

# Механизъм на промяната в съпротивлението при настройка на дебелослойни резистори с високоволтови импулси

T.Ivanchev, Prof.P.Philippov  
Technical University-Sofia  
borisov@ecad4sun.vmei.acad.bg  
Prof.H.Thust, Dipl.Ing.T.Thelemann  
Technical University of Ilmenau  
Heiko.Thust@e-technik.tu-ilmenau.de

## Abstract:

High voltage pulses with a very short duration and therefore low energy are required to change the resistance of TFR's without damaging them. The pulses were generated by test-generator - "HILO-TEST". The time constant of the pulse was about 25 ns with a voltage maximum of 4.5 kV.

Here are different trimming behaviours for the different type of resistive pastes, respectively with sheet resistance of  $100\Omega/\square$ ,  $1k\Omega/\square$  and  $10k\Omega/\square$ . The resistance may increase, decrease or may to combine both trimming behaviors. The reason is in the conductive mechanism which is primarily caused by conductive chains of particles.

For all cases the major change is caused by the first pulse. Additional pulses lead only to small variations and the total resistance drop is sensitive to the pulse amplitude.

## 1. Въведение:

Дебелослойните резистори сами по себе си представляват сложна композиция от метали, метални окиси и стъкло. За обезпечаването на необходимото съпротивление, шумови характеристики, времева и температурна стабилност е наложително използването на системи, съдържащи сребро-паладий, злато, платина а също така и окиси на индий, паладий, рутений. Физическите и електрически свойства на дебелите слоеве се обезпечават в резултат на термохимическите реакции, протичащи в процеса на термообработката (сушене и изпичане на пастата върху подложката). Скоростта на реакцията зависи от много фактори, но най-вече от концентрацията и физическата форма на реагиращите вещества (материали), температурата, времето и окръжаващата среда (инертна, окислителна). Физико-химическите основи на този процес са твърде специфични. Това се дължи на факта, че пастата съдържа в себе си проводяща, резистивна и диелектрична съставки с размери от 0.5 до 5  $\mu\text{m}$ , количествено до 30÷60%. Също така в състава и се включват стъклени частици с размери до 30  $\mu\text{m}$  и органични свързващи вещества. И именно тук, в процеса на изпичането на резистивната паста настъпва типичната хетерогенност на контактния интерфейс между отделните проводящи частици. Това от своя страна служи като основа на метода за настройка чрез високоволтови импулси.

## 1. Описание на експериментите.

В проведените експерименти са използвани тестови резисторни структури, изградени на базата на резистивни пасты от серията 2000 на DuPont Electronic Materials. Този вид резистивни композиции са проектирани и създадени за да изгубят различни електрически свойства, висока стабилност и ниска чувствителност към процесите, необходими при изграждането на резисторните структури. Тази серия е пригодена предимно за контактни площадки от  $\text{Ag/Pd}$ , но при наличие на други проводящи пасты е възможно да се отчитат малките корекции в съпротивлението и TCR (температурния коефициент на съпротивлението).

Различителни свойства:

TCR по-нисък от 50 ppm/K

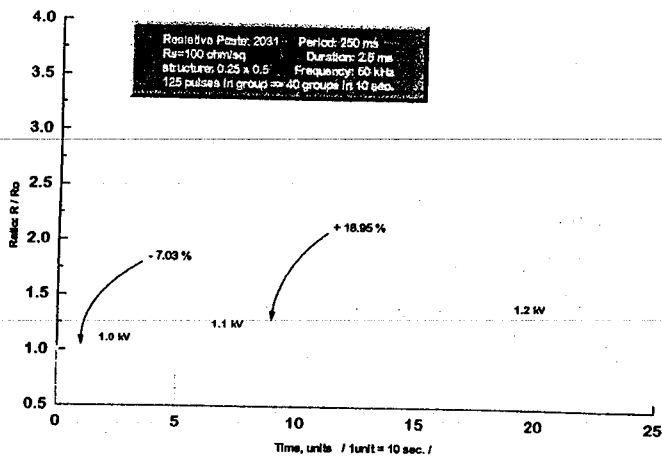
нисък шум

- ниска чувствителност към върховата температура на изпичане
- малки изменения в съпротивлението и TCR при повторно прилагане на висока температура
- съвместими предимно с проводящи паста на базата на Ag/Pd и Ag/Pt
- препоръчителна геометрия на резисторната структура  $1.0 \times 1.0 \text{ mm}^2$ , при дебелина на слоя  $20 \mu\text{m}$ .

Както вече бе споменато, най-често използваните резистивни паста при хибридните интегрални схеми имат листово съпротивление съответно:  $100 \Omega/\square$ ,  $1 \text{ k}\Omega/\square$  и  $10 \text{ k}\Omega/\square$ . Победението им при прилагането на високоволтови импулси е както следва:

### 1/ Дебелослойни резистори с $R_s = 100 \Omega/\square$ .

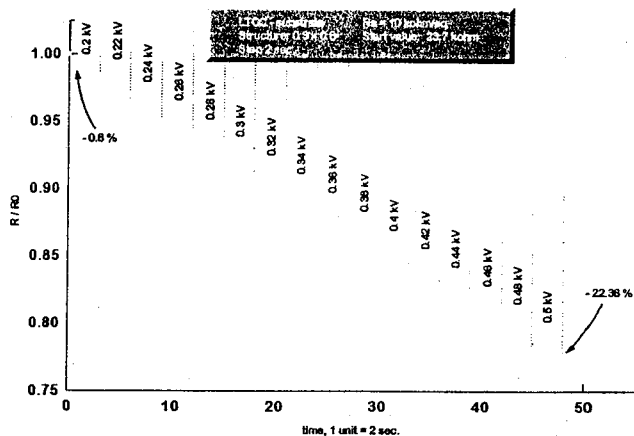
Тук се наблюдава нарастване на съпротивлението. Това може да бъде обяснено с проводящия механизъм при нискоомните резистори, основан на верижно свързаните проводящи частици. Във всяка една от верижните структури се съдържат слаби точки (частици), които могат да бъдат разрушени чрез високоволтов импулс.



Промяната на съпротивлението е добре да се ограничава до 40%. След тази стойност градиентът на чувствителността към импулсите нараства силно.

## 2/ Дебелослойни резистори с $R_s = 10k\Omega/\square$ .

Съгласно проводящия механизъм, поведението на тези резистори е съвършено различно от тези с  $R_s = 100\Omega/\square$ . Тук съпротивлението намалява, като най-съществените изменения настъпват след преминаването на първия импулс, а следващите импулси предизвикват малки изменения.



Това интересно поведение се дължи на следните причини:

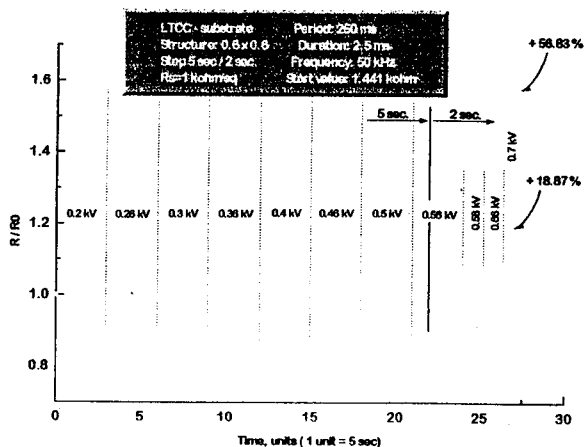
- йонизация на полупроводящите съединения (възли)
- съединяването на съседни проводящи частици до формирането на нови верижни връзки. Именно това е доминантният фактор, способстващ за намаляването на съпротивлението.

С повишаването на броя и амплитудата на импулсите, преминаващи през структурата, отделните проводящи вериги започват да се свързват в паралел помежду си. След първия импулс настъпва възстановяване на дефектите и промяната е най-съществена. Настройката е добре да се осъществява чрез прилагането на единични импулси с

постепенно нарастваща амплитуда, докато разликата со крайната стойност се сведе до 3%. След това точната стойност може да бъде постигната чрез прилагането на импулси с постоянна амплитуда.

### 3/ Дебелослойни резистори с $R_s = 1k\Omega/\square$ .

Този тип резистори умишлено се споменава на последно място. Поведението му при настройката комбинира това при изброените вече два случая.



Първоначалните импулси предизвикват промени, като тези при резисторите с  $R_s = 10k\Omega/\square$ . При това стойността може да бъде сведена до  $-12\% \div -16\%$ , т.е. възможно е да се възстановят всички дефектни позиции в структурата метал-дielekтрик-метал. При преминаването на по-голям брой импулси през структурата, стойността на съпротивлението започва да нараства. Причините за това са аналогични на тези при резисторите с  $R_s = 100\Omega/\square$ .

### 3/ Заключение.

Полупроводящите зони в структурата на дебелослойните резистори са в основата на метода за настройка. Тяхната трансформация (изменението на структурата им) е определяща за промяната в стойността

на съпротивлението. В зависимост от процентното съотношение на съставките в резистивните пасти (на базата на  $RuO_2$ ) и най-вече от количественото съдържание на стъкло в композита се наблюдават различни поведения в стойността на съпротивлението при прилагане на високоволтови импулси.

Броят на импулсите, както и тяхната амплитуда са доминантния фактор при настройката на съпротивлението. Те имат своите специфични стойности за различните видове резистивни пасти.