**10. Охрана труда. Обеспечение безопасности при эксплуатации СВЧ плазменного устройства с разрядом комбинированного типа.**

Изучение режимов возбуждения комбинированного разряда для плазменной обработки материалов проводится на СВЧ плазменном устройстве с разрядом комбинированного типа. Данный разряд получается путем наложения СВЧ поля, частотой 2,4 ГГц, на НЧ разряд, частотой 10 – 15 КГц.

В качестве СВЧ генератора используется магнетрон с частотой генерации 2,45 ГГц, питаемый высоковольтным пульсирующим напряжением частотой 50 Гц.

Устройство может использоваться на операциях очистки подложек интегральных микросхем, удаления фоторезистивных покрытий, лаков и мастик, плазмохимического осаждения пленок, модификации поверхности материалов, деталей и узлов сложной формы.

В данной системе плазма формируется в объеме кварцевой камеры, которая представляет собой цилиндрическую кварцевую трубу, расположенную на оси кольцевого резонатора. Камера с торцов закрыта металлическими крышками с потенциальным и заземленным электродами соответственно. Рабочий газ подается через фланец, встроенный в торцевую поверхность верхней крышки. СВЧ поле формируется с помощью генератора СВЧ импульсов с частотой 2,45 ГГц. Импульсы подаются на магнетрон в котором происходит формирование СВЧ волны, которая далее подается по волноводу в разрядную камеру.

В данной системе формирования СВЧ поля имеется множество путей проникновения излучения за пределы рабочих областей. К ним относятся круглые и прямоугольные отверстия, щелевые отверстия, не плотности в экране и сочленениях между элементами системы, что является возможным источником облучения персонала работающего на установке.

Степень влияния электромагнитных излучений на организм человека зависит от диапазона частот, продолжительности облучения, характера облучения, режима облучения, размеров поверхности тела, облучается, и индивидуальных особенностей организма.

В результате действия ЭМП на человека возможны острые и хронические формы нарушения физиологических функций организма. Эти нарушения возникают в результате действия электрической составляющей ЭМП на нервную систему, а также на структуру коры головного и спинного мозга, сердечно-сосудистой системы.[1]

В диапазоне частот 300 МГц - 300 ГГц оценка и нормирование ЭМП осуществляется по величине энергетической экспозиции.

ЭЭЕ = Е2 · Т, (В/м)2 · ч, (10.1)

ЭЭЕ = Н2 · Т, (А/м)2 · ч, (10.2)

где Е – напряженность электрического поля(В/м); Н- напряженность магнитного поля (А/м), плотность потока энергии (ППЭ, Вт/м2);

Т – время воздействия за смену (ч).

Энергетическая экспозиция рассчитывается по формуле:

ЭЭППЭ = ППЭ - Т, (Вт/м)2 - ч, (мкВт/см2) · ч (10.3)

где ППЭ – плотность потока энергии, (Вт/м2, мкВт/см2).

ПДУ энергетических экспозиций (ЭЭПДУ) на рабочих местах смену представлены в табл.10.1.

Таблица 10.1.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | ЭЭПДУ в диапазонах частот (МГц) | | | | |
| ≥0,03 –  3,0 | ≥ 0,3 –  30,0 | ≥ 30,0 – 50,0 | ≥ 50,0 –  3000,0 | ≥ 300,0 –  300000,0 |
| ЭЭЕ ,(Вт/м) ·ч | 20000 | 7000 | 800 | 800 | – |
| ЭЭН ,(А/м)2 · ч | 200 | – | 0,72 | – | – |
| ЭЭППЭ,  (мкВт/см2) · ч | – | – | – | – | 200 |

Максимальные ПДУ напряженности и плотности потока энергии ЭМП представлены в таблице 10.2.

Таблица 10.2

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Максимально допустимые уровни в диапазонах частот (МГц) | | | | |
| ≥0,03 –  3,0 | ≥ 0,3 –  30,0 | ≥ 30,0 – 50,0 | ≥ 50,0 –  3000,0 | ≥ 300,0 –  300000,0 |
| Е, В/м | 500 | 300 | 80 | 80 | – |
| Н, А/м | 50 | – | 3,0 | – | – |
| ППЭ, мкВт/см2 | – | – | – | – | 1000 |

Предельно допустимые значения ППЭ ЭМП в диапазоне частот 300 МГц - 300 ГГц следует определять исходя из допустимой энергетической нагрузки и времени воздействия по формуле

, (10.4)

где ППЭпд - предельно допустимое значение плотности потока энергии, Вт/м2,

К- коэффициент ослабления биологической эффективности, равный:

1- для всех случаев воздействия, исключая облучение от вращающихся и сканирующих антенн;

10 - для случаев облучения от вращающихся и сканирующих антенн с частотой вращения или сканирования не более 1 Гц и скважностью не менее 50;

12,5 – для случаев локального облучение кистей рук;

Т- время пребывания в зоне облучения за рабочую смену, ч.

Во всех случаях максимальное значение ППЭпду не должно превышать 10 Вт/м2.[2]

В диапазоне частот 300МГц – 300ГГц допустимое время Т (ч) облучения определяется по формуле:

, (10.5)

Примем ЭЭПДУ = 200(мкВт/см2) ч, К = 10, ППЭ = 500 (мкВт/см2), тогда:

Для дополнительной защиты персонала, а следовательно и увеличения времени пребывания за рабочую смену, при работе с СВЧ плазменным устройством с разрядом комбинированного типа необходимо предусмотреть дополнительные меры защиты.

При выборе защиты персонала от электромагнитных излучений необходимо учитывать особенности производства, условия эксплуатации оборудования, рабочий диапазон частот, характер выполняемых работ, интенсивность поля, продолжительность облучения и др. Для снижения интенсивности поля в рабочей зоне рекомендуется применять различные инженерно-технические способы и средства, а также организационные и лечебно-профилактические мероприятия. В качестве инженерно-технических методов и средств применяются: экранирование излучателей, помещений и рабочих мест; уменьшение напряженности и плотности потока энергии в рабочей зоне за счет уменьшения мощности источника (если позволяют технические условия) и использование ослабителей (аттенюаторов) мощности и согласованных нагрузок (например, эквивалентов антенн); применение средств индивидуальной защиты.

При экранировании используются такие явления как поглощение электромагнитной энергии (ЭМЭ) материалом экрана и ее отражение от поверхности экрана. Например, металлические экраны за счет отражения и поглощения практически непроницаемы для ЭМ энергии радиочастотного диапазона (при d > λ , где λ - длина волны).

При конструировании замкнутых экранов в диапазоне СВЧ иногда возникает необходимость предусматривать в них различного рода отверстия (вентиляционные окна, отверстия для проводов питания, ручек управления т.п.), которые не должны нарушать электромагнитную герметичность экрана и снижать его эффективность. По условиям проникновения электромагнитной энергии СВЧ – диапазона за пределы экрана подобные отверстия в экранах могут быть разделены на три основных типа излучателей:

- малые отверстия различной формы без металлических выводов через 185 них (например, смотровые и вентиляционные окна) представляют собой открытые концы волноводов;

- малые отверстия, через которые проходят провода электропитания или металлические ручки управления можно рассматривать как открытые концы коаксиальных линий;

- щели, продольные размеры которых больше длинны волны (периметр дверей, вентиляционные жалюзи и т.п.), являются щелевыми излучателями.

Для ослабления излучаемой энергии через отверстия различной формы без металлических выводов через них применяются трубки предельных волноводов (по форме отверстия в экране), длина которых определяется в зависимости от необходимой величины ослабления энергии и ослабляющей способности трубки.

Применение поглощающих нагрузок и аттенюаторов позволяет ослабить интенсивность излучения электромагнитной энергии в окружающее пространство на 60 дБ и более.

Для трубок прямоугольной формы ослабление на один сантиметр длины рассчитывается по формуле:

Э 27 / d, n = дБ/см, (10.5)

где d , см – размер стороны квадрата или большой стороны прямоугольника.

Ослабления излучения щелевыми излучателями добиваются конструированием специальных четвертьволновых фильтров, представляющих собой канавки глубиной λ / 4 . Такие фильтры обеспечивают уменьшение проникновения СВЧ – энергии более 10 дБ (недостаток – узкополосность по диапазону). Более эффективным способом экранирования щелей в широком диапазоне 186 частот является применение поглощающих прокладок по всей ширине щели, либо обеспечение плотного электрического контакта по всему периметру щели.

Организационные мероприятия включают в себя: требования к персоналу (возраст, медицинское освидетельствование, обучение, инструктаж и т.п.), выбор рационального взаимного размещения в рабочем помещении оборудования, излучающего ЭМ энергию, и рабочих мест; установление рационального режима работы оборудования и обслуживающего персонала; ограничение работы оборудования во времени (например, за счет сокращения времени на проведение наладочных и ремонтных работ); защита расстоянием (удаление рабочего места от источника ЭМП, когда имеется возможность использовать дистанционное управление оборудованием); применение средств предупреждающей сигнализации (световой, звуковой и т.п.) и др.[3]

В данном разделе была приведена характеристика объекта-источника СВЧ – излучений, его назначение и область применения. Рассмотрены причины проникновения СВЧ – энергии за пределы экрана. Рассчитано время пребывания в зоне облучения за рабочую смену и предложены методы обеспечения электромагнитной герметичности.

Список использованных источников:

1. econbooks[Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://econbooks.ru/books/part/17119  
2. Гапонюк Н.А. Гигиеническая классификация условий труда и оценки факторов среды на продолжительность жизни человека/ Н.А. Гапонюк Москва: МГИУ, 85-86 с.

3. Михнюк Т.Ф. Охрана труда. / Т.Ф. Михнюк Минск: ИВЦ МинФина, 181-184 с.