

**ИОННО-ЛУЧЕВОЕ ТРАВЛЕНИЕ (ИЛТ)***БНТУ, Минск**Научный руководитель Комаровская В.М.*

Удаление поверхностных слоев при ионно-лучевом травлении осуществляется в результате физического распыления энергетическими ионами инертных газов или ионами, которые химически не реагируют с обрабатываемым материалом. Однако, в отличие от ионно-плазменного травления, при ИЛТ поверхность обрабатываемого материала не контактирует с плазмой, которая выполняет роль только источника ионов. Эффективность реализации ИЛТ зависит от оптимального выбора режимов всех составляющих стадий этого процесса, таких как генерация ионов, распространение пучка ионов в вакууме и взаимодействие пучка ионов с поверхностью обрабатываемого материала.

Процессы ИЛТ обычно реализуются с помощью автономных ионных источников, в качестве которых могут быть использованы источники на базе ускорителей с анодным слоем и на базе ускорителей с замкнутым дрейфом электронов и протяженной зоной ускорения. Для прецизионного травления микроструктур наиболее широкое применение нашли многопучковые ионные источники (МИИ), которые часто называют источниками Кауфмана.

В МИИ эмитированные катодом первичные электроны, ускоряющиеся в области катодного падения потенциала, движутся в плазме по спиральным траекториям вдоль магнитного поля и, осциллируя в потенциальной яме между катодом и отражательно-эмиссионным электродом, ионизуют рабочий газ. Благодаря осцилляциям, время жизни электронов и вероятность ионизации ими рабочего газа существенно увеличиваются, в результате чего в стационарном разряде

достигается плотность плазмы около  $10^{12}$  см<sup>-3</sup> уже при давлении порядка  $10^{-2}$  Па и напряжении до 25 В. Отражательно-эмиссионный электрод имеет отверстия, соосные с отверстиями в ускоряющем и замедляющем электродах. Таким образом, все три электрода образуют ионно-оптическую систему, с помощью которой формируется ионный пучок.

Ионно-оптическая система (чаще всего многоапертурная) предназначена для одновременной экстракции ионов с границы плазмы, первичной фокусировки ионного потока большого диаметра, состоящего из множества (до 1000) ионных пучков, формирования каждого пучка в отдельности, фокусировки ионного потока в целом, а также для ускорения ионов до энергий 100–2000 эВ. При этом должны быть обеспечены минимальные потери мощности в источниках питания и минимальная эрозия сеток ионно-оптической системы при длительной эксплуатации многопучкового ионного источника. На выходе ионного потока из ионно-оптической системы необходима нейтрализация его объемного заряда, наличие которого вызывает расфокусировку и плохую коллимацию ионного пучка, что существенно снижает качество и эффективность травления микроструктур. Кроме того, появление на поверхности диэлектрика положительного заряда практически не позволяет использовать многопучковые ионные источники с ионными пучками большого диаметра для травления диэлектриков и даже металлов в том случае, если энергия ионов менее 1 кэВ. Для нейтрализации обычно применяют специальный инжектор электронов. При этом полной рекомбинации электронов и ионов, как правило, не происходит, а обеспечивается лишь компенсация заряда в ионном пучке. Наиболее простым методом получения нейтрализующих электронов служит использование внешних термоионных (обычно вольфрамовых) эмиттеров, погруженных непосредственно в ионный поток. Одной из существенных особенностей применения МИИ с многоапертурной

ионно-оптической системой является необходимость поддерживать значительный перепад давлений между разрядной ( $P \sim 10^{-1}$  Па) и рабочей ( $P \sim 10^{-2} - 2 \cdot 10^{-3}$  Па) камерами. Низкое давление в рабочей камере необходимо для того, чтобы снизить потери в ионном потоке и устранить возможность расфокусировки пучков. Давление в разрядной и рабочей камерах прежде всего зависит от газового потока, подаваемого в разрядную камеру. Снижение потока вызывает уменьшение ионного тока и, как следствие, скорости травления. Многопучковые ионные источники имеют ряд преимуществ перед другими ионными источниками, применяемыми в ионной технологии, поскольку они характеризуются:

- низким напряжением разряда (начиная с 20 В), что ограничивает возможность возникновения многозарядных ионов, распыления стенок разрядной камеры, находящихся под потенциалом катода, и тем самым обеспечивает возможность получения ионного пучка с малым разбросом энергии и относительно малым (около  $10^{-6}$ ) количеством примесей;

- специфическим механизмом разряда, позволяющим создавать разрядную камеру большого диаметра, что при довольно гомогенном распределении плотности плазмы обеспечивает извлечение однородного многолучевого ионного пучка;

- низким давлением в разрядной камере ( $10^{-1} - 10^{-2}$  Па), в результате чего в пространстве действия ионного пучка, например в камере распыления, можно поддерживать высокий вакуум при относительно низкой мощности откачной системы;

- высоким коэффициентом использования рабочего газа (до 80%) и малыми затратами энергии на получение одного иона.

Среди недостатков МИИ необходимо выделить два основных момента. Во-первых, наличие термокатода ограничивает применение источника для формирования ионных пучков в химически активных средах. Данное ограничение можно

частично снять, используя плазменный катод. Во-вторых, магнитное поле, используемое в источниках, возбуждает плазменные нестабильности, которые оказывают влияние на оптические свойства и компенсацию пространственного заряда ионного пучка.

К числу достоинств процесса ИЛТ относятся:

1. Высокое разрешение процессов, которое в настоящее время ограничено минимальными размерами элементов, получаемыми в органических резистивных масках, а не возможностями самого процесса.

2. Высокая равномерность травления.

3. Хорошая воспроизводимость всех основных параметров процесса травления от цикла к циклу.

4. Возможность управления процессом с помощью четырех легко измеряемых и контролируемых параметров (энергии, угла падения ионов, плотности ионного тока и давления), которые в используемом при ионно-лучевом травлении диапазоне давлений ( $10^{-2}$  -  $10^{-3}$  Па) не зависят друг от друга.

5. Универсальность процесса, позволяющая проводить травление практически любого материала.

6. Возможность изменения профиля травления за счет изменения угла падения ионов.

К числу недостатков процесса ИЛТ относятся следующие факторы и явления:

1. Низкая селективность травления материала относительно маски (особенно органической).

2. Ограничение скорости травления за счет теплового воздействия ионов на органическую маску.

3. Значительное тепловое и радиационное воздействие на обрабатываемые структуры, ограничивающее применение процесса для изготовления МДП – структур.

4. Переосаждение распыленного материала на боковых стенках структур.

5. Образование фасок в плоскостях, соответствующих углам, при которых обеспечивается максимальная скорость травления.

6. Подтравливание и уменьшение толщины слоев на боковых гранях и плоскостях вблизи стенок за счет отражения ионов.

В настоящее время ИЛТ применяется для изготовления приборов на основе пермаллоя, ортоферритов, гранатов, ниобата лития, свинца, то есть тех материалов, для которых еще не в полной мере разработаны процессы ионно-химического и плазмохимического травления.

УДК 37.036

Маркова Н.В.

## **ЭСТЕТИЧЕСКОЕ ВОСПИТАНИЕ И СОВРЕМЕННАЯ АРХИТЕКТУРНАЯ СРЕДА**

*БНТУ, Минск*

*Научный руководитель Островский С.Н.*

Для того чтобы человек стал полноценной личностью, ему необходимо всестороннее развитие: культурное, психологическое, интеллектуальное, нравственное. Одним из особенно важных показателей уровня образованности человека является его эстетический вкус. Без способности воспринимать прекрасное невозможно называться образованным культурно.

Можно сказать, чем выше культура человека, тем более глубоко и осознанно он способен воспринимать окружающий мир. Архитектура – наиболее влиятельная часть культуры уже потому, что с ней человек соприкасается постоянно и независимо от собственной воли. Можно не посещать музеи, театры, концерты, но оградить себя от взаимодействия с архитектурой невозможно, ведь это, прежде всего, организованная среда жизни человека и только потом вид искусства.