

КАПИЛЛЯРНОЕ ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО
ДЛЯ СЕНСОРНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

А.Б. СОТСКИЙ, О.А. БЕЛЬСКАЯ, *Л.И. СОТСКАЯ

Учреждение образования

«МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

им. А.А. Кулешова»

*Государственное учреждение высшего профессионального образования

«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Могилев, Беларусь

Среди микроструктурных оптических волокон, образованных воздушными каналами в диэлектрической среде, особое положение занимают фотонно-кристаллические волокна с полую сердцевину (ФКВ). В таких волокнах излучение распространяется в основном по газовой среде, заполняющей сердцевину. Это свойство привлекательно для ряда приложений в сенсорных системах. Сюда, в частности, относится создание газоанализаторов на основе вынужденного комбинационного рассеяния, сенсоров адсорбционных слоев молекул и сенсоров показателя преломления сред, заполняющих полую сердцевину. ФКВ перспективны также для передачи мощного лазерного излучения без повреждения материала волокна с целью оптической сварки и резки материалов.

Основная проблема, возникающая при создании ФКВ для названных приложений, состоит в отыскании конфигурации и изготовлении одномодового волокна исходя из условия, чтобы постоянная распространения его моды находилась в запрещенной зоне двумерного фотонного кристалла, образующего оболочку волокна, ибо только в этом случае реализуется резонансное отражение света от оболочки.

В настоящее время принято считать, что для обеспечения данного условия оболочка волокна должна содержать значительную (более 82 %) фракцию воздуха. Для таких волокон характерны весьма тонкие диэлектрические перемишки между соседними воздушными каналами оболочки. В частности, в случае наиболее детально исследованных в настоящее время ФКВ, образованных воздушными каналами кругового сечения, расположенными в гексагональном порядке в кварцевой матрице, отношение диаметров каналов d к расстоянию между их центрами Λ должно превосходить 0,95. Эта особенность затрудняет изготовление качественных волокон вследствие деформации тонкостенных капилляров, неизбежно возникающей при вытяжке волокна. Кроме того, известно, что значительная доля энергии основных мод ФКВ с тонкими перемишками между воздушными каналами распространяется по диэлектрической среде, что для ряда приложений нежелательно.

Возможный путь преодоления указанных ограничений состоит в отыскании конфигурации ФКВ, позволяющей снизить процентное содержание воздуха в оболочке. В данной работе подобный анализ выполнен для капиллярных ФКВ, которые образованы параллельными кварцевыми капиллярами кругового сечения, расположенными в гексагональном порядке. В отличие от ФКВ с воздушными каналами кругового сечения, в капиллярных ФКВ присутствуют межкапиллярные воздушные каналы квазитреугольного сечения, которые существенно влияют на модовые характеристики волокна.

Нами промоделированы свойства капиллярных ФКВ с полый сердцевиной в виде дефекта капиллярного фотонного кристалла, полученного удалением из него одного капилляра. Расчеты выполнены строгим методом интегральных уравнений. Показано, что предложенная конфигурация ФКВ позволяет обеспечить разреженный спектр мод сердцевины, вследствие чего облегчается создание одномодового волокна. Установлено, что при использовании толстостенных капилляров с пропорцией $d/\Lambda \sim 0.46$ (содержание воздуха в оболочке около 28 %) капиллярное ФКВ может быть одномодовым и иметь пониженный более чем в два раза, по сравнению с аналогичными волокнами, образованными воздушными каналами кругового сечения, интеграл перекрытия поля моды с диэлектрической средой. Эти особенности кардинально облегчают создание ФКВ для указанных выше приложений.

Кроме того, показано, что при расположении вещественной части постоянной распространения моды в запрещенной зоне капиллярного фотонного кристалла имеет место экспоненциальное убывание коэффициента затухания вытекающей моды с ростом числа гексагональных колец капилляров, окружающих сердцевину волокна. Это свойство, а также обнаруженная гигантская дисперсия групповой скорости основной моды капиллярного ФКВ в окрестности границы запрещенной зоны оболочки определяют перспективность использования исследованных волокон в импульсной оптике с целью компенсации уширения импульсов и компрессии chirпированных импульсов.

Исследована чувствительность оптического сенсора аммиака в воздухе. В качестве селективного чувствительного элемента рассмотрено покрытие ФКВ в виде пленки двуокиси олова толщиной 0,1 мкм, легированной сурьмой. Показано, что осаждение на поверхность чувствительного элемента слоя молекул аммиака толщиной 1 нм существенно изменяет спектр коэффициента затухания основной моды ФКВ. Для обнаружения модуляции спектра пропускания волокна достаточно использовать отрезок волокна длиной 25 см.