

СВОЙСТВА ОХЛАЖДАЕМЫХ И СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ЛИНЕЙНЫХ ПЛАНАРНЫХ СТРУКТУР МИКРОВОЛНОВОГО ДИАПАЗОНА

И.Н. Бондаренко

Харьковский национальный университет радиозлектроники

г. Харьков, пр. Ленина, 14, 61166, Украина

тел.: (057) 702-13-62, e-mail: meru@kture.kharkov.ua

Аннотация – Рассмотрены свойства охлаждаемых и сверхпроводящих линейных планарных структур микроволнового диапазона, приведены результаты теоретических оценок и экспериментальных исследований. Проведен анализ возможностей и ограничений использования охлаждаемых и сверхпроводящих структур планарного типа.

I. Введение

Рост передаваемых и обрабатываемых в единицу времени объемов информации 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 для передачи и обработки подобных сигналов предполагает использование планарных технологий. Поскольку основой большинства миниатюрных СВЧ устройств являются элементы, выполненные с использованием отрезков микрополосковых и копланарных линий передачи, представляется целесообразным проведение оценки их основных ожидаемых характеристик и анализа возможностей их улучшения.

II. Основная часть

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

Уменьшение потерь может быть произведено путем глубокого охлаждения, что позволит при соответствующем подборе материалов обеспечить снижение потерь в разы, а случае использования сверхпроводников – на несколько порядков [1, 2].

На рис.1 представлены зависимости величины затухания от частоты при $T = 77$ К в микрополосковых линиях (МПЛ) с использованием проводников (Al, Cu) и сверхпроводника (YBa₂Cu₃O_{7-δ}).

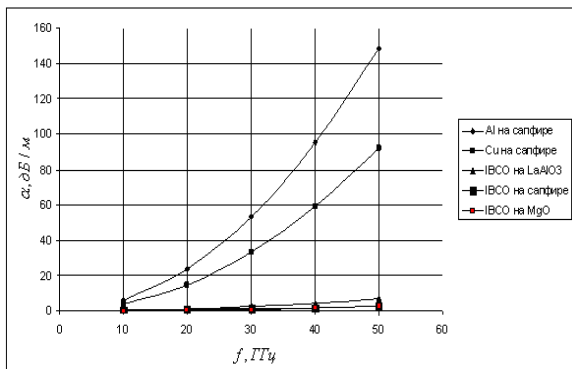


Рис.1 Зависимость затухания в МПЛ от частоты
Fig.1 Frequency attenuation dependence in microstrip lines

Зависимости затухания для копланарных линий (КПЛ) выглядят аналогично.

Оценки проводились для МПЛ и КПЛ с волновыми сопротивлениями 50 Ом и толщиной диэлектрической подложки 0,5 мм. При анализе потерь в линиях принималось, что потери на излучение пренебрежимо малы, общие потери складываются из потерь в проводниках и диэлектриках.

Уменьшение потерь при температуре 77 К для линий на основе высокотемпературного сверхпроводника 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.

Несмотря на значительное снижение потерь широкое практическое использование высокотемпературных сверхпроводящих (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 [3].

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 недостаточного быстрого теплоотвода.

Совершенствование технологии получения пленок ВТСП приводит к значительному уменьшению

PROPERTIES OF THE COOLING AND SUPERCONDUCTING LINEAR PLANARE MICROWAVE STRUCTURES

Bondarenko I.N.

Kharkov National University of Radioelektronika
Kharkov, Lenin av., 14, 61166, Ukraine

Ph.: (057) 702-13-62, e-mail: mepu@kture.kharkov.ua

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 [4], 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 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ($T_c \approx 92$ K, $j_c \approx 2 \cdot 10^6$ A/cm², $R_s(77$ K) $\approx 0,2$ мОм) на подложках из Al_2O_3 и LaAlO_3 , дают следующие значения относительных потерь на единицу длины (см): для МПЛ – $\sim 7,1 \cdot 10^{-5} \dots 2,36 \cdot 10^{-4}$ ($d = 200$ нм, $h = 0,5$ мм, $w = 0,5$ и $0,162$ мм); для КПЛ – $\sim 6,42 \cdot 10^{-4} \dots 9,16 \cdot 10^{-4}$ ($d = 200$ 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.

III. Заключение

Таким образом, в результате проведенных исследований показано, что глубокое охлаждение (до 77 K) микроволновых планарных структур позволяет значительно снизить потери в их рабочем диапазоне частот (для сверхпроводников снижение потерь достигает полутора порядков) и, соответственно, будет способствовать уменьшению затухания и искажений передаваемых и обрабатываемых сигналов.

В тоже время необходимо отметить, что для ВТСП структур будут существовать определенные ограничения на величину передаваемых сигналов, обусловленные проявлением нелинейных эффектов и существенно неоднородным распределением СВЧ токов в планарных структурах.

Эффекты, приводящие к разрушению сверхпроводящего состояния и резкому росту сопротивления микроволновой планарной структуры, могут быть использованы при создании быстродействующих защитных устройств радиоэлектронной аппаратуры СВЧ диапазона.

IV. Список литературы

- [1] Черпак Н.Т., Величко А.В. Высокотемпературные сверхпроводники в микроволновой технике // Успехи современной радиоэлектроники. 2000. №4. С.3-47.
- [2] Hein M., High-Temperature-Superconductor Thin Films at Microwave Frequencies, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 1999. 394 p.
- [3] Bondarenko I.N., Lavrinovich A.A. Investigation of the Thin-Film High-Temperature Superconductivity Coplanar Line // Telecommunications and Radio Engineering. Begell Hous, Inc., NY, (USA). 2007. Vol.66, N7. P.597-605.
- [4] Vendik I.B., Vendik O.G., Kaparkov D. High Temperature Superconductor Devices for Microwave Signal Processing. Part II, Superconducting Microwave Circuits. – СПб.: ТОО „Складень“, 1997. 135 с.

Abstract – Properties of cooled and superconducting linear planar structures of a microwave range are considered, results of theoretical estimations and experimental researches are resulted. The analysis of possibilities and restrictions of use of cooled and superconducting structures of planar type is carried out.

I. Introduction

Growth of volumes of the information transferred and processed in unit of time conducts to representation of digital signals by more and more short impulses and, accordingly, to displacement of a working range in area of ultrahigh frequencies. Realisation of tiny microwave devices for transfer and processing of similar signals assumes use of planar technologies. As a basis of the majority tiny microwave devices are the elements executed with use of pieces of microstrip and coplanar lines, carrying out of an estimation of their basic expected characteristics and the analysis of possibilities of their improvement is represented expedient.

II. Main Part

Reduction of losses at temperature 77 T for lines on the basis of a high-temperature superconductor in comparison with the cooled lines with conductors Cu and Al in all working frequency range makes about one and a half order (fig.1), thus losses in dielectrics already become comparable to losses in superconductors and it is necessary for considering at designing of such lines. Growth of losses with growth of working frequency is proportional f for used dielectrics and f^2 – for superconductors.

Despite considerable decrease in losses wide practical use high-temperature superconducting (HTSC) materials in microwaves to the technician first of all is limited by their nonlinear properties and transition possibility in a resistive condition under influence, both external factors, and directly transferred microwave signal.

The estimations spent in a 3-sm range for high-quality films $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ($T_c \approx 92$ K, $j_c \approx 2 \cdot 10^6$ A/sm², $R_s(77$ K) $\approx 0,2$ mOm) on substrates from Al_2O_3 and LaAlO_3 , give following values of relative losses on unit lengths (sm): for microstrip lines – $\sim 7,1 \cdot 10^{-5} \dots 2,36 \cdot 10^{-4}$ ($d = 200$ нм, $h = 0,5$ мм, $w = 0,5$ and $0,162$ мм); for coplanar lines – $\sim 6,42 \cdot 10^{-4} \dots 9,16 \cdot 10^{-4}$ ($d = 200$ нм, $h = 0,5$ мм, $w = 0,186$; $0,1$ мм, $a = 0,346$; $0,4$ мм).

The account of distribution of density of a current in a film shows, that already at input power $\sim 10^{-3}$ W, at edges of a film the current size can exceed critical value and, hence, the processes responsible for nonlinearity in characteristics can join.

III. Conclusion

Thus, as a result of the spent researches it is shown, that deep cooling (to 77 K) microwave planar structures allows to lower considerably losses in their working range and, accordingly, will promote reduction of attenuation and distortions of transferred and processed signals.

In too time it is necessary to notice, that for HTSC structures there will be certain restrictions on values of the transferred signals, caused by display of nonlinear effects and essentially non-uniform distribution of microwave currents in planar structures.

The effects leading to destruction of a superconducting condition and sharp growth of resistance of microwave planar structure, can be used at creation of high-speed accident protection devices of radio-electronic microwave equipment.