

УДК 621.317

Контроль дефектности диэлектрических пленок ИМС с использованием термочувствительного порошка

Шахаев Богдан Маратович

bogdansahaev@gmail.com

Андреев Владимир Викторович

vladimir_andreev@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Разработан метод контроля дефектности диэлектрических пленок микросхем, вышедших из строя в процессе эксплуатации, основанный на контроле поверхности кристалла путем нанесения на нее термочувствительного порошка. Проведена апробация метода при анализе дефектности диэлектрических пленок на кристаллах КМДП-ИМС. Показано, что предложенный метод позволяет локализовать место дефектов на поверхности кристалла ИМС

Ключевые слова: анализ диэлектрических пленок, пробой ИМС, термочувствительный порошок

В процессе всего жизненного цикла интегральной микросхемы (ИМС), включающего разработку, производство и эксплуатацию прибора важнейшей задачей является контроль качества электронного изделия. Для улучшения качества ИМС необходимо выявлять слабые места в структуре кристалла, а также производить анализ важных элементов микросхемы, которые могут привести к ее отказу, особенно при критических режимах эксплуатации [1–7]. Для реализации данной задачи может потребоваться решение проблемы выявления локализации расположения дефектов в ИМС, что позволяет идентифицировать их с конкретными элементами и структурами микросхемы.

Разработанный метод позволяет выявить скрытые дефекты в структуре диэлектрика возникшие в процессе эксплуатации или из-за воздействия повышенного напряжения. Локализация дефекта и его анализ позволяют увеличить надежность микросхемы и выявить недостатки в технологическом процессе производства. Также локализация дефекта может быть полезна при анализе технологического процесса и его совершенствовании [1–3].

В интегральных микросхемах со структурой металл-диэлектрик-полупроводник (МДП) основными видами дефектов являются дефекты, связанные с диэлектрическими слоями [1–7]. Такие дефекты являются причиной возникновения токов утечки в полупроводниковой структуре [1–5] из-за которых в значительной степени могут измениться параметры ИМС.

Принцип разработанного метода основан на проявлении дефекта с помощью порошка благодаря току утечки на дефектном участке ИМС [8] из-за которого выделяется мощность. Данная особенность позволяет определять положение скрытых дефектов на поверхности диэлектрической пленки без травления верхних слоев кристалла.

Локализация дефекта кристалла ИМС начинается с анализа замеров электрических параметров и ВАХ. Полученные данные позволяют определить цепь или группу элементов на котором мог произойти пробой.

В случае если визуальным осмотром не удалось выявить положения дефекта применяется метод с использованием термочувствительного порошка.

На поверхность кристалла наносится тонкий слой термочувствительного порошка. Нанесение производится посредством смешивания его с этиловым спиртом и последующим нанесением небольшого количества полученной смеси на кристалл. Термочувствительный порошок равномерно оседает на поверхность кристалла с испарением спирта из смеси. Полученное покрытие получается неоднородным, что является недостатком данного метода. Оптимальная толщина слоя порошка, при которой место дефекта возможно визуально различить должна быть менее 6 мкм.

На выводы микросхемы необходимо подать режим напряжения, который соответствует режиму нормальной работы рассматриваемого участка цепи микросхемы.

Нанесенный порошок реагирует на тепло, выделяемое в месте дефекта. Визуальным контролем определяется зона, в которой произошли изменения в структуре порошка

На рис. 1 изображен фрагмент топологии КМДП ИМС при анализе дефектности разработанным в статье методом до и после подачи напряжения. Зона порошка, изменившая свою структуру, соответствует месту пробоя диэлектрической пленки.

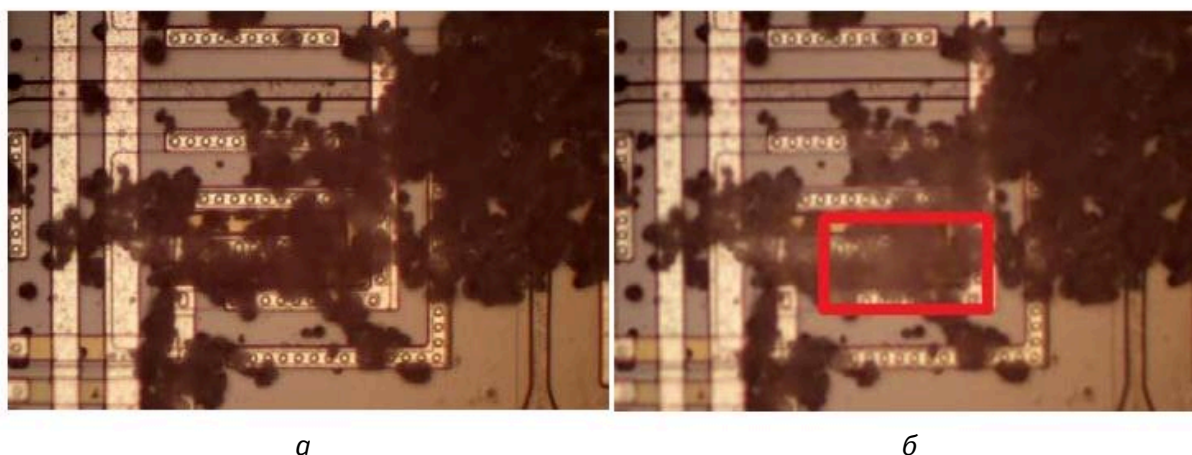


Рис. 1. Фрагмент топологии ИМС:

а — место дефекта до подачи напряжения; *б* — место дефекта после подачи напряжения

Дефект, рассмотренный в примере, невозможно визуально определить на поверхности кристалла. Также для точной локализации необходимо равномерное распределение порошка по поверхности кристалла.

Получаемое «свечение» порошка напрямую зависит от поданного напряжения. Постепенно уменьшая напряжение на выводах, можно более точно

локализовать место пробоя. При высоком напряжении данное свечение может проявиться и в элементах схемы за счет их нагрева.

По полученному положению дефекта можно судить о причине его возникновения. Эти данные можно использовать для увеличения надежности ИМС. Они также могут быть полезны при проектировании или улучшении уже существующей электроники.

Заключение. В работе был разработан метод выявления дефектов диэлектрических пленок, а также проведен анализ микросхемы разработанным методом. В результате был выявлен дефект в структуре ИМС. Разработанный метод позволил подтвердить наличие пробоя в диэлектрической пленке, а также определить его положение в структуре ИМС.

Литература

- [1] Strong A.W., Wu E.Y., Vollertsen R., Suñé J., Rosa G.L., Rauch S.E., Sullivan T.D. Reliability wearout mechanisms in advanced CMOS technologies. Wiley-IEEE Press, 2009.
- [2] Lombardo S., Stathis J.H., Linder P., Pey K.L., Palumbo F., Tung C.H. Dielectric breakdown mechanisms in gate oxides. *Journal of Applied Physics*, 2005, vol. 98, art. no. 121301(1–36). <https://doi.org/10.1063/1.2147714>
- [3] Palumbo F., Wen C., Lombardo S., Pazos S., Aguirre F., Eizenberg M., Hui F., Lanza M. A Review on Dielectric Breakdown in Thin Dielectrics: Silicon Dioxide, High-k, and Layered Dielectrics. *Adv. Funct. Mater.*, 2019, vol. 29, art. no. 1900657(1–26). <https://doi.org/10.1002/adfm.201900657>
- [4] Wu E.Y. Facts and Myths of Dielectric Breakdown Processes — Part I: Statistics, Experimental, and Physical Acceleration Models. *IEEE Trans. Electron Devices*, 2019, vol. 66, pp. 4523–4534. <https://doi.org/10.1109/TED.2019.2933612>
- [5] Martin A., Vollertsen R., Mitchell A., Traving M., Beckmeier D., Nielen H. Fast wafer level reliability monitoring as a tool to achieve automotive quality for a wafer process. *Microelectronics Reliability*, 2016, vol. 64, pp. 2–12. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2016.07.120>
- [6] Андреев В.В., Барышев В.Г., Бондаренко Г.Г., Столяров А.А. Метод многоуровневой токовой нагрузки для исследования генерации и релаксации положительного заряда в МДП-структурах. *Микроэлектроника*, 2003, т. 32, № 2, с. 152–158.
- [7] Andreev D.V., Andreev V.V., Konuhova M., Popov A.I. Technique of High-Field Electron Injection for Wafer-Level Testing of Gate Dielectrics of MIS Devices. *Technologies*, 2024, vol. 12, art. no. 102(1–10). <https://doi.org/10.3390/technologies12070102>
- [8] Куликова И.В., Пашковский А.Б., Приступчик Н.К. Тепловые режимы мощных полевых транзисторов с донорно-акцепторным легированием. *Электроника и микроэлектроника СВЧ*, 2016, т. 1, с. 238–241.

Defect control of dielectric films with using thermosensitive powder

Shakhaev B.M. bogdansahaev@gmail.com

Andreev V.V. vladimir_andreev@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

A method of defect control of dielectric films of microscopic that have failed during operation has been developed, based on the control of the crystal surface by applying a thermosensitive powder to it. The method has been tested in the analysis of defects in dielectric films on CMDP-IMS crystals. It is shown that the proposed method makes it possible to localize the location of defects on the surface of the IC crystal.

Keywords: analysis of dielectric films, IC breakdown, thermosensitive powder