

УДК 621.391.26

Вимірювальний стенд для дослідження впливу неоднорідної деформації на компоненти біполярних ІМС

Зилевич М. О.

e-mail: zila@meta.ua

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» kpi.uaКафедра промислової електроніки keoa.kpi.ua

Київ, Україна

Реферат—У роботі спроектовано стенд для дослідження впливу неоднорідної деформації на компоненти біполярних ІМС. Даний стенд призначений для вимірювання опору кремнієвих резисторів, вольт-амперних характеристик діодів та транзисторів під дією відомої неоднорідної деформації з відображенням отриманої інформації на екран персонального комп'ютера для подальшої обробки. Стенд дозволяє регулювати тиск у широкому діапазоні та є універсальним для вимірювання електричних характеристик різних компонентів мікросхем.

Ключові слова — деформація, тиск, вольт-амперна характеристика, опір, деламінація.

I. Вступ

Однією з важливих складових надійності мікросхем є цілісність та відсутність зовнішніх впливів на кристал у корпусі [1]. Наслідком зовнішніх впливів є деламінація підкладки кристалу в корпусованій мікросхемі. Цей процес спричиняє неоднорідний тиск на кристал в мікросхемі. Це призводить до зміни параметрів та характеристик ІМС, що, в свою чергу, є причиною виходу з ладу пристрою чи системи в цілому [2].

Метою цієї роботи є проектування стенду для дослідження впливу неоднорідної деформації на компоненти біполярних ІМС. Стенд повинен характеризуватися точністю та універсальністю вимірювання, а також можливістю регулювання тиску, що діє на зразок.

Стенд планується використовувати для експериментального дослідження впливу деламінації на компоненти біполярних ІМС, побудови моделей такого впливу, та обґрунтування вибору методів його компенсації.

II. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ

Деламінація – це процес розшарування композитного матеріалу [3]. В корпусованій мікросхемі це явище відбувається з підкладкою, що знаходиться між кристалом і дном корпусу. Приклад такого процесу зображено на рис. 1.

Причинами такого процесу є перепади температури та вологості в навколишньому середовищі використання, нерівномірне зчеплення шарів і наявність порожнин між ними, а також дефекти обробки

матеріалів та корпусу [4]. З плином часу ці фактори призводять до деламінації, причому в процесі виникнення розшарування усередині корпусу збільшується внутрішнє напруження матеріалів, яке поступово збільшується аж до моменту виникнення тріщини в корпусі, що зніме усі внутрішні напруження.

Описане вище явище спричиняє неоднорідну деформацію кристалу мікросхеми. Під неоднорідною деформацією розуміється виникнення локального тиску, що діє на поверхню кристалу [5]. Такий тиск є достатнім для зміни електричних характеристик компонентів ІМС. До того ж чим більший тиск, тим більша зміна параметрів елементів [6].

Фізика зміни характеристик елементів описується явищем тензорезистивного ефекту в напівпровідниках. Як відомо кристалічна решітка кремнію володіє кубічною симетрією. Якщо його піддавати дії деформації, то симетрія в загальному випадку буде знижуватись. Це спричинить зміщення енергетичних рівнів і перерозподіл носіїв струму між ними, що, в свою чергу, призведе до зміни електричних властивостей напівпровідника [7].

При дії тиску енергетичні рівні зміщуються, що призводить до зменшення ширини забороненої зони і збільшення концентрації основних і неосновних носіїв струму, та зміни ефективних мас і часу життя носіїв заряду [8]. Такі перетворення впливають на електричні характеристики напівпровідникових діодів, транзисторів і резисторів, а саме на зміну ВАХ, коефіцієнтів підсилення, опору резисторів, вихідних і вхідних струмів, тощо. Під впливом тиску опір кремнієвого резистора, напруга відкриття транзистора і діода зменшуються.



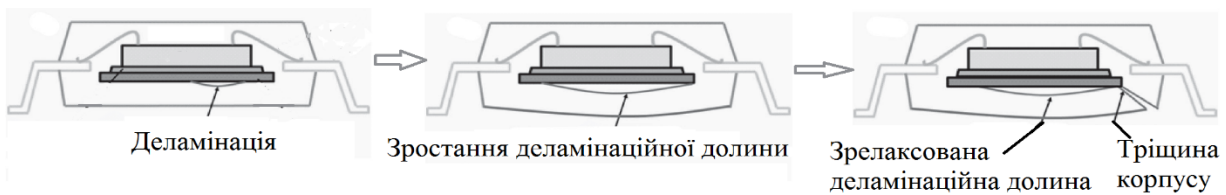


Рис. 1. Деламінація мікросхеми в корпусі

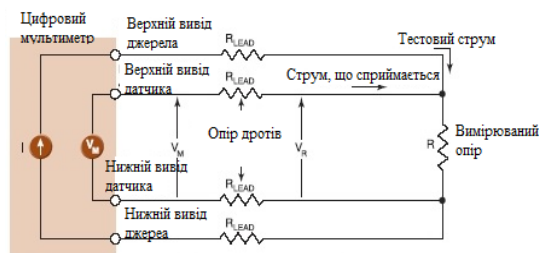


Рис. 2. 4-х контактна схема вимірювання

III. МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ

Для дослідження впливу тиску на компоненти ІМС необхідно вимірювати напругу, опір і струм, а також діяти індентером з відомою силою на кристал напівпровідника. Визначення опору доцільно проводити за методом Кельвіна, також відомого як 4-х контактний метод (рис. 2). Він заснований на пропусканні струму і вимірюванні напруги, яка виділяється на невідомому опорі [9]. Особливістю методу є те, що струм протікає через один набір проводів, що підводять, у той час як напруга сприймається іншим набором провідників. Напруга вимірюється безпосередньо на резистивному елементі, а не в тій точці, де підключене джерело струму. Таким чином опір підведених проводів повністю виключається зі схеми, що дозволяє точно фіксувати зміну опору.

Для вимірювання ВАХ напівпровідникових приладів застосовується високоточний мультиметр, що забезпечить точність та універсальність вимірювань як для діодів, так і для транзисторів.

Для симуляції неоднорідної деформації необхідно реалізувати механічний вплив на кристал для чого доцільно використовувати гостру або закруглену на кінці голку з діелектричного матеріалу. Це дає змогу сконцентрувати тиск на якомога меншій площі, при цьому голка не буде вносити ніяких електричних завад до об'єкта вимірювання [10]. Така голка закріплюється в механічний прес, до якого підключений динамометр, що фіксує тиск.

У стенді, що розробляється, 4-х контактна схема реалізована на базі високоточного мультиметра, за допомогою якого також буде вимірюватись вольт-амперна характеристика діодів і транзисторів. У якості динамометра використовується датчик сили.

IV. СТРУКТУРА СТЕНДУ

Структурну схему стенду показано на рис.3. Для візуалізації та обробки отриманих даних пропонується використовувати ПК, хоча для цієї задачі може бути розроблений окремий пристрій.

Блок комутації забезпечує зв'язок між блоком обробки сигналу датчика сили та ПК для фіксації тиску, що діє на зразок.

Блок обробки сигналу датчика сили перетворює аналоговий сигнал з датчика в цифровий для подальшої обробки на ПК.

Блок реалізації тиску складається з датчика сили, що вимірює тиск, який створює голка на зразок, та механічного преса. Механічний прес реалізує керування тиском, що діє на зразок.

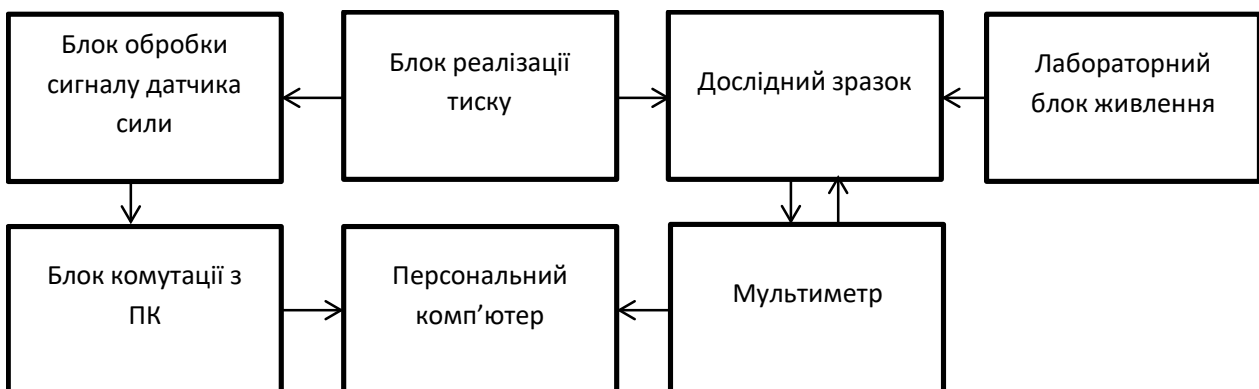


Рис. 3. Структурна схема стенду

ТАБЛИЦЯ 1. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО ОТРИМАНІ ДАНІ

Тиск, Па	Ітерація	Опір резистора, Ом	Відносна похибка	Напруга відкриття діода, В	Відносна похибка	Напруга відкриття транзистора, В	Відносна похибка
10^6	1	2,2138	1×10^{-3}	0,6850	3×10^{-3}	0,5436	2×10^{-3}
	2	2,2178		0,6877		0,5416	
	3	2,2101		0,6796		0,5433	
10^7	1	2,1641	4×10^{-3}	0,6089	4×10^{-3}	0,5128	3×10^{-3}
	2	2,159		0,6054		0,5154	
	3	2,1681		0,6101		0,514	
10^9	1	1,9804	3×10^{-3}	0,5166	3×10^{-3}	0,4759	2×10^{-3}
	2	1,9824		0,5133		0,4771	
	3	1,9874		0,5152		0,4723	

Мультиметр виконує 4-х контактне вимірювання опору резисторів, ВАХ діодів та транзисторів з подальшою комутацією з ПК через вбудований інтерфейс.

Лабораторний блок живлення необхідний для подачі різнорівневої тестової напруги і струму на дослідний зразок.

Дослідний зразок являє собою декапсульований кристал для доступу до його компонентів.

Розроблена структурна схема дає можливість проводити високоточні вимірювання опору резисторів, ВАХ діодів та транзисторів під впливом регульованого тиску. Особливістю такої схеми є простота та низька вартість реалізації, а також можливість конфігурування складових у залежності від необхідних умов.

V. ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ СТЕНДУ

Для візуалізації і обробки отриманих даних використовується програма, розроблена в графічній оболонці LabVIEW, яка запускається на ПК, до якого, за допомогою USB, підключається мультиметр та блок обробки даних з датчика сили через відповідний блок. Застосовано високоточний мультиметр Keithley 2100, який реалізує як 4-х контактну схему вимірювання, так і звичайну 2-х контактну, та має вбудований інтерфейс для підключення до ПК через USB. У якості датчика сили у блоці реалізації тиску використано аналоговий тензодатчик Tecsіs F2210 з діапазоном вимірювання від 0 Н до 1000 Н з похибкою у 0,025 Н, та механічний прес. Блок обробки сигналу з датчика сили реалізований на АЦП HX711, розрядність перетворення складає 24 біти. Інтерфейс для підключення АЦП HX711 до ПК реалізовано з використанням мікроконтролера Arduino Nano, який здійснює перетворення даних з АЦП в необхідний формат передачі.

Забезпечення тестової напруги і струму для дослідних зразків реалізує лабораторний блок живлення Nameg HM7042-5 – це високоточний лабораторний блок живлення на 3 канали, з допустимою напругою до 32 В і струмом до 5 А на канал.

Похибка вимірювання цим стендом визначається похибкою мультиметра і складає +/- 0,001 В для напруги, та +/- 0,0001 А для струму. Також похибку в +/- 0,025 Н вносить датчик вимірювання сили.

Експериментальні результати вимірювання впливу тиску на електричні характеристики напівпровідникових елементів (кремнієвий резистор з номінальним опором 2,2 Ом, діод, біполярний транзистор) наведені в таблиці. 1.

Тиск в 10^6 Па відповідає нормальним умовам, на зразок не діє деформаційний вплив. Дослідження проводилось у 3 ітерації для перевірки точності вимірювання, з поетапним збільшенням тиску.

Як видно з результатів експериментального дослідження опір резистора зменшується, оскільки концентрація носіїв струму під тиском зростає. Вимірювання напруги відкриття транзисторів і діодів проводилось таким чином, що фіксувалася напруга, при якій вихідний струм становитиме 50 мА. Отримані результати показують, що напруга відкриття зменшується, що відповідає теоретичним даним: при дії тиску ширина забороненої зони зменшується, що призводить до зменшення напруги відкриття діода і транзистора. Отримана відносна похибка вимірювання для опору і напруги складає 4×10^{-3} .

ВИСНОВКИ

Розроблено стенд для вивчення впливу неоднорідної деформації на компоненти біполярних ІМС, до складу якого входять джерело живлення, датчика сили та ПК. Для точності вимірювання застосовано мультиметр Keithley 2100. Для збільшення точності вимірювання використано лабораторний блок живлення Nameg HM7042-5. Фіксація прикладеного тиску відбувається за допомогою аналогового датчика Tecsіs F2210, сигнал якого оцифровується мікросхемою HX711. Керування тиском відбувається завдяки механічному пресу.

Особливістю стенду є низька вартість реалізації та простота його виготовлення. Реалізовано можливість регулювання впливу тиску та забезпечено універсальність використання для різних компонентів мікросхем, а також можливість конфігурування складових стенду в залежності від завдання дослідження.

Основними перевагами розробленого стенду є:

- конфігурування складових стенду в залежності від вимог дослідження;
- висока точність вимірювання (відносна похибка вимірювання не перевищує 4×10^{-3} ;

- можливість регулювання тиску, що діє на зразок;
- універсальність вимірювання (резистор, транзистор, діод);
- можливість вимірювання характеристик діодів і транзисторів у різних режимах завдяки лабораторному блоку живлення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Hnatek E. R. "Integrated Circuit Quality and Reliability," New York, *Marcel Deker.*, 1995. URL: <http://catcut.net/qX7A>
- [2] Levin M., Kala T. I. "Improving product reliability," California, *Wiley.*, 2003. ISBN: 978-0-470-86449-4
- [3] Vorobyov D. V. "Harakteristiki ta dzhherela mehanichnih vpliviv na radioelektronni zasobi," *Molodiy vcheniy.* no. 19. pp. 182-185, 2014. URL: <https://moluch.ru/archive/78/13692/>
- [4] Lee Y. C. "Micro- and Opto- Electronic Materials and Structures," California, *Springer.*, 2007. URL: <https://www.springer.com/us/book/9780387279749>
- [5] Kochemirovskiy V. A. "Defekti kristallchnoYi strukturi naplyprovIdnikovih materIalIv," *Vidavnichly dIm SPGU.*, 2013. URL: goo.gl/P7pCgF
- [6] Polyakova A. L. "DeformatsIya naplyprovIdnikov I naplyprovIdnikovih prIstroyiv," Moskva, *EnergIya.*, 1979. URL: <https://www.twirpx.com/file/560929/>
- [7] Brotherton S. D. "Introduction to Thin Film Transistors: Physics and Technology of TFTs," Switzerland, *Springer.*, 2013. URL: <http://haa.su/FZv/>
- [8] Rudolf F. G. "Modern Dictionary of Electronics," Melborne, *Newnes.*, 1999. URL: goo.gl/cYTqAp
- [9] Metod Kelvina [Online], Available: <http://shemabook.ru/kelvina-4-provodnoy-izmereniya-soprotivleniya>. [Accessed: 09-Feb-2019].
- [10] Widmann D. "Technology of Integrated Circuits," Berlin, *Springer.*, 2000. URL: goo.gl/vXaxhs

УДК 621.391.26

Измерительный стенд для исследования влияния неоднородной деформации на компоненты биполярных ИМС

Зылевич М. О.

e-mail: zila@meta.ua

Национальный технический университет Украины

“Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского” kpi.ua

Кафедра конструирования электронно-вычислительной аппаратуры keoa.kpi.ua

Киев, Украина

Реферат — В работе спроектировано стенд для исследования влияния неоднородной деформации на компоненты биполярных ИМС. Данный стенд предназначен для измерения сопротивления кремниевых резисторов, вольт-амперных характеристик диодов и транзисторов под действием известной неоднородной деформации с отображением полученной информации на экран персонального компьютера для дальнейшей обработки. Стенд позволяет регулировать давление в широком диапазоне и является универсальным для измерения электрических характеристик различных компонентов микросхем.

Ключевые слова — деформация; давление; вольт-амперная характеристика; сопротивление; деламация.



UDC 621.391.26

Measuring stand for investigation of the influence of inhomogeneous deformation on the bipolar mass components

M. O. Zylevich

e-mail: zila@meta.ua

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» kpi.uaDepartment of designing electronic computing equipment keoa.kpi.ua

Kyiv, Ukraine

Abstract — In this work, a bench was designed to study the effect of heterogeneous deformation on components of bipolar ICs. This stand is designed to measure the resistance of silicon resistors, voltage-current characteristics of diodes and transistors under the action of a known inhomogeneous deformation, with the display of received information on the screen of a personal computer for further processing. One of the important components of the reliability of the chips is the integrity and absence of external influences on the crystal in the case. The consequence of external influences is the deposition of the substrate of the crystal in the casing chip. This process causes inhomogeneous pressure on the crystal in the chip. This results in changes in the parameters and characteristics of the IC, which, in turn, causes the malfunction of the device or system as a whole. The purpose of this work is to design a bench for studying the effect of heterogeneous deformation on components of bipolar ICs. The stand should be characterized by precision and versatility of measurement, as well as the ability to regulate pressure acting on a similar basis. The stand is planned to be used for experimental study of the influence of delimitation on components of bipolar ICs, the construction of models of such influence, and justification for choosing methods for its compensation. Delamination is a process of bundle of composite material. In the case of a chip, this phenomenon occurs with the lining located between the crystal and the bottom of the case. The reasons for this process are the temperature and humidity variations in the environment, the uneven grip of the layers and the presence of cavities between them, as well as the defects in the materials and the housing. Over time, these factors lead to delamination, and in the process of bundle inside the case, the internal stress of the materials increases, which gradually increases up to the moment of a crack in the case, which will remove all internal stresses. The phenomenon described above causes heterogeneous deformation of the chip of the chip. Under heterogeneous deformation it is understood that the occurrence of local pressure acting on the surface of the crystal. Such pressure is sufficient to change the electrical characteristics of the components of the IC. Moreover, the greater the pressure, the greater the change in the parameters of the elements. The stand allows you to control the pressure in a wide range and is versatile to measure the electrical characteristics of different components of the chip. study of the influence of heterogeneous deformation on components of bipolar ICs. The stand includes a power source, a power sensor and a PC. For precision measurements, the Keithley 2100 multimeter was used. The Hameg HM7042-5 laboratory power supply was used to increase the accuracy of the measurement. The applied pressure is fixed using an analog sensor Tecsia F2210, whose signal is digitized by the chip HX711. Pressure control is due to the mechanical press. The booth's specialty is the low cost of implementation and the ease of its production. the possibility of configuring the components of the stand depending on the task of the study.

Keywords – deformation; pressure; voltage-ampere characteristic; resistance; delamination.

