

АНАЛИЗ УМЕНЬШЕНИЯ ПОТЕРЬ В ОСНОВНЫХ ТИПАХ ПЛАНАРНЫХ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ СВЧ ПРИ ГЛУБОКОМ ОХЛАЖДЕНИИ

Бондаренко И.Н.

**Харьковский национальный университет радиоэлектроники
(61166, Харьков, пр. Ленина. 14, каф. микроэлектроники, электронных
приборов и устройств, тел. (057) 702-13-62)**

E-mail: mepu@kture.kharkov.ua

Estimations of the losses decreasing in normal conducting and HTSC microstrip and coplanar lines at deep cooling are resulted.

Основными тенденциями развития современных информационных систем являются рост передаваемых и обрабатываемых в единицу времени объемов информации и одновременная миниатюризация используемой элементной базы. Это, в свою очередь, ведет к представлению цифровых сигналов все более короткими импульсами (с все более широким спектром частот) и, соответственно, смещению рабочего диапазона в область сверхвысоких частот. Реализация же миниатюрных СВЧ устройств, предназначенных для обработки и передачи импульсных цифровых сигналов, предполагает разработку и проведение исследований таких устройств, выполняемых, как правило, на основе планарных технологий.

Поскольку основой большинства миниатюрных устройств СВЧ являются элементы, выполненные с использованием микрополосковых и копланарных линий передачи, представляется целесообразным проведение оценки основных ожидаемых характеристик и анализа возможностей их улучшения.

Одной из таких характеристик является величина потерь в планарных линиях передачи, которая растет с увеличением степени миниатюризации и ростом рабочей частоты, несмотря на широкополосность планарных линий, что, в конечном итоге, ведет к ослаблению и искажению передаваемых и обрабатываемых сигналов.

Уменьшение потерь может быть произведено традиционным путем с помощью подбора для изготовления таких линий материалов (проводников и диэлектриков) с малыми потерями, однако этот подход не дает радикального снижения потерь, поскольку набор используемых материалов, как правило, ограничен и выигрыш лежит в пределах от единиц до десятков процентов, что, вряд ли, представляет существенный практический интерес.

В тоже время, такой пока не совсем традиционный путь, связанный с глубоким охлаждением, позволяет при соответствующем подборе материалов обеспечить снижение потерь в разы, а в случае использования сверхпроводников – на несколько порядков.

В качестве объекта исследования были выбраны микрополосковая (МПЛ) и копланарная (КПЛ) линии передачи с волновым сопротивлением 50 Ом, которые сформированы на диэлектрической подложке толщиной 0,5 мм. В качестве материалов проводников выбирались Cu, Al, Au, а также сверхпроводник $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, диэлектриков – Al_2O_3 (поликор и сапфир) для нормальнопроводящих проводников и Al_2O_3 (поликор и сапфир), LaAlO_3 – для сверхпроводников.

Характерные размеры линий определялись выбранными значениями волнового сопротивления, толщины подложки и диэлектрической проницаемостью материала подложек.

При анализе потерь в линиях принималось, что потери на излучение пренебрежимо малы, общие потери складываются из потерь в проводниках и диэлектриках.

Верхняя частота рабочего диапазона исследовавшихся линий определялась частотой возникновения высших типов волн с учетом соответствующих характерных размеров и составляла порядка 50 ГГц для МПЛ и порядка 26 ГГц для КПЛ. Рабочий диапазон температур – 300...77 К.

Как для МПЛ, так и для КПЛ в случае нормальнопроводящих проводников было получено во всем частотном рабочем диапазоне, что вклад потерь в диэлектрике примерно на полтора порядка меньше вклада потерь в проводниках, при общем росте потерь в линиях в диапазоне 1...50 ГГц для МПЛ – на порядок, а для КПЛ в диапазоне 1...26 ГГц – на полтора порядка при общей разнице в зависимости от использовавшегося проводника в пределах до 25 % для КПЛ и до 50% для МПЛ (минимальные потери для Cu, максимальные – для Al). Использование диэлектриков с большим значением диэлектрической проницаемости ведет к уменьшению характерных размеров при заданных параметрах и соответственно к некоторому росту потерь.

Влияние глубокого охлаждения на величину потерь анализировалось на частоте 10 ГГц. Общие потери в линиях, использующих нормальнопроводящие проводники (Cu, Al) при охлаждении до 77 К уменьшаются примерно в три раза, и определяются по-прежнему главным образом вкладом потерь в проводниках.

Уменьшение потерь при температуре 77 К для линий на основе высокотемпературных сверхпроводников по сравнению с охлажденными линиями с проводниками Cu и Al во всем рабочем частотном диапазоне составляет примерно полтора порядка, при этом потери в диэлектриках уже становятся сопоставимыми с потерями в сверхпроводниках и это необходимо учитывать при проектировании таких линий. Рост потерь с ростом рабочей частоты пропорционален f для использовавшихся диэлектриков и f^2 – для сверхпроводников.