

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОЩНЫХ МДП-ТРАНЗИСТОРОВ

Беспалов Николай Николаевич, Лысенков Алексей Евгеньевич
ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва»,
Российская Федерация, г. Саранск,
E-mail: ka-mgu@mail.ru , lysenkov87@gmail.com , , тел. +7(834-2) 24-37-05,
430005, г. Саранск, ул. Богдана Хмельницкого, д. 39, каб. 515

Аннотация. В статье рассматриваются некоторые аспекты выбора термочувствительного параметра силового МДП-транзистора, используемого для определения температуры кристалла прибора. Представлены температурные зависимости данных параметров, обсуждаются проблемы, связанные с технической сложностью их измерения.

Ключевые слова: МДП-транзистор; MOSFET; термочувствительный параметр; измерение; тепловое сопротивление.

I. ВВЕДЕНИЕ

Отбраковка потенциально ненадежных силовых полупроводниковых приборов (СПП) осуществляется, как правило, с помощью электротермотренировки — испытания на принудительный отказ. Данный процесс является эффективным, но дорогим, поэтому зачастую превращается в формальную операцию, не обеспечивающую цели отбраковки. Альтернативой ему служат методы диагностического контроля, основанные на выявлении скрытых дефектов в структуре прибора по косвенным параметрам. Одним из наиболее информативных для оценки качества изготовления СПП теплофизических параметров является тепловое сопротивление кристалл-корпус R_{thjc} . Основная сложность определения R_{thjc} заключается в необходимости измерения температуры кристалла прибора T_j , что невозможно осуществить напрямую. Наиболее простым и эффективным решением данной задачи является использование термочувствительных параметров СПП.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Критерии выбора термочувствительного параметра СПП для определения температуры его кристалла следующие:

- простота измерения величины параметра;
- температурная чувствительность параметра;
- характер температурной зависимости параметра.

В рамках данного исследования нами была поставлена задача: сравнить по вышеуказанным критериям термочувствительные параметры силовых МДП-транзисторов.

III. ТЕОРИЯ

Температурная зависимость характеристик и параметров МДП-транзисторов определяется, прежде всего, влиянием температуры на пороговое напряжение прибора U_{GST} и может быть определена, в соответствии с [1], как:

$$U_{GST}(T_j) = -0,007(V/^{\circ}C) \cdot (T_j - 25^{\circ}C) + U_{GST}(25^{\circ}C). \quad (1)$$

Таким образом, параметр U_{GST} находится в линейной зависимости от температуры кристалла, что значительно упрощает его использование. Чувствительность параметра — ТКН $U_{GST} = -0,007 V/^{\circ}C$. Главным недостатком использования параметра U_{GST} для определения температуры T_j являются высокие требования, предъявляемые к измерительной аппаратуре. Связано это с тем, что измерение U_{GST} , как правило, осуществляется при токе стока $I_D = 250 \text{ мкА} \pm 5\%$. На затворной характеристике пороговое напряжение находится в области высокой чувствительности по току, вследствие чего любое отклонение от заданного

значения $I_D = 250$ мкА приведет к существенной погрешности измерения U_{GS} .

В работе [2] авторы предлагают использовать в качестве термочувствительного параметра МДП-транзистора прямое падение напряжения затвора U_{GS} при условии $I_D \gg 250$ мкА. На рис. 1 представлены полученные нами экспериментально температурные зависимости напряжения U_{GS} при различных значениях тока $I_D \gg 250$ мкА.

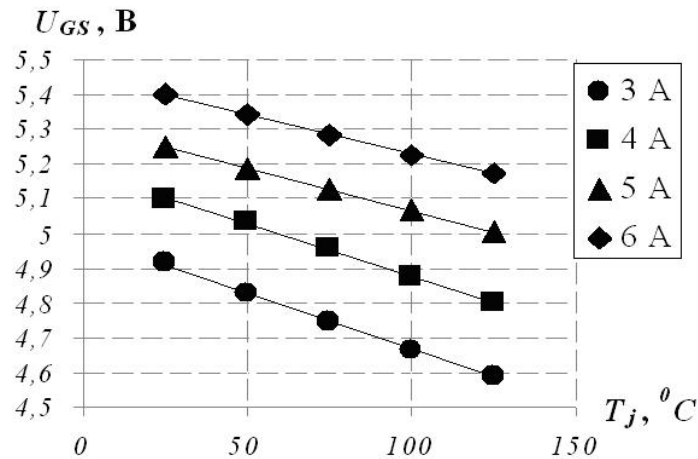


Рис. 1. Зависимости $U_{GS}(T_j)$ МДП-транзисторов при разных токах I_D .

Данные зависимости также имеют ярко выраженный линейный характер при чувствительности ТКН $U_{GS} \approx -0,003$ В/ $^{\circ}C$. Использование напряжения U_{GS} , измеряемого при больших токах I_D , позволяет снизить требования к точности измерительной аппаратуры. С другой стороны, в измерительной аппаратуре должен быть технически реализован алгоритм подбора напряжения U_{GS} при заданном значении тока I_D и напряжении стока U_{DS} .

Альтернативным способом определения температуры кристалла прибора является использование в качестве термочувствительного параметра прямого падения напряжения на кристалле U_{DS} . На рис. 2 представлены зависимости $U_{DS}(T)$ при $U_{GS} = 10$ В.

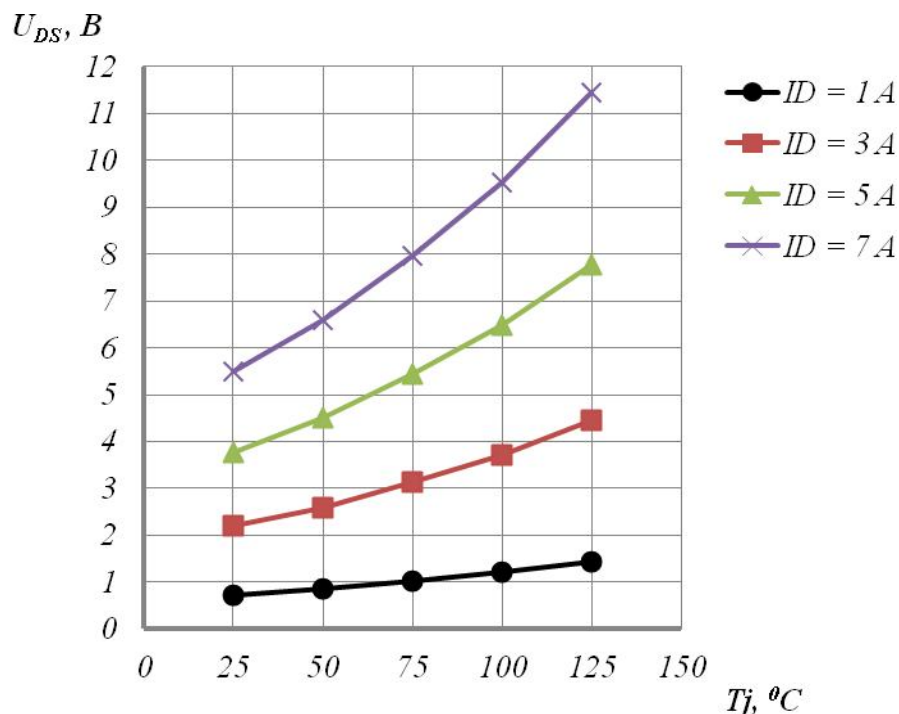


Рис. 2. Зависимости $U_{DS}(T_j)$ МДП-транзисторов при разных значениях тока I_D .

Известно, что данные зависимости имеют экспоненциальный характер, следовательно, зависимости $\ln(U_{DS})(T_j)$ линейны (рис. 3).

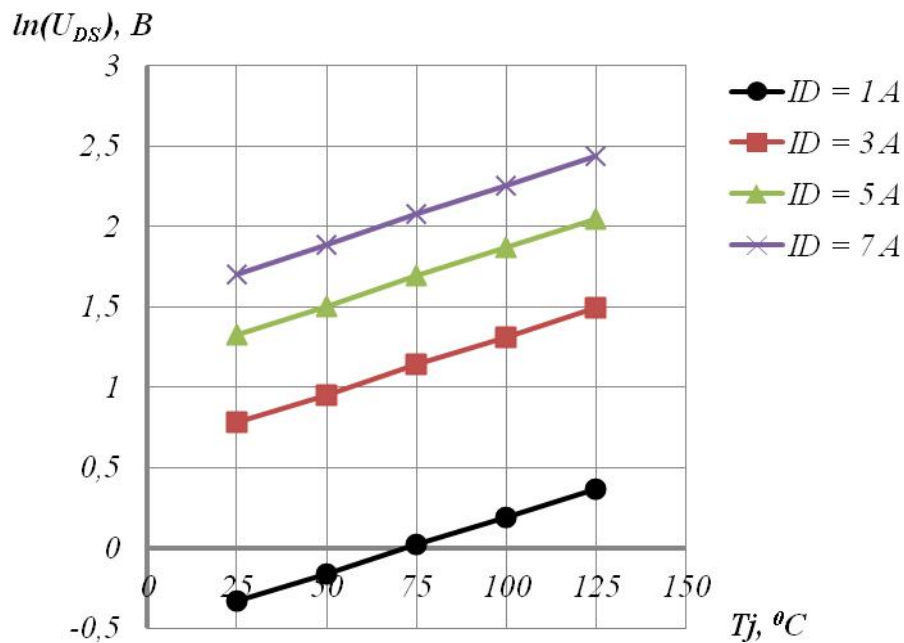


Рис. 3. Зависимости $\ln(U_{DS})(T_j)$ МДП-транзисторов при разных значениях тока I_D .

Чувствительность данных зависимостей — 0,007. Реализовать измерение прямого падения напряжения на кристалле U_{DS} при $U_{GS} = const$ и $I_D = const$ и математическую обработку результатов измерения на основе технологий National Instruments не представляет особых технических и программных сложностей. Таким образом, использование напряжения U_{DS} — наиболее простой путь определения температуры кристалла МДП-транзистора.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

С помощью программно-аппаратного комплекса [3], разработанного на основе технологий предлагаемых National Instruments, были получены вольт-амперные характеристики (ВАХ) транзистора IRF840 при $U_{GS} = 10$ В и $T_j = 25, 50, 125 ^\circ C$ (рис. 4).

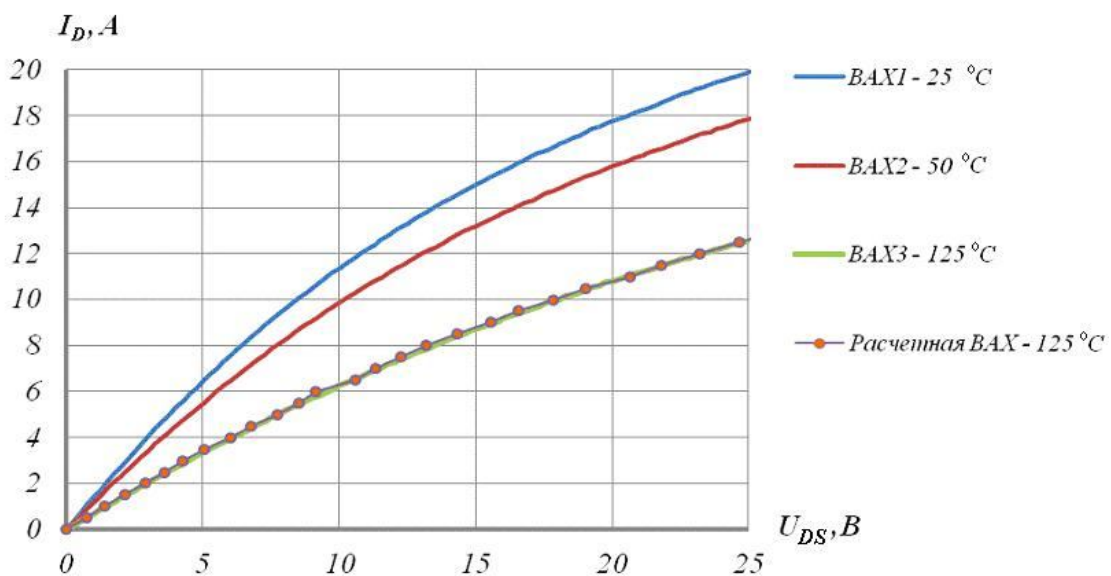


Рис. 4. ВАХ транзисторов IRF840 при разных значениях T_j .

Для каждого значения тока I_D по ВАХ1 и ВАХ2 были определены U_{DS1} и U_{DS2} соответственно. Поскольку зависимость $\ln(U_{DS})$ (T_j) линейна, для каждого I_D была определена функция:

$$U_{DS}(T_j) = \exp(k \cdot T_j + b), \quad (2)$$

где k и b определяются через U_{DS1} , U_{DS2} , T_{j1} , T_{j2} .

Таким образом, по ВАХ1 (25°C) и ВАХ2 (50°C) была определена расчетная ВАХ (125°C), которая полностью совпала с измеренной ВАХ3.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты эксперимента показали, что прямое падение напряжения на кристалле U_{DS} подходит для определения температуры кристалла транзистора MOSFET. Расчетная и измеренная кривые совпали с высокой точностью. Таким образом, по двум ВАХ, измеренным при разных температурах кристалла транзистора, можно рассчитать ВАХ при произвольно заданной температуре, что может использоваться при моделировании электротепловых процессов, протекающих в силовых МДП-транзисторах при эксплуатации.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование показывает, что среди рассмотренных термочувствительных параметров силовых МДП-транзисторов наиболее полно заданным критериям выбора удовлетворяет прямое падение напряжения на кристалле U_{DS} . Измерение данного параметра не требует технически сложного решения, параметр обладает высокой температурной чувствительностью, что способствует повышению точности измерения.

Использование аппаратно-программного комплекса на базе технологий National Instruments позволяет существенно упростить процесс измерения данного термочувствительного параметра и повысить производительность. Таким образом, для определения теплового сопротивления прибора в качестве термочувствительного параметра может быть использовано прямое падение напряжения на кристалле МДП-транзисторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дивинс Д. Моделирование в тепловых расчетах // Электронные компоненты. 2008. №2. С.24.
2. Беспалов Н. Н., Лысенков А. Е. О выборе термочувствительного параметра мощных MOSFET транзисторов и режима его измерения // Материалы международной научно-технической конференции «Силовая электроника и энергоэффективность – 2011». – Алушта, Украина. – 2011. – С. 192–195.
3. Беспалов Н. Н. Исследование стоковых характеристик МДП-транзисторов / Беспалов Н. Н., Лысенков А. Е. // Электроника и информационные технологии. – 2009 выпуск 1 (5) – 2009. – http://fetmag.mrsu.ru/2009-2/pdf/Drain_characteristics_MOSFET.pdf. – 0420900067/0021.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE THERMOSENSITIVE PARAMETERS OF POWER MOSFET

Bespalov N. Nikolay, Lysenkov E. Aleksey

N. P. Ogarev's Mordovian State University,

Faculty of electronic engineering, Department of automatic control engineering,

Russian Federation, 430005, Saransk, Bogdana Hmelnickogo St., 39

E-mail: ka-mgu@mail.ru, lysenkov87@gmail.com; tel.: +7 (8342) 24-37-05

Annotation. The article discusses some aspects of choosing a power MOSFET thermosensitive parameter is used to determine the temperature of the crystal. Shows the temperature dependence of these parameters, to discuss problems related to the technical complexity of their measurement.

Key words: MOS-transistor; MOSFET; thermal resistance; thermosensitive parameter; measurement.



Беспалов Николай Николаевич

Россия, РМ, г. Саранск

Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва

Электронная почта: ka-mgu@mail.ru

Тел.: +7 (834-2) 24-37-05

Окончил радиотехнический факультет Новосибирского электротехнического института в 1974 по специальности радиотехника. Кандидат технических наук (2000). С 2003 г. и по настоящее время является заведующим кафедрой автоматики.

Область научных интересов: разработка методов и аппаратуры для испытания силовых полупроводниковых приборов и определения их параметров и характеристик; разработка методов и аппаратуры для ионизации воздушной среды.



Лысенков Алексей Евгеньевич

Россия, РМ, г. Саранск

Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва

Электронная почта: lysenkov87@gmail.com

Тел.: +7 (987) 999 38-83

Окончил факультет электронной техники Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва в 2009 г. по специальности промышленная электроника. В настоящее время является аспирантом кафедры автоматики Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва.

Область научных интересов: разработка методов и аппаратуры для испытания силовых полупроводниковых приборов и определения их параметров и характеристик