

(рис. 1, в). Первая вызывает изгиб стержня, а вторая – сжатие. Оставшаяся часть сходящихся ветвей, подвержена сжатию удвоенной силы Q (рис. 1, з).

В точке сопряжения радиусной кривой с прямолинейным стержнем при $\gamma > \pi/2$, перемещение будет вызвано действием горизонтальной и вертикальной составляющей силы Q [1, 2]

$$u_r = \frac{Q^3}{EI} (Q_r u_{rr} + Q_t u_{rt}),$$

и

$$u_t = \frac{Q^3}{EI} (Q_r u_{tr} + Q_t u_{tt}). \quad (1)$$

Учитывая, что силы в противоположных стержнях равны между собой и направлены друг против друга $Q'_r = Q''_r$, равными окажутся и горизонтальные перемещения от действия этих сил $u'_r = u''_r$.

Подставив в формулу $Q_t = \frac{1}{2} P \sin \beta$, получим

$$u_{tt} = \int_0^\gamma (1 - \cos \gamma)^2 d\gamma = \frac{1}{2} (3\gamma - 4 \sin \gamma + \sin \gamma \cos \gamma). \quad (2)$$

Таким образом, окончательно уравнение для расчета вертикального перемещения свободного конца криволинейного стержня симметричной формы имеет вид

$$u_t = \frac{R^3}{EI} Q_t u_{tt},$$

или

$$u = \frac{R^3}{2EI} Q_t (3\gamma - 4 \sin \gamma + \sin \gamma \cos \gamma). \quad (3)$$

Полученная формула (3) позволяет произвести численные расчеты перемещений свободного конца стержня криволинейного стержня для различных конструктивных исполнений.

Из рис. 3 видно, что угол $\gamma = \frac{\pi}{2} + \beta$ или

$$\gamma = \frac{\pi}{2} + 2R \sin \beta = \frac{\pi}{2} + \frac{2R}{H}. \quad (4)$$

Подставив (4) в (3), получим

$$U_{tt} = \frac{Q_t R^3}{2EI} * \left[\left(3\left(\frac{\pi}{2} + \beta\right) - 4 \sin\left(\frac{\pi}{2} + \beta\right) + \sin\left(\frac{\pi}{2} + \beta\right) \cos\left(\frac{\pi}{2} + \beta\right) \right) \right]. \quad (5)$$

Численно рассчитаем влияние угла наклона стержней на величину вертикальных перемещений

1) Если $\beta = 0$, $\gamma = \frac{\pi}{2}$ и

$$U_{tt} = \frac{Q_t R^3}{2EI} \left[\begin{array}{l} 3\left(\frac{\pi}{2}\right) - \\ - 4 \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) + \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) \cos\left(\frac{\pi}{2}\right) \end{array} \right] = 0,7 \frac{Q_t R^3}{2EI}.$$

2) Если $\beta = \frac{\pi}{6}$, $\gamma = \frac{2\pi}{3}$ и $U_{tt} = 7,5 \frac{Q_t R^3}{2EI}$.

3) Если $\beta = \frac{\pi}{4}$, $\gamma = \frac{5\pi}{4}$ и $U_{tt} = 10 \frac{Q_t R^3}{2EI}$.

Выводы. Теоретически показано, что использование тонких криволинейных стержней с конусообразной формой позволяет усилить перемещение свободного конца в условиях колебаний благодаря упругим свойствам изогнутой части.

Конусообразная симметричная форма криволинейного усиливает вертикальную составляющую упругих перемещений, способствуя интенсификации ультразвуковых колебаний.

Наибольшая величина вертикальных перемещений свободного конца достигается при наклоне его ветвей на угол 45° .

Литература

1. Писаренко, Г. С. Сопротивление материалов / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев. – 2-е изд. Киев: Наукова думка, 1988. 736 с.
2. Тимошенко, С. П. Сопротивление материалов. Элементарная теория и задачи / С. П. Тимошенко; пер. с англ. – М.: Наука, 1965. – Т. 1. – 364 с.

УДК 537.525

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАЗМЕННОЙ КАМЕРЫ НА РЕЖИМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ СВЧ РАЗРЯДА

Лушакова М.С., Тихон О.И., Мадвейко С.И.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Представлены исследования влияния конструктивного исполнения, местоположения и расстояния между торцевыми поверхностями плазменной камеры на условия возбуждения самостоятельного СВЧ разряда.

Ключевые слова: СВЧ-разряд, разрядная камера, плазма.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE PLASMA CHAMBER DESIGN CHARACTERISTICS ON THE MW DISCHARGE EXCITATION MODES

Lushakova M., Tsikhan O., Madveika S.

Belarusian state university of informatics and radioelectronics
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper presents studies of the influence of the design, location and distance between the end surfaces of the plasma chamber on the conditions for excitation of a self-sustained microwave discharge.

Key words: microwave discharge, discharge chamber, plasma.

Адрес для переписки: Лушакова М.С., ул. П. Бровки 6, Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: lushakova@bsuir.by

Конструкция исследуемого СВЧ разрядного устройства представляет собой замкнутый в кольцо волновод, являющийся цилиндрическим резонатором, с расположенной на его оси реакционной камерой (рис. 1). В объеме камеры осуществляются процессы плазменной обработки. Согнутый в кольцо прямоугольный волновод образует резонаторную камеру. Резонирующая область образуется внутренней поверхностью и торцевыми стенками волновода. Через щелевые излучатели, выполненные на его внутренней стенке, электромагнитная энергия поступает в рабочую область. Место ввода электромагнитной энергии от СВЧ-генератора представляет собой короткую волноводную секцию, соединенную с кольцевой частью волновода. В месте перехода установлен рассекающий СВЧ-волн. Сверхвысокочастотная энергия передается в вакуумируемую реакционную камеру по волноводу от генератора СВЧ-мощности. Реакционная камера располагается на оси резонаторной камеры и представляет собой цилиндрическую трубу из прозрачного для СВЧ волн материала, закрытую с торцов металлическими крышками. На нижнем торце камеры расположен заземленный подложкодержатель.

Расстояние и местоположение торцевых поверхностей, которые совместно с полостью реакционно-разрядной камеры образуют единый резонирующий объем, изменялись за счет их перемещения с шагом 3 мм, что обусловлено конструктивными особенностями держателей. С уменьшением расстояния между торцевыми поверхностями камеры с 97 до 51 мм мощность, требуемая для возбуждения СВЧ-разряда, изменялась на 15–20 Вт. Изменение размера разрядной камеры, в частности объема, а также положение торцевых поверхностей относительно кольцевого резонатора с волноводно-щелевым аппликатором влечет за собой изменение резонансных свойств в камере, выражающееся в перераспределении пространственных максимумов и минимумов электрического поля, возникновении дополнительного отражения [1].

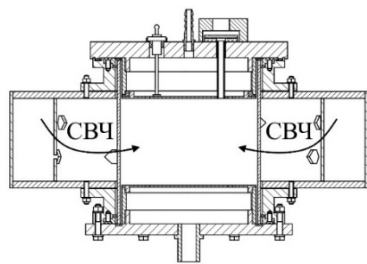


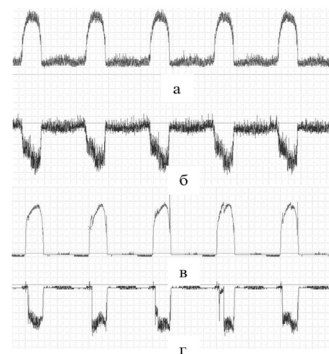
Рисунок 1 – СВЧ разрядное устройство

На характеристики возбуждения СВЧ-разряда большее влияние оказывает давление в камере, рассматривался диапазон от 20 до 150 Па, при котором мощность, необходимая для возбуждения СВЧ-разряда, изменялась на 50 Вт. Изменения расстояний между торцевыми поверхностями плазменной камеры оказывают меньшее влияние

на мощностные характеристики режимов возбуждения СВЧ-разряда, но вносят значительные изменения в резонансные электрофизические явления, происходящие в плазменном объеме.

Влияние местоположения торцевых поверхностей на условия возбуждения СВЧ-разряда оценивалось по величине задержки начала оптического свечения СВЧ-разряда по отношению к переднему фронту пачки СВЧ-импульсов. С целью увеличения интенсивности светового потока, подаваемого на вход ФЭУ, оптическое излучение от плазмы выводилось вдоль оси цилиндрической разрядной камеры.

Экспериментальным путем установлено существенное влияние размера разрядной камеры на процесс формирования плазмы СВЧ-разряда (рис. 2). По критериям минимизации отраженной от плазмы СВЧ мощности и сокращения длительности периода стабилизации разряда определено взаимное расположение торцевых поверхностей относительно кольцевого резонатора с волноводно-щелевым аппликатором, являющегося конструктивным элементом СВЧ-аппликатора. Минимальной задержке импульса оптического свечения плазмы относительно переднего фронта пачки СВЧ-импульсов соответствует расстояние между торцевыми поверхностями 90–96 мм, при этом контактирующие с плазмой плоскости торцов должны симметрично выходить за габариты внутреннего объема свернутого в кольцо волноводного излучателя.



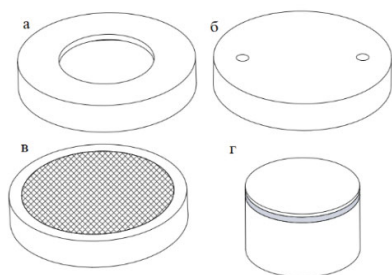
а – падающий СВЧ сигнал, 93 мм; б – отраженный от плазменной нагрузки СВЧ сигнал, 93 мм; в – падающий СВЧ сигнал, 97 мм; г – отраженный от плазменной нагрузки СВЧ сигнал, 97 мм;

Рисунок 2 – Форма продетектированных падающего и отраженного от плазменной нагрузки СВЧ-сигналов при расстоянии 93 мм и 97 мм между торцевыми поверхностями плазменной камеры

Изменение конфигурации торцевых поверхностей плазменной камеры (рис. 3), и соответственно, изменение размера разрядного объема приводит к существенным вариациям пространственного распределения интенсивности свечения.

При использовании торцевых поверхностей плазменной камеры с максимальной площадью проводящей поверхности (рис. 3, б) высотой 2 см при 70 Па наблюдается максимальный интеграль-

ный уровень свечения плазменного разряда, регистрируемый фотоэлектронным умножителем. Данная конфигурация позволяет сформировать наибольший плазменный объем. В этом случае взаимосвязь между распределением электромагнитного поля и высотой цилиндрической камеры оптимальна, в результате чего свечение газа является более интенсивным [2]. С увеличением высоты торцевых поверхностей, плазменный объем камеры уменьшается и интенсивность интегрального свечения разряда также уменьшается.



а – диск с полым отверстием; б – диск с максимальной площадью проводящей поверхности; в – диск с сетчатой горизонтальной поверхностью; г – диск с изолированной торцевой поверхностью

Рисунок 3 – Схематичное изображение торцевых поверхностей

Уменьшение площади проводящей поверхности при использовании в качестве торцевой

поверхности металлической сетки и диска с полым отверстием (рис. 3 а, в) приводит к уменьшению интенсивности оптических характеристик плазмы СВЧ-разряда. При увеличении высоты торца до 6 см данная тенденция усиливается.

Размещение на торцевой поверхности камеры диэлектрически изолированной от основания проводящей поверхности (рис. 3, г) приводит к увеличению интенсивности отдельных линий оптического спектра разряда и увеличению интегрального свечения по сравнению с сетчатой и полый конструкцией. Однако в этом случае оптико-спектроскопические показатели меньше, чем при использовании металлического диска с максимальной площадью проводящей поверхности (рис. 3, б).

Полученные характеристики возбуждения самостоятельного СВЧ-разряда связаны со сложными конфигурациями торцов в описанных исполнениях, которые оказывают влияние на распределение электромагнитных волн в плазменном объеме.

Литература

1. Распределение электрического поля в разрядной камере при щелевом вводе СВЧ-энергии / Б. М. Бржозовский [и др.] // Успехи прикладной физики. – 2020. – № 8(3). – С. 189–198.
2. Бордусов, С. В. Плазменные СВЧ технологии в производстве изделий электронной техники / Под. ред. А. П. Достанко. – Мн.: Бестпринт, 2002. – 452 с.

УДК 621.9.22

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ОБРАБОТКИ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Луговой В.П., Луговая И.С.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Художественная обработка ювелирных украшений является важным этапом работ, обеспечивающим эстетические качества изделий. Художественная обработка ювелирных изделий включает в себя разнообразные дизайнерские приемы и технические приемы. Однако описание методов художественной обработки в технической и учебной литературе приводится как отдельные и разрозненные технологии, не объединенные общими признаками. Цель работы заключается в группировании различных способов художественной обработки ювелирных изделий и представление обобщенной классификации этих технологий, объединенных общими признаками. Результат достигается проведенным анализом и перечислением рассматриваемых технологий обработки драгоценных металлов.

Ключевые слова: jewelry, aesthetic qualities, artistic processing, classification.

CLASSIFICATION OF METHODS OF ARTISTIC PROCESSING OF JEWELRY

Lugovoj V., Lugovaja I.

Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. Artistic processing of jewelry is an important stage of work that ensures the aesthetic qualities of products. Artistic processing of jewelry includes a variety of design techniques and techniques. However, the description of the methods of artistic processing in the technical and educational literature is given as separate and disparate technologies, not united by common features. The aim of the work is to group the various methods of artistic processing of jewelry and to present a generalized classification of these technologies, united by common features. The result is achieved by the analysis and enumeration of the considered precious metal processing technologies.

Key words: jewelry, natural and synthetic stones, aesthetic qualities

Адрес для переписки: Луговой В.П., пр-т Независимости, 65, Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: lyhavyp@mail.ru