

ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СВЧ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ

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: ibond@kture.kharkov.ua

Discussion is carried out and estimations of the factors influencing on non-linear properties in HTSC microstrip and coplanar lines are resulted.

С ростом передаваемых объемов информации происходит укорочение длительности импульсных сигналов и смещение рабочих частот в коротковолновую часть СВЧ диапазона. Это стимулирует разработку микроэлектронных устройств СВЧ диапазона различного назначения, основой большинства из которых являются полосковые линии передачи. В ряде случаев, при создании, например, высокоизбирательных входных устройств с малыми шумами и потерями или широкополосных линий задержки, применяются высокотемпературные сверхпроводники (ВТСП). Использование ВТСП позволяет значительно (на порядки) снизить потери, и, в совокупности с необходимым для функционирования таких устройств охлаждением, также уменьшить (в несколько раз) уровень тепловых шумов.

Широкое практическое использование ВТСП материалов в СВЧ технике в первую очередь ограничено их нелинейными свойствами и возможностью перехода в резистивное состояние под влиянием, как внешних факторов, так и непосредственно передаваемого СВЧ сигнала.

В связи с этим представляется целесообразным проведение качественных и количественных оценок степени влияния нелинейных эффектов на характеристики СВЧ устройств с ВТСП.

Физическая природа перехода в нормальное состояние под воздействием микроволнового сигнала довольно сложна, особенно для ВТСП.

На сегодняшний день нет однозначного понимания механизмов и причин, приводящих к нелинейному отклику, несмотря на значительное число как экспериментальных, так и теоретических работ, посвященных исследованию нелинейной зависимости поверхностного сопротивления сверхпроводников.

Известно несколько механизмов возникновения нелинейного отклика ВТСП пленки в микроволновом поле. Наиболее вероятными причинами нелинейности считаются: распаривание носителей сверхтока, генерация вихрей внешним высокочастотным полем, наличие крипа потока, наличие слабых связей, локальный перегрев при больших мощностях СВЧ тока и другие механизмы, которые, в свою очередь, могут зависеть от наличия

примесей, дефектов кристаллической решетки и содержания кислорода, механической обработки образца и прочих факторов.

В наиболее часто используемых планарных топологиях построения пассивных микроволновых устройств, даже при сравнительно небольших мощностях микроволнового поля, на краях пленки плотность тока превышает критическое значение. Это является причиной проникновения в пленку абрикосовских вихрей, индуцированных микроволновыми токами, и, как следствие, – возникновение нелинейной зависимости поверхностного сопротивления от амплитуды микроволнового тока.

При разных механизмах возникновения потерь зависимость от амплитуды микроволнового поля может быть близкой и даже одинаковой. Например, при протекании микроволнового тока возникает выделение тепловой энергии на дефектах, приводящее к разогреву ВТСП пленки. Поэтому возникновение нелинейности часто связывают также с эффектом «глобального» или «локального» перегрева ВТСП пленки из-за недостаточно быстрого теплоотвода.

Совершенствование технологии получения пленок ВТСП приводит к значительному уменьшению числа факторов, влияющих на характеристики планарных СВЧ структур. Для совершенных пленок ВТСП, основные физические процессы, влияющие на нелинейные свойства при существенно неоднородном распределении плотности тока, присущем полосковым линиям СВЧ с тонкими пленками (глубина проникновения поля λ_L сравнима с толщиной пленки d), будут зависеть от амплитуды и длительности воздействия микроволнового излучения.

При большой амплитуде СВЧ сигнала и малом времени его воздействия основную роль играют процессы распаривания, генерации вихрей и их перемещения. При увеличении длительности – процессы перегрева, которые, в свою очередь, зависят от материала подложки и конструкции планарной структуры (качества теплоотвода).

Оценки, проведенные в трехсантиметровом диапазоне для высококачественных пленок $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ($T_c \approx 92$ К, $j_c \approx 2 \cdot 10^6$ А/см², $R_s(77$ К) $\approx 0,2$ мОм) на подложках из Al_2O_3 и $LaAlO_3$, дают следующие значения относительных потерь на единицу длины (см): для микрополосковой линии – $\sim 7,1 \cdot 10^{-5} \dots 2,36 \cdot 10^{-4}$ ($d = 200$ нм, $h = 0,5$ мм, $w = 0,5$ и $0,162$ мм); для копланарной линии – $\sim 6,42 \cdot 10^{-4} \dots 9,16 \cdot 10^{-4}$ ($d = 200$ нм, $h = 0,5$ мм, $w = 0,186$; $0,1$ мм, $a = 0,346$; $0,4$ мм).

Учет распределения плотности тока в пленке показывает, что уже при входной мощности $\sim 10^{-3}$ Вт, на краях пленки величина тока может превышать критическое значение и, следовательно, могут включаться процессы, ответственные за нелинейности в характеристиках.