

Ю.В. Голубенко, А.В. Богданов

**НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ
УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
В ТЕХНОЛОГИЯХ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ***Рассмотрены возможности применения ультрафиолетового лазерного излучения в технологиях микроэлектроники.***E-mail: mtbmsu@mail.ru****Ключевые слова:** *ультрафиолетовое (УФ) лазерное излучение, микрообработка, модификация и разделение материалов.*

Одно из направлений развития лазерных технологий в микроэлектронике — использование ультрафиолетового (УФ) лазерного излучения. Ультрафиолетовое излучение на шкале электромагнитных волн находится между фиолетовой границей видимого излучения и рентгеновским излучением. Диапазон условно подразделяют на ближнее (380...200 нм) и дальнее или вакуумное (200...10 нм) УФ-излучение.

Ультрафиолетовое лазерное излучение получают с помощью молекулярных газовых лазеров на N_2 и H_2 , эксимерных лазеров KF, XeF и др., а также твердотельных перестраиваемых лазеров с увеличением частоты генерации.

В микроэлектронике используется много твердых материалов. Твердые материалы возникают при высокой плотности атомов или молекул, составляющих вещество, когда электромагнитное взаимодействие между ними становится достаточно сильным. В зависимости от структуры их электронного спектра твердые материалы подразделяют на металлы, полупроводники и диэлектрики.

В металлах обобществленные электроны внешних атомных оболочек образуют почти свободный электронный газ, не полностью заполняющий энергетические состояния в зоне проводимости. В полупроводниках и диэлектриках электроны в большей степени локализованы вблизи атомов, а их обобществление приводит к спектру, в котором энергетические состояния в нижней, валентной зоне полностью заполнены, а состояния в верхней зоне проводимости пусты. Зона проводимости отделена от валентной зоны энергетическим интервалом (запрещенная зона), в котором отсутствуют разрешенные энергетические состояния. Ширина запрещенной зоны варьируется для различных полупроводников от десятых долей до двух-трех электрон-вольт, в диэлектриках — 5...10 эВ. Эти качественные различия спектров электронов в металлах и диэлектриках проявляются в разном характере взаимодействия электромагнитного излучения с твердыми материалами.

При попадании лазерного излучения на материал наблюдается три процесса: отражение, поглощение и пропускание. Отраженное и

прошедшее излучения не отдают энергию материалу, и только поглощенное излучение изменяет энергетическое состояние материала. Количество поглощенной энергии будет определяться коэффициентом поглощения материала на данной длине волны. Уменьшение длины волны, смещаясь в УФ-область, увеличивает энергию кванта, что повышает энергоемкость потока лазерного излучения. Уменьшение длины волны лазерного излучения снижает отражательную способность материалов, что обеспечивает увеличение количества поглощенной энергии обрабатываемым материалом.

Энергия, поглощенная материалом, расходуется либо на вибрационное или электронное возбуждение, либо на фотохимическую реакцию. При вибрационном возбуждении поглощенная энергия фотона вызывает молекулярные колебания в материале: растяжение, изгибы или вращение атомных связей. Если падающий фотон имеет достаточно высокую энергию, то он может вызвать электронное возбуждение. Возбужденный электрон может потратить энергию на эмиссию фотона или на вибрационное возбуждение. Эмиссия фотона не изменяет материал или его свойства, но вибрационное возбуждение, при котором происходит значительное выделение теплоты, может изменить свойства материала.

Фотохимическая реакция возникает, если энергия поглощенного фотона соответствует энергии начала химической реакции. Для начала фотохимических реакций требуется высокая энергетика фотона.

Фотоны ультрафиолетового лазерного излучения обладают высокой энергетикой в диапазоне значений 3,5...8,0 эВ, что позволяет успешно применять их в различных лазерных технологиях обработки материалов микроэлектроники.

В устройствах нелинейной оптики широко используется кристалл ниобата лития LiNbO_3 , обладающий периодической сегнетоэлектрической доменной структурой с заданными параметрами. Для создания таких структур в кристаллах существуют различные методы [1]. Одним из таких методов является лазерный метод, при котором полярная поверхность кристалла конгруэнтного ниобата лития облучается УФ-излучением лазера. В результате такого воздействия формируется самоподобная поверхностная доменная структура глубиной несколько микрометров. При обработке использовалось ультрафиолетовое лазерное излучение с длиной волны 308 нм и длительностью импульса 25 нс, генерируемое эксимерным лазером.

Фотоситаллы, применяемые в электронике в качестве различных подложек, представляют собой подкласс стеклокерамических материалов. В фотоситаллах можно локально воздействовать на структурно-фазовые превращения с помощью фотовозбуждения. Физическими и химическими свойствами фотоситаллов можно управлять, меняя экспозицию излучения [2]. Использование ультрафиолетового лазерного импульсного излучения повышает точность и разрешающую способность процессов структурирования материала. Кратко-

временность воздействия ультрафиолетового лазерного излучения на материал и высокая плотность мощности обеспечивает полное отсутствие эффектов теплопроводности и расплавленных слоев.

В электровакуумных приборах для обеспечения равномерности эмиссии с катодов используют металлопористые катоды. Пористость поверхности катода получают ионным травлением или лазерной обработкой [3]. Лазерная модификация поверхности металлопористых катодов обеспечивает равномерность и единообразие поверхностных пор, отсутствие деформации формы катода, возможность задать необходимые размеры пор и расстояние между ними. При использовании лазерного излучения также значительно увеличивается скорость проведения процесса. Лазерное структурирование поверхности катода проводится методом лазерной микрогравировки. Структура поверхности катода представляет собой поле микропор глубиной 5...6 мкм и диаметром 15 мкм с межцентровым расстоянием 20 мкм. Лазерное структурирование выполняется через стенки колбы, прозрачной для используемой длины волны лазерного излучения, в контролируемой атмосфере.

Создание рисунка токопроводящих пленок в производстве микросхем является актуальной задачей. Недостаток стандартных методов (масочного и офортного) — размытость края пленки, что отрицательно влияет на электрические параметры микропроводника. Лазерный метод создания рисунка схемы, основанный на удалении металлизированного слоя с подложки, значительно повышает качество края проводника и снижает электрические потери. Требуемая ширина удаления материала и качество определяют выбор длины волны лазерного излучения. Очень тонкие (≤ 1 мкм) проводящие и непроводящие покрытия хорошо удаляются ультрафиолетовым лазерным излучением. Толстые покрытия, для удаления которых необходимы значительные затраты энергии, обрабатываются излучением волоконного или YAG-лазера.

Ультрафиолетовое лазерное излучение с успехом применяется в процессах получения микроотверстий (диаметр от 10 мкм и более) в различных материалах, изготовления микроскопических сопел, создания триботехнических микроструктур поверхностей элементов микрооптико-электронных механизмов систем. Это связано со стабильностью работы лазера.

Созданные в последнее время DPSS-лазеры на кристалле ортованадата иттрия (Nd: YVO_4) позволяют эффективно преобразовывать основное инфракрасное излучение (~ 1 мкм) в гармоники УФ-диапазона (355 и 266 нм), при этом используется несколько ватт мощности [4]. Излучение таких лазеров широко используется в микрообработке кремния, сапфира, опала, CVD-алмаза, полупроводников (арсенид галлия, фосфид индия, фосфид галлия) и нитридов (нитрид галлия GaN, нитрид алюминия AlN).

Ультрафиолетовое излучение DPSS-лазера имеет высокую энергию импульса и значительную частоту повторения импульсов (кГц). Такое сфокусированное излучение создает высокую освещенность,

что позволяет увеличить скорость обработки полупроводниковых пластин, минимизировать нагрев и сократить брак, а также обрабатывать микроминиатюрные элементы (сверление сквозных и глухих микроотверстий диаметром 3...10 мкм в кварцевом стекле, разделение сапфировых пластин с матрицей размером 350×350 мкм и узким (2,5 мкм) пропилом).

Ультрафиолетовое лазерное излучение используется в оригинальной технологии по отделению тонких пленок нитрида галлия, нанесенных на сапфировые подложки [5]. Лазерное излучение направляется с противоположной стороны через сапфир. В зоне контакта пленка — сапфир происходит быстрое разложение нитрида галлия на галлий Ga и газ N₂. Образовавшийся газ N₂ понижает степень адгезии пленки к подложке и позволяет отделить пленку толщиной 3 мкм. Шероховатость поверхности пленки, обработанной ультрафиолетовым лазерным излучением, не превышает 24 нм. Фотолюминесцентные измерения пленочной мембраны не показали оптической деградации нитрида галлия после отрыва от сапфира. Этот метод успешно применяется для переноса пленок нитрида галлия, покрытых соединением титана и золота, с сапфировых подложек на кремниевые подложки. Под действием импульсного ультрафиолетового излучения в зоне контакта кремний — пленка нитрида галлия — сапфир возникает тепловое поле, которое способствует образованию прочных связей титана и золота с кремнием, а образующийся газ N₂ способствует отделению пленки от сапфировой подложки. Значения толщины переносимых пленок от 1 мкм и более. Рассмотренные аспекты показывают, что ультрафиолетовое лазерное излучение имеет значительные перспективы использования в микроэлектронике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поверхностные самоподобные нанодоменные структуры, индуцированные лазерным излучением в ниобате лития / В.Я. Шур, Д.К. Кузнецов, А.И. Лобов и др. // Физика твердого тела. 2008. Т. 50. Вып. 4.
2. Агеев Э.И. Модификация структуры стеклокерамических материалов лазерными импульсами ультракороткой длительности. III Всеросс. межвуз. конф. молодых ученых: Сборник тез.
3. Конюшин А.В., Сахадин Г.В. Лазерные технологии в производстве микрокомпонентов // Журнал РИТМ. 2011.
4. Мендес М. Обработка пластин импульсным УФ-излучением DPSS-лазеров // Solid State Technology. Т. 55. Вып. 2.
5. Уэда Т., Ишида М., Масааки Ю. Отделение тонких пленок GaN с сапфировой подложки УФ лазерным излучением // Японский журнал прикладной физики. 2011. Вып. 4.

Статья поступила в редакцию 11.09.2012