Управление мощным СВЧ излучением с помощью электромагнитных кристаллов

Бабицкий В.С., Симончик Л.В., Усачёнок М.С.

Институт физики им. Степанова НАН Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь, m.usachonak@dragon.bas-net.by

Большинство СВЧ устройств на основе электромагнитных кристаллов (ЭК) [1] реализуются из материалов с постоянными электрическими и магнитными свойствами и имеют фиксированную структуру элементарной ячейки, что приводит к отсутствию какой-либо возможности перестройки. Это является проблемой для их применения в скоростных, сложных системах приема-передачи СВЧ излучения, управляемых с помощью компьютера. Для создания электрически перестраиваемых устройств на основе ЭК отдельные их пассивные элементы должны быть заменены активными. Таким элементом может выступить плазма благодаря своей изменчивости по размеру, плотности и геометрии при изменении разрядного тока [2, 3]. В работе [4] формирования одномерного ЭК в волноводе 23 × 10 мм2 применены плазменные столбы тлеющих разрядов при пониженном давлении. Здесь было показано, что для формирования контрастного спектра пропускания ЭК плотность электронов в плазменных столбах должна быть выше, чем 1014 см–3. В то же время для уменьшения поглощения в полосе пропускания диаметры плазменных столбов должны быть 1 – 3 мм, а их число — 3 – 5. Однако при пониженном давлении газа в разрядных трубках случается СВЧ пробой уже при мощности порядка 100 Вт. Это может быть приемлемо, например, для устройств защиты и переключения, но не для управляемого контроля и перестройки. В данной работе продемонстрирована возможность управления распространением СВЧ излучения большой (около 50 кВт) мощности с помощью ЭК, сформированного в волноводе 23 × 10 мм2 тремя импульсными разрядами в аргоне при атмосферном давлении.

Плотность электронов в плазме импульсного разряда определялась по штарковскому уширению линии Hα. Установлен диапазон варьирования электронных концентраций в плазменных неоднородностях 1014– 1016см–3, необходимый для изменения уровня пропускания кристалла от 0 до –50 дБ в запрещенной зоне кристалла 8 – 9 ГГц и при менее 3 дБ в полосе пропускания около 10 ГГц. Полученные экспериментальные данные хорошо согласуются с результатами моделирования, выполненного в среде программы Ansoft HFSS.

Исследована зависимость скорости переключения спектра пропускания от параметров разряда: рода газа, скорости потока, приложенного импульсного напряжения. Показано, что время переключения может составлять около 10 нс, а частота повторения достигать 20 кГц, что определяется временем распада плазмы импульсного разряда.

Импульсный разряд в аргоне при атмосферном давлении с разрядным промежутком 5 см использован в качестве ключевого управляющего элемента в треугольном двумерном ЭК [5]. Данная структура облучалась мощным СВЧ излучением с частотой 9,15 ГГц. Если разряд являлся дополнительным дефектом, то излучение распространялось через структуру в направлении (45,0 ± 2,5)°, а когда разряд являлся компенсатором дефекта, то распространение в данном направлении исчезало. Изменение пропускания составило около 15 дБ.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта БРФФИ-НЦНИ Ф15Ф-004.

Литература

1. Банков С.Е. Электромагнитные кристаллы. М.:ФИЗМАТЛИТ, 2010, 352 с.
2. Sakai O., Tachibana K., Plasma Sources Sci. Techn., 2012, V. 21(1), 013001.
3. J. Lo, J.Sokoloff et al., Applied Physics Letters, 2010, V. 96, 251501.
4. Simonchik L.V., Usachonak M.S., Proceedings of the 41th EPS Conf. on Plasma Physics, Berlin, Germany, 23—27 June 2014. <http://ocs.ciemat.es/EPS2014PAP/pdf/P2.126.pdf>.
5. Arkhipenko V.I. et al., Journal of applied physics. 2014. V. 116(12). 123302 (11 pp.).