

УДК 537.312.52:544.537

## МНОГОСЕКТОРНЫЕ БИНАРНЫЕ ФАЗОВЫЕ ПЛАСТИНЫ НА ПЛАВЛЕНОМ КВАРЦЕ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ СУПЕРПОЗИЦИИ ОПТИЧЕСКИХ ВИХРЕВЫХ ПУЧКОВ.

Степанюк Дмитрий Сергеевич (Университет ИТМО)  
Научный руководитель – к. т. н. Костюк Галина Кирилловна  
(Университет ИТМО)

### Аннотация

Настоящий доклад посвящен результатам изготовления на плавленом кварце многосекторных бинарных фазовых пластин (МБФП), используемых для генерации суперпозиции оптических вихревых пучков (ОВП). Были сконструированы, изготовлены и протестированы два типа МБФП, отличающихся глубиной травления половины секторов МБФП. Оба типа МБФП были изготовлены технологией лазерно-индуцированной микроплазмы (ЛИМП). Тестирование было выполнено с применением ССД-камеры и в схеме с волоконным наносекундным лазером ( $\lambda=1,06$  мкм) для одновременной обработки стальных пластин

### Введение.

В настоящее время значительное внимание уделяется применению как многосекторных бинарных фазовых пластин (МБФП) для генерации суперпозиции оптических вихревых пучков (ОВП), так и трансформации цилиндрических векторных пучков первого порядка (радиально или азимутально поляризованных пучков) в гибридные пучки более высоких порядков. Применение МБФП в этих областях, в первую очередь, обусловлено простотой их конструирования, изготовления и надёжностью применения по сравнению с другими оптическими элементами, используемыми для решения тех же задач, которые решаются с помощью МБФП. Главными из этих задач являются лазерное микро- и наноструктурирование, оптические манипуляции, коммуникации. К сожалению, значительные преимущества в изучении скалярных и векторных пучков, несущих орбитальный угловой момент (ОАМ), относящийся к фундаментальной степени свободы света, и спиральный угловой момент (САМ), связанный с поляризацией, ограничиваются генерацией и исследованием одиночных скалярных и векторных пучков. Тем не менее до сих пор гораздо меньшее внимание было уделено генерации множества пучков, которые являются основой для многих приложений, в частности, лазерной микрообработке. Для генерации ОВП и их анализа, а также для генерации суперпозиции ОВП в настоящее время используются пространственные световые модуляторы (ПСМ), работающие как на отражение, так и на пропускание, двойные микрозеркальные приборы (ДМП), спиральные фазовые пластины (СФП), а также спирально-орбитальные элементы, известные под названием q-пластины.

### Основная часть.

Известно, что МБФП может быть рассмотрено как СФП, кванторезированная в двух уровнях фазы 0 и  $\pi$ , в этом случае в параксиальном приближении при  $\cos \varphi \approx 1$ , а  $\sin \varphi \approx 0$  распределение интенсивности, генерируемое МБФП в дальнем поле, будет суперпозицией ОВП с противоположными топологическими зарядами. МБФП, выполненная с двумя уровнями фаз 0 и  $\pi/2$ , также может быть рассмотрена как СФП, кванторезированная в двух уровнях фазы 0 и  $\pi/2$ . В этом случае в параксиальном приближении распределение интенсивности в дальнем поле, генерируемое такой МБФП, будет суперпозицией ОВП с топологическими зарядами одного знака.

Технология лазерно-индуцированной микроплазмы (ЛИМП), используемая ранее для изготовления широкого класса оптических элементов на плавленом кварце, включая СФП, может быть использована и для изготовления МБФП, которая является более простым фазовым элементом по сравнению с СФП.

Перед изготовлением МБФП основные параметры, обеспечивающие успешное функционирование МБФП для генерации ОВП, были выбраны, проанализированы и определены. Очевидно, что основным параметром, обеспечивающее функционирование МБФП с высоким качеством генерации суперпозиции ОВП, является соответствие глубины травления в секторах, рассчитанным величинам. Не менее важным параметром для успешного функционирования МБФП является отклонение от рассчитанной глубины травления в различных секторах. Геометрия очертания и отклонение в геометрии очертания различных секторов, шероховатость дна поверхности и присутствие области перезаписи в центре МБФП также являются важными параметрами, определяющие качество функционирования МБФП, определяемыми качеством её изготовления. Качество всех изготовленных пластин было оценено на контактном профилометре с вертикальным разрешением  $\pm 10$  нм и на оптическом микроскопе в технике дифракционно-интерференционного контраста. Эффективность конверсии света Гауссова пучка в суперпозицию ОВП для обоих типов МБФП была измерена и оказалась равной  $\sim 92\%$ . Согласно теории функционирования МБФП, интенсивность центральной области должна стремиться к 0 в дальнем поле, однако подобный результат трудно достижим при практическом использовании МБФП, даже характеризуемой высоким качеством изготовления. Поэтому очень важным экспериментальным исследованием являлось исследование распределения интенсивности в плоскостях, не совпадающих с фокальной плоскостью фокусирующей линзы (дальнее поле) в обоих направлениях оптической оси для определения областей возрастающего контраста между центральной темной областью и пространственно разделёнными дифракционно ограниченными пятнами (ДОП). Было определено, что картины распределения интенсивностей, создаваемой МБФП в обоих направлениях вдоль оптической оси на расстоянии 0.1-0.17 от фокусного расстояния фокусирующей линзы, характеризуются повышенным контрастом между темной областью и ДОП. Микрофотографии отпечатков на полированных стальных пластинах полученные лазерной абляцией под воздействием ДОП вдоль периметра в картине распределения интенсивностей в одной из плоскостей повышенного контраста при применении четырёх секторной МБФП с уровнями фаз 0 и  $\pi$  демонстрируются. Эти отпечатки были получены при энергии в импульсе 1 мДж, измеренной до фокусирующей линзы, длительность изготовления отпечатка составляла 0.1-1 с.

### **Выводы.**

При размещении полированных стальных листов в области повышенного контраста были получены отпечатки лазерной абляции при использовании четырёх секторной МБФП с уровнями фазы 0 и  $\pi$ , соответствующие суперпозиции ОВП, генерируемой МБФП, в форме ДОП. Эти результаты демонстрируют реальный потенциал применения МБФП в случае достаточной плотности энергии для лазерной микрообработке не только металлов, но и других материалов.

Степанюк Д. С. (автор)

Костюк Г. К. (научный руководитель)