

6. Дьяконов В. П. Лавинные транзисторы и их применение в импульсных устройствах.— М., 1973.
7. Дьяконов В. П., Профатилов В. И.— ПТЭ, 1978, № 3, с. 134.
8. Брюханов А. С. и др.— ПТЭ, 1976, № 2, с. 72.
9. Скляр О. К.— ПТЭ, 1976, № 1, с. 135.
10. Латушкин С. Т. и др.— ПТЭ, 1976, № 2, с. 143.
11. Моругин Л. А., Глебович Г. В. Наносекундная импульсная техника.— М., 1964.
12. Мейтик.— ТИИЭР, 1968, т. 56, № 1, с. 57.
13. Степаненко И. П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем.— М., 1977.

Поступила в редакцию
01.10.79.

НИИ ПФП

УДК 535.37

Н. К. КРИВОШЕЕВ, В. Ф. СТЕЛЬМАХ

ПРИМЕНЕНИЕ ДРОССЕЛЬНОГО СВЧ ПЕРЕХОДА В КРИСТАТЕ

В криогенных системах, предназначенных для исследования ЭПР, конструкция которых предусматривает охлаждение резонатора, тракт СВЧ является одним из основных конструктивных элементов, подводющим тепло к хладагенту [1, 2]. Этот тепловой поток уменьшают, изготавливая волновод из нейзильбера или нержавеющей стали и увеличивая его длину, что накладывает определенные ограничения на габариты и стоимость криогенной системы и приводит к дополнительным потерям мощности СВЧ.

В технике СВЧ распространены дроссельные волноводные переходы, обеспечивающие электрическое соединение при отсутствии прямого механического контакта [3]. Очевидно, что использование в конструкции тракта СВЧ такого перехода, находящегося в вакуумном объеме криостата, должно улучшить его тепловые свойства. В работе проведены

оценки эффективности использования дроссельных переходов в качестве элемента волновода с повышенным тепловым сопротивлением, обусловленным излучательным характером теплопереноса через них. Оценки проводились для волноводов с внутренним сечением 23×10 мм по общепринятой методике [4]. Основой для сравнения служил волновод из нержавеющей стали с толщиной стенок 0,5 мкм.

На рис. 1 показана зависимость отношения тепловых потоков через равные по длине ($l=30$ мм) дроссельный переход, изготовленный из латуни ($\lambda = 120$ Вт/м·град), и отрезок волновода из нержавеющей стали (коэффициент теплопроводности $\lambda = 15$ Вт/м·град) для двух типов дроссельных переходов: стандартного (площадь теплообмена $1,5 \cdot 10^{-3}$ м²) и модифицированного ($1,5 \cdot 10^{-4}$ м²) и для поверхностей с различными излучательными свойствами — окисленной и полированной латуни (степень черноты $\epsilon = 0,6$ и $\epsilon = 0,028$ [4]), в зависимости от температуры, поддерживаемой на «холодном» конце волновода (температура второго конца — комнатная). Эффективность использования дроссельных переходов существенно возрастает с увеличением разности

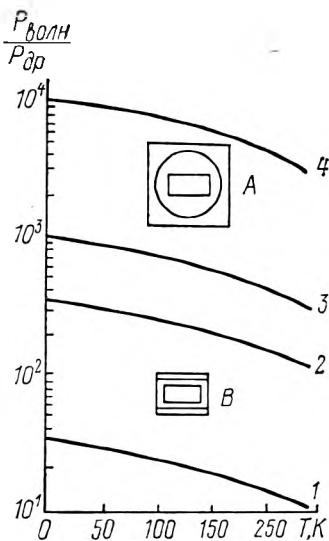


Рис. 1. Сравнительные характеристики тепловых потоков через дроссельные переходы:

- 1 — стандартный дроссельный переход, $\epsilon = 0,6$; 2 — модифицированный дроссельный переход, $\epsilon = 0,6$;
- 3 — стандартный дроссельный переход, $\epsilon = 0,028$; 4 — модифицированный дроссельный переход, $\epsilon = 0,028$;
- А — стандартный, В — модифицированный дроссельные переходы

температур, т. е. их целесообразно использовать в криогенных системах с большими температурными градиентами. Тепловые свойства охлаждаемого тракта СВЧ с дроссельными переходами зависят от вида перехода (площади теплообмена) и от излучательных характеристик поверхности; улучшить их можно путем серебрения и тщательной полировки торцов дроссельных переходов.

Таким образом, имеется возможность замены волноводов из нержавеющей стали на стандартные латунные, высокая теплопроводность которых компенсируется повышенным тепловым сопротивлением дроссельных переходов. Однако преимущества латунного волноводного тракта с дроссельным переходом перед волноводом из нержавеющей стали теряются с увеличением длины тракта СВЧ. Целесообразность применения дроссельного перехода в сочетании со стандартным латунным волноводом определяется длиной тракта, при которой тепловой поток через него оказывается равным потоку через равный по длине волновод из нержавеющей стали. На рис. 2 показана зависимость эквивалентной длины от температуры «холодного» конца латунного тракта СВЧ с дроссельным переходом, т. е. длины, при которой латунный волновод оказывается эквивалентным в тепловом отношении волноводу из нержавеющей стали (для стандартного дроссельного перехода с площадью теплообмена $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ и степенью черноты его поверхности $\epsilon = 0,6$).

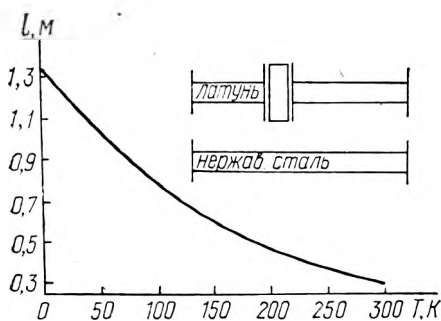


Рис. 2. Оценка эффективности применения латунного волноводного тракта СВЧ с дроссельным переходом

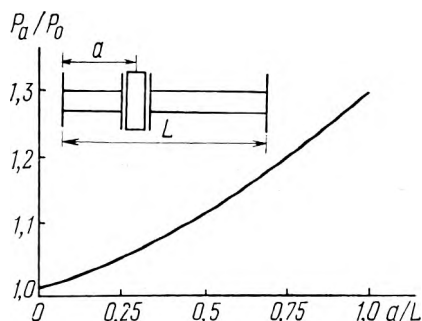


Рис. 3. Влияние расположения дроссельного перехода на тепловой поток через волноводный тракт

В области азотных температур эквивалентная длина оказывается равной $\sim 1 \text{ м}$ (см. рис. 2). Таким образом, использование дроссельного перехода позволяет повысить эффективность малогабаритных криогенных систем. Проведенные оценки для дроссельных переходов модифицированного типа с улучшенными излучательными свойствами поверхности показывают, что их использование эффективно во всех криогенных системах, типичных для техники ЭПР.

При выборе местоположения дросселя следует отдавать предпочтение размещению его вблизи ванны с хладагентом. На рис. 3 показана зависимость отношения теплового потока через волноводный тракт с дроссельным переходом, расположенным на расстоянии a от ванны с хладагентом, к потоку при расположении дроссельного перехода непосредственно у ванны, от относительного расположения перехода (L — длина тракта).

Выполненные оценки позволяют сделать вывод о целесообразности применения в криогенных системах дроссельных переходов СВЧ, позволяющих уменьшить геометрические размеры системы и теплоприток по тракту СВЧ, а также применить более доступные латунные волноводы вместо волноводов из нержавеющей стали.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабанко В. П., Рябченко С. М., Селькова Е. Н.—ПТЭ, 1966, № 1, с. 222.

2. Эндрус Р. А., Ким Я. В.— ПНИ, 1966, № 4, с. 22.
 3. Фельдштейн А. Л., Явич Л. Р., Смирнов В. П. Справочник по элементам волноводной техники.— М., 1963, с. 63.
 4. Уайт Г. К. Экспериментальная техника в физике низких температур.— М., 1961.

Поступила в редакцию
01.10.79.

Кафедра физики полупроводников

УДК 537.531:535

Х. А. МУРТАДА, Г. А. ГУМАНСКИЙ, В. В. УГЛОВ

ОТРАЖЕНИЕ И РАССЕЯНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЬЮ КРЕМНИЯ С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ ШЕРОХОВАТОСТИ

Повышенный интерес в последние годы к зеркальному отражению рентгеновского излучения обусловлен попытками применения этого явления к изучению тонких приповерхностных слоев твердых тел: определению степени шероховатости поверхности [1], плотности тонких слоев на поверхности [2], структуры этих слоев методом рентгеновской дифракции в предельно-асимметричном брэгговском положении [3]. Однако четкой картины зависимости отражения от рельефа поверхности не получено.

В данной работе проведено экспериментальное исследование зеркального отражения и рассеяния на углы, близкие к 90° , характеристического рентгеновского излучения кобальта ($\lambda=1,789 \text{ \AA}$) от образцов эпитаксиального кремния с зеркальной и шероховатой поверхностями. Шероховатость поверхности создавалась путем шлифовки зеркального кремния алмазной пастой с размером зерна 1 мкм в течение 10 (образец № 1), 60 (образец № 2) и абразивным порошком 000 в течение 30 с (образец № 3). Образцы устанавливались на столике переоборудованного гониометра ГС-5 с двухщелевыми коллиматорами. Против держателя образца на столике гониометра устанавливался счетчик СБТ-7, предназначенный для относительного измерения излучения, рассеянного в

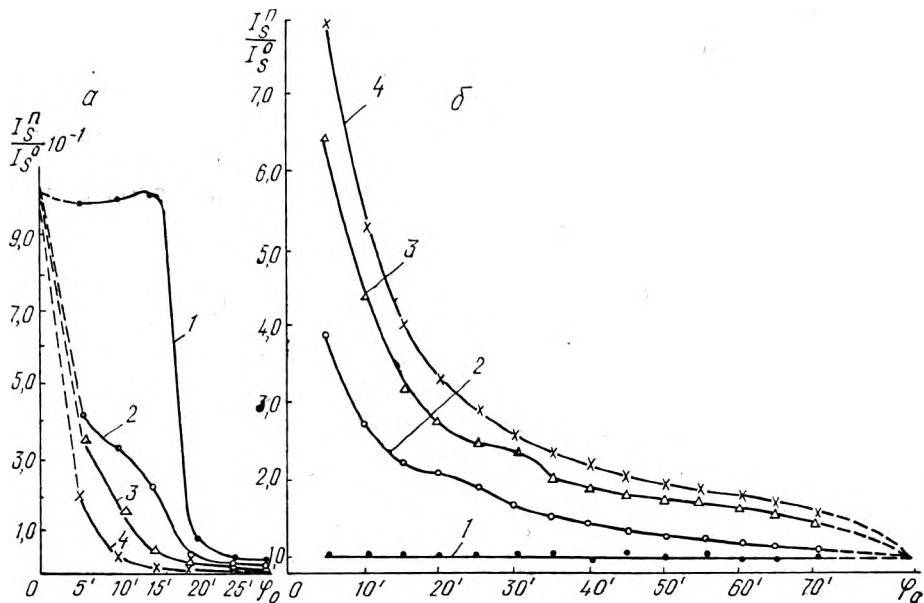


Рис. 1. Зависимость эффективного коэффициента отражения (а) и относительной интенсивности рассеяния (б) от угла скольжения первичного пучка рентгеновского излучения для образцов эпитаксиального кремния с различной степенью обработки поверхности:

1 — зеркальной; 2 — шероховатой, 1; 3 — шероховатой, 2; 4 — шероховатой, 3