

ОПЕРАТИВНЫЙ АНАЛИЗ ЗАГРЯЗНЕНИЙ КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИН РЕКОМБИНАЦИОННО-АКТИВНЫМИ ПРИМЕСЯМИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

К. т. н. В. А. Солодуха, С. В. Шведов, к. т. н. Г. Г. Чигирь, к. ф.-м. н. А. Н. Петлицкий,
д. т. н. В. А. Пилипенко, к. т. н. Н. С. Ковальчук, к. т. н. Т. В. Петлицкая,
В. А. Филипеня

ОАО «ИНТЕГРАЛ»-управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»
Республика Беларусь, г. Минск
office@bms.by

Предложен доступный оперативный метод анализа загрязнений кремниевых пластин рекомбинационно-активными примесями по величине тока утечки обратносмещенных $p-n$ -переходов. Установлены критерии отбраковки по допустимому уровню загрязнения. Для проведения анализа не требуется дорогостоящее специализированное оборудование (масспектрометры). Метод эффективен при проведении оперативной аттестации оборудования, предназначенного для выполнения высокотемпературных операций.

Ключевые слова: кремниевая пластина, рекомбинационно-активные примеси, ток утечки.

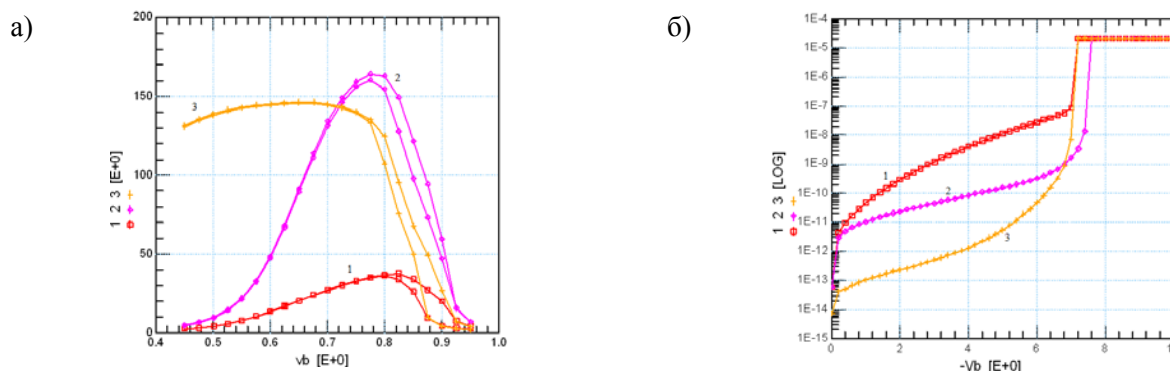
Современные субмикронные технологии интегральных микросхем (ИМС) предъявляют высокие требования к чистоте проведения технологических процессов и особенно к процессам высокотемпературных операций. Ухудшение параметров микросхем, вызванное неконтролируемым загрязнением кремниевых структур рекомбинационно-активными примесями, является проблемой в производстве современных ИМС. Такими примесями для кремния являются железо, медь, никель и др., создающие глубокие уровни (уровни вблизи середины запрещенной зоны кремния). Установлено, что значительное загрязнение такими примесями приводит к сильному увеличению токов утечки $p-n$ -переходов (до шести порядков), снижению величины коэффициента усиления биполярных транзисторов, большому сдвигу величины порогового напряжения после термополевых испытаний, аномальному поведению величины емкости диодов (с увеличением величины обратного смещения от 0 до минус 1 В значение емкости увеличивается более чем в два раза вместо обычного уменьшения).

В настоящей работе предложен метод проведения оперативного анализа загрязнений кремниевых пластин рекомбинационно-активными примесями по величине тока утечки обратносмещенных $p-n$ -переходов, который не требует дорогостоящего специализированного оборудования (масспектрометров).

Анализ неконтролируемого загрязнения кремниевых структур рекомбинационно-активными примесями проведен на биполярной микросхеме стабилизатора напряжения. В качестве контролируемого параметра использовался коэффициент усиления $n-p-n$ биполярного транзистора. Для эффективной работы анализируемой ИМС требуется большое значение коэффициента усиления при токе менее 1 мкА.

Измерения параметров технологического $n-p-n$ -транзистора проводились на трех пластинах микросхем: 1 — ИМС с низким коэффициентом усиления во всем диапазоне токов базы (ИМС, забракованная по параметрам); 2 — ИМС с низким коэффициентом усиления при токе менее 1 мкА (годная ИМС с параметрами на нижней границе допустимых значений); 3 — годная ИМС с достаточным запасом допустимых значений.

На рисунке представлены зависимости коэффициента усиления $n-p-n$ -транзистора от величины напряжения «эмиттер — база» $U_{\text{эб}}$ и ВАХ обратной ветви перехода «база — эмиттер» для трех указанных пластин.



Зависимость коэффициента усиления $n-p-n$ -транзистора от величины напряжения «эмиттер — база» (а) и ВАХ обратной ветви перехода «база — эмиттер» (б) для трех пластин: 1 — ИМС, забракованная по параметрам; 2 — годная ИМС с параметрами на нижней границе допустимых значений; 3 — годная ИМС с достаточным запасом допустимых значений

Из данных, приведенных на рисунке, видно, что на пластине 1 наблюдается значительный спад величины коэффициента усиления, включая токи базы менее 1 мкА ($U_{бэ}$ менее 0,5 В) и наблюдается значительная утечка перехода «база — эмиттер» на обратной ветви. При напряжении -5 В ток утечки на пластине 1 составляет 10^{-8} А, на пластине 2 — 10^{-10} А, на пластине 3 — $5 \cdot 10^{-12}$ А. В логарифмическом масштабе ток утечки имеет линейную зависимость от напряжения смещения. Сравнительный анализ данных рисунка показывает, что причиной значительного спада величины коэффициента усиления при токах базы менее 1 мкА является наличие утечки перехода «база — эмиттер». Статистические данные показывают, что для обеспечения требуемых параметров ИМС величина тока утечки для $p-n$ -перехода размером 100×100 мкм не должна превышать 10^{-12} А (соответствует плотности тока утечки 10^{-8} А/см²) при напряжении 1—5 В. В этом случае технологический процесс можно считать чистым. При утечке более 10^{-10} А (плотность тока утечки 10^{-6} А/см²) технологический процесс сильно загрязнен и необходимо проводить профилактические работы.

Анализ тока утечки на трех пластинах показывает, что при температуре 150°C его величина возрастает на несколько порядков. Эти данные свидетельствуют о том, что утечки имеют генерационно-рекомбинационную природу и возникают при наличии большого количества глубоких уровней в запрещенной зоне кремния. Причиной их возникновения могут быть загрязнения полупроводниковой структуры металлическими примесями меди, железа и др. в техпроцессе изготовления микросхем, в частности из нагревательных элементов при температурных обработках.

Таким образом, предложенный метод обеспечивает оперативный анализ наличия загрязнений кремниевых пластин рекомбинационно-активными примесями по измерению величины токов утечки $p-n$ -переходов при обратном напряжении смещения 1—5 В. Установлены критерии забракования по допустимым уровням загрязнения. Для чистых процессов плотность тока утечки не должна превышать 10^{-8} А/см². Анализ эффективен при проведении оперативной аттестации оборудования для проведения высокотемпературных операций.

V. A. Solodukha, S. V. Shvedov, R. R. Chyhir, A. N. Pyatlitski, V. A. Pilipenko, N. S. Kovalchuk, T. V. Pyatlitskaya, V. A. Filipenia

Efficient analysis of the silicon wafers pollution with recombination-active impurities during fabrication of the integrated circuits

The authors propose an efficient method of analysis for pollution of silicon wafers with recombination-active impurities. The analysis is done by measuring up the value of the leakage currents of the reversely-biased $p-n$ junctions. The rejecting criteria according to the allowable level of pollution were established. The analysis does not require expensive specialized equipment (mass spectrometers). The method is effective in performing prompt and efficient certification of equipment designed to perform high-temperature operations.

Key words: silicon wafer, recombination-active impurities, leakage currents.