

神谷 庄司

名古屋工業大学大学院工学研究科  
教授

高密度多層配線・三次元積層構造における局所的機械強度の計測手法の開発

## § 1. 研究実施体制

### (1) 名工大グループ

- ① 研究代表者: 神谷 庄司 (名古屋工業大学大学院工学研究科、教授)
- ② 研究項目
  - ・半導体デバイス配線のサブミクロン局所機械強度評価
  - ・局所強度マッピングおよび配線結晶組織と機械特性の相関調査
  - ・寿命予測と設計スキーム確立

### (2) 慶應グループ

- ① 主たる共同研究者: 大宮 正毅 (慶應義塾大学理工学部、准教授)
- ② 研究項目
  - ・結晶粒構造を考慮した弾塑性き裂進展解析手法の検討
  - ・TCAD シミュレータによる成膜プロセス中の応力解析

## § 2. 研究実施の概要

私達は、構造物を安全に設計・運用する機械工学の観点から、先進エレクトロニクスデバイスの研究を行ってきました。9年前に集積回路多層配線構造の破壊が報告されてから<sup>[1]</sup>、大規模集積回路の製作過程において破壊が頻発するようになり、多くの学会で盛んにその原因が議論されるようになってきました。デバイスの材料、特に弱点となる積層界面の強度評価には、四点曲げ試験と呼ばれる方法がよく用いられ、試験片の寸法は幅数ミリ長さ数十ミリ程度ですが、実際の配線の構造寸法は最近の高集積化に伴って配線一本が数十ナノメートルまで小さくなっています。しかし、これまで数十ナノメートルの大きさの構造物が持つ強度を直接計測する方法は確立されていません。そこで我々は、電子顕微鏡の中にナノインデントといわれる微小な荷重や変位を与える装置を設置して、実際にナノスケールの構造強度を評価することを可能にするシステムを開発しました。このシステムは、実際の集積回路サンプルを集束イオンビームによりナノメートルの精度で加工して強度試験のための試験片を作製し、そのまま強度試験を行うことが可能な、ナノスケールの機械工学を実践するための新しいプラットフォームです。

銅配線は銅の結晶が複数集まったもので構成されています。従ってサブミクロンサイズに作られた配線では、大きな銅のかたまりとは違って、結晶粒や粒界の寸法が人工的に作られた構造の寸法に肉迫しています。我々は、多層配線構造で特に機械的に弱いことがしばしば問題視されている配線上面と絶縁層界面の強度を、世界で初めて 100 ナノメートルレベルのスケールで評価することに成功しました。その結果、小さい領域では塑性変形の規模が制限されるために少ないエネルギーで破壊が進行すること、結晶面方位に依存して強度が大きく変化すること、さらに粒界の存在により強度がさらに低下すること、が次々と明らかになってきました。このことは、デバイスが先述した四点曲げ試験片で得られた巨視的な平均強度で設計されていても、ある確率で存在する局所的な低強度領域を起点として破壊し得ることを示唆する、重要な結果です。

上述の強度変化の法則を解明するためには、その物理的基礎としての界面の結合を分離するために必要なエネルギーと、材料の機械的塑性変形に消費されるエネルギーとを、分離して扱うことが重要と考えられます。このため我々は、結晶微小領域における結晶塑性特性を考慮した破壊の数値シミュレーション手法を開発し、実験結果に基づく界面結合エネルギーの評価を結晶組織に基づく強度分布と破壊リスクの理論的予測につなげる、新しい機械工学体系の可能性を追求してさらに研究を進めています。さらに、TCAD と呼ばれる配線の設計ツールに、本プロジェクトで得られた知見を加えることで、設計段階から製品の信頼性として多数のうち破壊するものの確率を定量化するような新しいナノレベル機械工学を組み込むことも視野に入れています。

[1] Charles Odegard, Tz-Cheng Chiu, Cheryl Hartfield, Vish Sundararaman, Dielectric Integrity Test for Flip-Chip Devices with Cu/Low-K Interconnects, Proceedings of ECTC2005 55 (2005) 1163-1171.

### § 3. 成果発表等

#### (3-1) 原著論文発表

##### 論文詳細情報(国際)

1 Nobuyuki Shishido, Yuka Oura, Hisashi Sato, Shoji Kamiya, Kozo Koiwa, Masaki Omiya, Masahiro Nishida, Takashi Suzuki, Tomoji Nakamura, Takeshi Nokuo, Toshiaki Suzuki, "Crystal orientation effect on local adhesion strength of the interface between a damascene copper line and the insulation layer", *Microelectronic Engineering*, (in press).

2 Chuantong Chen, Nobuyuki Shishido, Shoji Kamiya, Kozo Koiwa, Hisashi Sato, Masaki Omiya, Masahiro Nishida, Takashi Suzuki, Tomoji Nakamura, Takeshi Nokuo, Toshiaki Suzuki, "Evaluation for interface strength fluctuations induced by inhomogeneous grain structure of Cu line in LSI interconnects", *Microelectronic Engineering*, (in press).

3 Masaki Omiya, Kozo Koiwa, Nobuyuki Shishido, Shoji Kamiya, Chuantong Chen, Hisashi Sato, Masahiro Nishida, Takashi Suzuki, Tomoji Nakamura, Toshiaki Suzuki, Takeshi Nokuo, "Experimental and numerical evaluation of interfacial adhesion on Cu/SiN in LSI interconnect structures," *Microelectronics Reliability*, Volume 53, Issue 4, April 2013, Pages 612-621.(DOI: 10.1016/j.microrel.2012.12.009)

#### (3-2) 知財出願

- ① 平成25年度特許出願件数 (国内 0 件)
- ② CREST 研究期間累積件数 (国内 2 件)