

СОЗДАНИЕ ВОЛНОВОДОВ В КРИСТАЛЛАХ И СТЕКЛАХ ПУЧКОМ ИОНОВ

Ю. В. Гурова

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Пермь, Букирева, 15

Оптический волновод – это базовый элемент интегральных фотонных систем, который определяется как среда с высоким показателем преломления, окруженная областями с низким показателем преломления. ОВ могут ограничивать распространение света в малых объемах в одном или двух измерениях, то есть линейная конфигурация для одномерного измерения и канальная геометрия для двумерного. Преимущество структуры волноводов – малый размер, который позволяет производить компактные оптические схемы или чипы для легкого совмещения с другими фотонными компонентами. Рассмотрим текущий прогресс в обработке ионными лучами кристаллов ниобата. Энергетический ионный луч влияет на свойства твердого материала при помощи различных типов взаимодействий ион-поверхность:

- ионно-лучевое травление;
- ионная имплантация;
- облучение быстрыми ионами;
- направленные пучки ионов;
- усиленное ионно-лучевое травление.

Ионно-лучевое травление

Фрезерованием ионными лучами можно удалять выбранные области поверхности кристалла при помощи эффекта распыления. Оно широко применяется для микро и наноструктурирования поверхности кристалла ниобата лития. Типичный диапазон энергий – 500-2000 эВ. Большая часть кинетической энергии падающих ионов передаётся атомам образца, что приводит к смещению атомов в поверхностном слое, оставляя поверхность в беспорядочном состоянии для последующего удаления уровня за уровнем. Процесс распыления происходит, когда энергия, передающаяся атомам образца, превосходит энергию их связи в решётке. Ионно-лучевое травление широко используется в производстве полупроводниковых устройств, а также для конфигурации многих непроводящих оптических материалов, включая кристаллы ниобата лития.

Ионная имплантация

Ионы с энергиями выше 100 кэВ вероятнее внедрятся в субстрат, нежели разрушат поверхность. Внедрители, тандемные ускорители и прочие устройства используются для генерации пучков легких и тяжёлых ионов. Глубина внедрения определяется массой иона, его энергией и материалом субстрата. Высокие дозы легких ионов, обычно водорода или гелия, создают повреждённый уровень на некоторой глубине кристалла LN.

В фотонике, ионное внедрение зарекомендовало себя как эффективный метод производства оптических волноводных структур во многих материалах.

Облучение быстрыми ионами

В производстве оптических волноводов, ионы, обладающие энергиями больше 1 МэВ называют «быстрыми». Каждый падающий ион создаёт аморфный след диаметром в несколько нанометров. При ультранизких дозах эти следы не пересекаются, а в случае более высоких концентраций наноследы обладают гомогенной суперпозицией, формируя сильноповреждённый уровень на большой глубине образца. Глубина залегания зависит от природы иона и его энергии, тогда как ширина слоя увеличивается при повышении дозы облучения. Облучённый уровень может быть использован как «толстый» барьер, ограничивающий распространение света в среде. Для бомбардировки кристаллов ниобата лития применяются быстрые легкие ионы, например, гелий.

Направленные пучки ионов

Направленные пучки ионов могут напрямую записывать поверхностные волноводы на кристалл. Этот метод широко используется в полупроводниковой промышленности и материаловедении для точечного анализа доставки и обработки материалов. Эти пучки, диаметром от нескольких микрон до сотни нанометров, обеспечивают (непосредственное) структурирование областей малых площадей или объёмов, формируя микро и наноструктурные системы. Главным преимуществом НПИ над другими микро и наноинженерными техниками, (такими как лазерная абляция) являются относительно гладкие границы сформированных структур.

Изобретение фотонных кристаллов стало результатом эволюции оптических систем путем включения структур наномасштаба. Фотонные структуры и устройства, основанные на волноводах, полученных обработкой ниобата лития ионными лучами, обладают разнообразием применений – в оптике, акустике, голографических устройствах хранения информации и т.д.

Еще одним важным материалом для устройств интегральной оптики являются Силикатные стекла. Они технологичны и обладают высокими оптическими и механическими характеристиками. Существует ряд методов формирования градиентных оптических волноводов в стеклах. К ним относятся метод ионного обмена.

Формирование люминесцентных оптических волноводов в силикатном стекле при вводе ионов меди методом ионного обмена

Люминесцентные оптические волноводы представляют практический интерес при разработке волоконных датчиков, например, для датчиков температуры, УФ излучения, а также при разработке волноводных концентраторов солнечного излучения для солнечных элементов. Мы рассмотрим формирование люминесцентных оптических волноводов в

силикатном стекле при вводе ионов меди методом ионного обмена. Волноводный слой, возникший в приповерхностном слое стекла в результате ионного обмена, обладает люминесценцией в видимой области спектра, причем вклад в люминесценцию вносят ионы Cu^+ , молекулярные кластеры Cu_n и димеры Cu^+-Cu^+ . Благодаря высокой поляризуемости ионов Cu^+ увеличивается модуляция показателя преломления стекла при вводе ионов меди методом ионного обмена (ИО), что увеличивает эффективность каналирования волноводных мод в волноводном слое. По этой причине исследование особенностей формирования люминесцентного волновода при вводе ионов меди методом ИО представляет не только научный, но и практический интерес. На основе этих управляющих структур были реализованы функциональные устройства, такие как волновые модуляторы, волновые лазеры, электро-оптические волновые фильтры, нелинейные преобразователи частот и различные сенсоры.

Список литературы

1. *Chen F.* Photonic guiding structures in lithium niobate crystals produced by energetic ion beams // *Journal of Applied Physics*. 2009. Vol. 106. 081101
2. Физический энциклопедический словарь. М.: Большая Российская энциклопедия, 1995. 928 с.
3. Энциклопедия физики и техники // [Электронный ресурс]. URL: http://femto.com.ua/articles/part_1/0549.html .
4. *Подсвилов О. А., Сидоров А. И., Чураев Д. В.* Особенности формирования оптических волноводов в силикатном стекле при высокой энергии и дозе электронного облучения // *Журнал технической физики*. 2014. Т. 84. Вып. 11. С. 96-100.
5. *Дёмичева И. А., Сидорова А. И., Никонорова Н. В., Шахвердов Т. А.* Формирование люминесцентных оптических волноводов в силикатном стекле при вводе ионов меди методом ионного обмена // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2015. Т. 15, №1. С. 54-59.