракционная эффективность уменьшается с 12.9 до 7.5% (см. кривая 1).

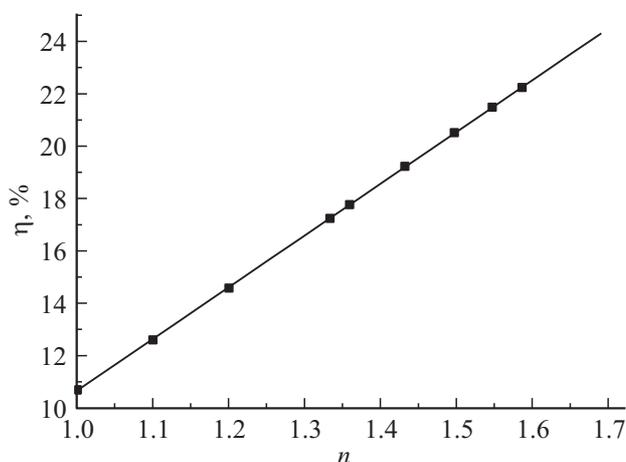


Рис. 2. Зависимость дифракционной эффективности отражающей рельефной решетки ($H = 70$ nm) от показателя преломления окружающей среды при дифракции в отраженном свете.

Также была рассчитана зависимость дифракционной эффективности в отраженном свете отражающей рельефной синусоидальной решетки с глубиной рельефа $H = 70$ nm от показателя преломления окружающей среды n (рис. 2). Для удобства считали, что поверхность является абсолютно отражающей. Как видно из рисунка, зависимость носит линейный характер. При увеличении показателя преломления жидкости от 1.333 до 1.6277 (диапазон жидкостей) дифракционная эффективность увеличивается с 17.2 до 23%.

Следует отметить, что в этом случае состав материала решетки будет влиять только на абсолютные значения дифракционной эффективности, не изменяя при этом сам вид исследуемой зависимости. То есть для изготовления дифракционной решетки можно использовать любой материал, например, получив рельефную решетку в фотополимере или фоторезисте, нанести на ее поверхность слой отражающей металлической пленки или получить матрицу с этих рельефных решеток.

Заключение

Проведенные расчеты показывают принципиальную возможность построения компактного переносного рефрактометра для жидкостей на базе рельефных дифракционных решеток, производя измерение их дифракционной эффективности в прошедшем или в отраженном свете. Следует отметить, что для определения показателя преломления газов данный метод не эффективен. Учитывая, что при изготовлении отражающей решетки могут быть использованы в принципе любые материалы, в том числе устойчивые к агрессивным средам, по-видимому, использование отражающей решетки более предпочтительно.

В заключении отметим, что приведенные расчетные зависимости нуждаются в экспериментальной проверке, а для рефрактометра на базе этих дифракционных решеток требуется проведение тестирования для различных жидкостей. Этим вопросам будет посвящена одна из наших следующих работ.

Список литературы

- [1] Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.forc-photonics.ru/fiber_optics_devices/fiber%20refractometers/1/84.
- [2] Электронный ресурс. Режим доступа: <http://moemgorod.com/category/handheld-and-digital-refractometers/>.
- [3] Электронный ресурс. Режим доступа: <http://fiz.1september.ru/article.php?ID=200601810>.
- [4] Гудмен Дж. Введение в фурье-оптику. М.: Мир, 1970, 364 с.
- [5] Настас А.М. // Опт. и спектр. 2003. Т. 95. № 6. С. 997–1001.
- [6] Настас А.М. // Опт. и спектр. 2003. Т. 95. № 1. С. 156–162.
- [7] Настас А.М., Андриеш А.М., Бивол В.В., Присакар А.М., Тридох Г.М. // ЖТФ. 2009. Т. 79. Вып. 2. С. 139–142.
- [8] Даныко В.А., Индутный И.З., Минько В.И., Шепелявый П.Е., Березнева О.В., Литвин О.С. // ФТП. 2012. Т. 46. Вып. 4. С. 520–524.