

ABCD Parametreleri Kullanılarak Modelleme ve Parametre Kestirimi

Hüseyin Anıktar
TÜBİTAK BİLGEM
huseyin.aniktar@tubitak.gov.tr

Özet: Modelleme ve parametre kestirimi çip ölçümlerinde önemli konulardan biridir. Malzeme özelliğini belirlemek için izlenen genel yöntem, ölçümü yapılacak malzemenin S-parametrelerini ölçmek, ölçüm düzeneğinin parazitiklerini yapılan ölçüm sonucundan çıkarmak şeklindedir. Bu çalışmada iki aşamalı klasik ölçüm işleminin tek ölçüm ile yapıp yapılamayacağını araştırılmaktadır.

Abstract: Modeling and parameter extraction is one of the important tasks on-wafer measurements. General methodology to define the component parameters is to measure the S-parameters of the test structure then de-embedding of the parasitics and finally extraction of the component parameters. In this paper, the question of how can be extracted component parameters without de-embedding is investigated. To investigate this, first, some theoretical analyses are performed then some measurements and lastly parameter extractions with de-embedding and without de-embedding are performed.

1. Giriş

Bir modelleme için malzeme karakteristiklerini tam olarak belirleyebilmek, tüm önemli malzeme parametrelerini ölçüm bilgisinden çıkarmayı gerektirir. RF model parametrelerini çıkarmak için, özel olarak geliştirilmiş test yapıları kullanılmıştır. Ayrıca, ölçülmüş ham bilgiden parazitik etkileri çıkararak gerçek malzeme karakteristiklerine ulaşabilmek için de-embedding metodu kullanılmıştır [1].

Farklı kalibrasyon test yapıları için farklı de-embedding teknikleri geliştirilmiştir. Burada açık ve kısa devre kalibrasyon test yapıları için farklı de-embedding teknikleri sunulmuştur. Burada gösterilen iki aşamalı de-embedding teknikleri RF ölçümlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. İki aşamalı de-embedding prosedürü aşağıda verilmiştir [1]:

- i- S-parametrelerini ölçün: S-parameters (Stest_structure, Sopen, Sshort). Ölçülen S- parametrelerini, Y-parametrelerine çevirin: Y-parameters (Ytest_structure, Yopen, Yshort).
- ii- Ytest_structure ve Yshort parametrelerinden aşağıdaki denklemleri kullanarak paralel parazitikleri çıkarın. Birinci aşama de-embedding.

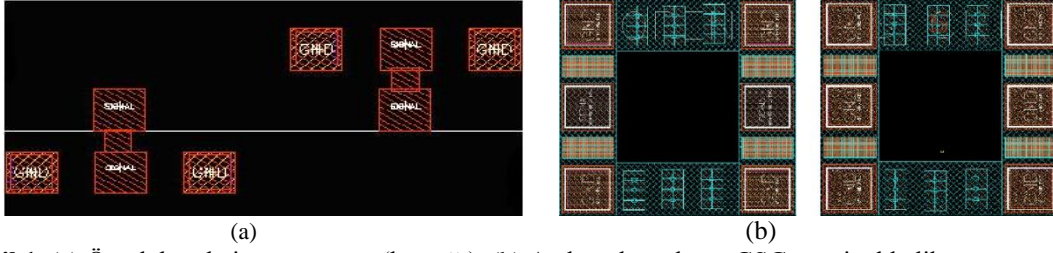
$$Y_{\text{test_structure1}} = Y_{\text{test_structure}} - Y_{\text{open}} \quad , \quad Y_{\text{short1}} = Y_{\text{short}} - Y_{\text{open}} \quad (1)$$

- iii- Aşağıda verilen denklem kullanılarak, seri parazitik Zshort1 'ı Ztest_structure1 den çıkaralım. Zshort1, Yshort1 den elde edilir. Ztest_structure1, Ytest_structure1 den elde edilir. İkinci aşama de-embedding.

$$Z_{\text{component}} = Z_{\text{test_structure1}} - Z_{\text{short1}} \quad (2)$$

Zcomponent, malzemenin ölçüm bilgisidir, parazitikler çıkarıldıktan sonra. Bu çalışmada ilk olarak malzeme parametreleri Y-parametreleri kullanılarak iki aşamalı de-embedding ile elde edilir. Daha sonra aynı malzeme parametreleri ABCD-parametreleri kullanılarak de-embedding yapılmadan çıkarılır. Son olarak bu iki yöntem figürlerle karşılaştırılır.

On-wafer ölçümlerinde, ölçüm düzeneği VNA (vector network analyser) ve prop istasyonundan (probe station) oluşur. Ölçüm düzeneğinde GSG (Ground-Signal-Ground) terminalleri ölçüm için kullanılır (Bakınız Şekil 1b). Ölçüm düzeneği farklı uzunluklardaki bondwire ölçümleri için hazırlanmıştır. Bu çalışmada sunulan teknik bondwire ölçümleri ile karşılaştırılacaktır. Bondwire telleri tekil terminallere bağlanmıştır. Bondwire teli altın ve çapı 0.001 inç tir. Bir tane test yapısı Şekil 1a de gösterilmiştir. Ölçümlerde dört tane farklı uzunluklardaki bondwire teli için test yapıları hazırlanmış ve kullanılmıştır. Her test yapısı için, terminaller arasındaki mesafe 393.61um, 1.1639mm, 1.9358mm ve 2.407mm şeklindedir. Terminal büyüklükleri ise 86um x 86um (Bakınız Şekil 1a ve 1b). Şekil 1b de, open and short GSG calibration test structures are illustrated.

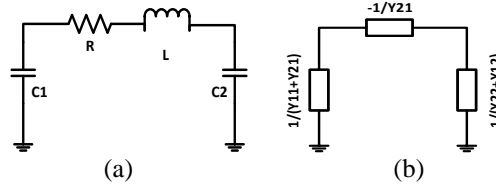


Şekil 1. (a) Örnek bondwire test yapısı (kırmızı). (b) Açık ve kısa devre GSG terminal kalibrasyon yapıları.

2. Bondwire Modeli

A. Y-parametreleri ile Modelleme:

Bu metotta ilk olarak bondwire test kırmığının S-parametreleri ölçülür. Daha sonra açık ve kısa devre kalibrasyon kırmıklarının S-parametreleri ölçülür. Açık ve kısa devre kalibrasyon kırmıklarının ölçülen S-parametreleri, bondwire test kırmığının ölçülen S-parametrelerinden çıkarılır. Bu yöntem iki aşamalı de-embedding metodudur. Böylelikle kırmık pad lerinin parazitik etkileri çıkarılmış olur ve sadece bondwire in S-parametrelerine ulaşılır. Bondwire test kırmığının modeli Şekil 2a da verilmiştir.



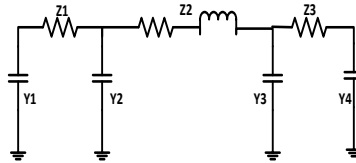
Şekil 2. (a) Bondwire test kırmığı modeli. (b) Y-parameter modeli.

Şekil 1a de gösterilen test yapısının(kırmığının) terminalleri paralel kapasiteler (C1 ve C2) olarak Şekil 2a da modellenmiştir. Bondwire teli ise seri direnç ve bobin (R ve L) olarak Şekil 2a da modellenmiştir. C1, C2, R ve L eleman değerlerini belirlemek için Şekil 2b de verilen Y-parametre modeli kullanılmıştır [2]. Y-parametreleri kullanılarak eleman değerleri 3 nolu denklemler kullanılarak belirlenir.

$$\omega L = \text{Im}\left(-\frac{1}{Y_{21}}\right), \quad R = \text{Re}\left(-\frac{1}{Y_{21}}\right), \quad C1 = \frac{Y_{11} + Y_{21}}{j\omega}, \quad C2 = \frac{Y_{22} + Y_{12}}{j\omega} \quad (3)$$

B. ABCD-parametreleri ile Modelleme:

Bu yöntem ile bondwire test kırmığının S-parametre ölçümünün yeterli olması beklenir. Açık ve kısa devre test kırmıklarının ölçülmesi ve de-embed edilmesine ihtiyaç olmaması beklenmektedir. Bunun için bondwire test kırmığının çok iyi ve detaylı bir şekilde modellenmesi gerekir. Şekil 3 de bu modelleme gösterilmiştir.



Şekil 3. ABCD parametre kestirimi için detaylı bondwire test kırmığı modeli.

Y1 ve Y4 elemanları GSG terminallerinin paralel kapasitelerini temsil etmektedir. Bu iki kapasite eşlenik kabul edilip $j\omega C1$ ile modellenebilir. Z1 ve Z3 GSG prop terminalinin seri direncini temsil eder (Bakınız Şekil 1a). Bu iki direncin eşit ve değerinin R1 olduğu kabul edilebilir. Y2 ve Y3, bondwire telinin bağlandığı terminallerin paralel kapasitelerini temsil eder ve birbirine eşlenik olup $j\omega C2$ ile temsil edilebilir. Z2 kompleks direnç ise bondwire telinin direnç ve bobinini temsil etmektedir. Bu model için ABCD parametreleri şöyle ifade edilebilir:

$$ABCD = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & Z1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & Z2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & Z3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y4 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$A = (1 + j\omega R1C2)(1 + j\omega R1C1) + [j\omega C2 + j\omega C1(1 + j\omega C2R1)][Z2 + R1(1 + j\omega C2Z2)] \quad (5)$$

$$B = R1(1 + j\omega R1C2) + [Z2 + R1(1 + j\omega Z2C2)][1 + JWR1C2] \quad (6)$$

$$C = [j\omega C1 + j\omega C2(1 + j\omega C1R1)][1 + j\omega C1R1] + [j\omega C2 + j\omega C1(1 + j\omega R1C2)][j\omega C1Z2 + (1 + j\omega C1R1)(1 + j\omega Z2C2)] \quad (7)$$

$$D = R1[j\omega C1 + j\omega C2(1 + j\omega C1R1)] + (1 + j\omega C2R1)[j\omega C1Z2 + (1 + j\omega C1R1)(1 + j\omega C2Z2)] \quad (8)$$

S-parametreleri ölçüm ile elde edildikten sonra A, B, C ve D değerleri aşağıdaki formüllerle elde edilebilir [3, 4]:

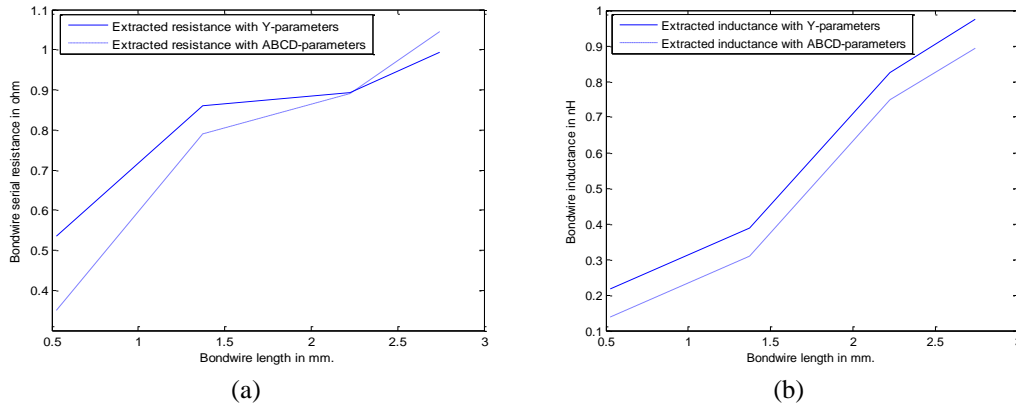
$$A = \frac{(1+S11)(1-S22)+S12 S21}{2 S21} \quad B = 50 \frac{(1+S11)(1+S22)-S12 S21}{2 S21} \quad (9)$$

$$C = 0.02 \frac{(1-S11)(1-S22)-S12 S21}{2 S21} \quad D = \frac{(1-S11)(1+S22)+S12 S21}{2 S21} \quad (10)$$

Böylelikle elimizde dört bilinmeyenli (C1, R1, C2 ve Z2) dört denklem (5, 6, 7 ve 8) oluşur. Teorik olarak eğer bu denklemler lineer bağımsız ise, bu bilinmeyenler çözülür ve dolayısıyla de-embedding ihtiyacı kalmamış olur.

3. Ölçüm Sonuçları

Dört farklı uzunluktaki bondwire teli için hazırlanan test kırmıkları üzerinden bu farklı uzunluktaki teller ölçülmüştür. Bondwire direnç, bobin ve terminal kapasiteleri ölçümler ile belirlenmiştir. Bondwire tellerinin direnç ve bobin değerleri önce Y-parametreleri ile de-embedding yapılarak belirlenmiştir. Daha sonra aynı değerler ABCD-parametreleri ile belirlenmiştir. Sonuçlar Şekil 4a ve 4b de verilmiştir.



Şekil 4. (a) Bondwire direnci: Y- ve ABCD- parametreleri. (b) Bondwire bobini: Y- ve ABCD- parametreleri.

4. Sonuç

Bu çalışmada bondwire telinin direnç ve bobin değerleri Y- ve ABCD- parametreleri kullanılarak belirlenmiştir. ABCD- parametreleri kullanılarak bilinmeyenlerin belirlenmesi için 5, 6, 7 ve 8 numaralı denklemler çözülmeye çalışılmıştır. Ancak çözüm bulunamamıştır. Bu denklemlerin lineer olarak birbiri ile bağıntılı olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla dört bilinmeyen için elimizde dört lineer bağımsız denklemin mevcut olmadığı belirlenmiştir. Çözüme ulaşmak için bazı bilinmeyenler önceden değerleri ölçümle belirlendiği için denkleme girdi olarak verilmiş ve sonuca ulaşılmıştır. Bunlar, C1 65fF (terminal kapasitesi ölçüm ile belirlendi) ve R1 16.6mΩ (Sheet direnci hesapla belirlenmiştir, metal5 layer UMC 0.25um 1P5M process). Şekil 4a ve 4b de elde edilen sonuçlar bu kabuller doğrultusunda denklemlerin çözümleri ile elde edilmiştir.

Bu ölçüm ve hesaplama sonuçları doğrultusunda, C2 kapasitesi 122.7fF olarak Y-parametreleri ile ve 112.34fF olarak ABCD-parametreleri ile belirlenmiştir. Şekil 4a ve 4b de bondwire tel parametreleri ABCD ve Y parametreleri ile birbirlerine çok yakın olarak elde edilmiştir. ABCD parametreleri ile sonuçların elde edilebilmesi için C1 ve R1 değerleri denkleme verilmiş bu da bir nevi de-embedding anlamına gelmiştir.

Kaynaklar

- [1]. T. Ytterdal, Y. Cheng ve T. Fjeldly, "Device Modeling for Analog & RF CMOS Circuit Design", Wiley & Sons, 2003.
- [2]. Jimmy Hoang, Ryan Lee, "Microwave Wirebond Model from Die to Laminate", Rapor, 20 Şubat 2004, Skyworks Inc.
- [3]. David M. Pozar, *Microwave Engineering*, 2nd Basım, John Wiley & Sons, New York, 1998.
- [4]. Joseph F. White, *High Frequency Techniques: An Introduction to RF and Microwave Engineering*, John Wiley & Sons, New Jersey, 2004.