

課題番号 : F-18-OS-0053  
 利用形態 : 技術代行  
 利用課題名(日本語) : レーザーテラヘルツ放射顕微鏡による半導体デバイスの故障評価  
 Program Title (English) : Failure evaluation of semiconductor devices by laser terahertz emission microscope  
 利用者名(日本語) : クリストフ ヤコブス<sup>1</sup>、村上博成<sup>2</sup>  
 Username (English) : K. J. P. Jacobs<sup>1</sup>、H. Murakami<sup>2</sup>  
 所属名(日本語) : IMEC<sup>1</sup>、大阪大学レーザー科学研究所<sup>2</sup>  
 Affiliation (English) : IMEC<sup>1</sup>、Institute of Laser Engineering, Osaka University<sup>2</sup>  
 キーワード/Keyword : 膜加工・エッチング、半導体デバイス、レーザー、テラヘルツ、顕微鏡

### 1. 概要(Summary)

半導体デバイスの非破壊・非接触な検査が可能なレーザーテラヘルツ放射顕微鏡(LTEM)を使って Si/Ge 系半導体デバイスの配線の断線の有無によるテラヘルツパルス放射特性について調べた。

### 2. 実験(Experimental)

#### 【利用した主な装置】

集束イオンビーム装置

#### 【実験方法】

半導体デバイスの非破壊・非接触な検査が可能なレーザーテラヘルツ放射顕微鏡(LTEM)を開発している。[1] このLTEMを使って Si/Ge 系半導体デバイスの配線の断線の有無によるテラヘルツパルス放射特性について調べる。

### 3. 結果と考察(Results and Discussion)

本研究は最終的に 3D チップ内のスルーシリコンビア(TSV)からのテラヘルツ波放射の観測を目的としている。Fig. 1 は、その原理を概略的に示している。フェムト秒レーザーパルス照射により発生する THz パルス波形は TSV 自体およびその周辺の欠陥・損傷やこれと接続する電極の電氣的接続状態の不良など

によってその波形が変化する。今回の研究においては、その手始めとして 3D-IC 表面付近の配線の断線の有無や電氣的損傷による THz 波パルスの変化の様子を観察することを試みた。

測定では、IMEC の最先端クリーンルームにおいて予め準備された数種類の TSV テストデバイスが用いられた。また実験では波長 780 nm のフェムト秒レーザー光源を使用した。

代表的な実験結果を Fig. 2 に示す。今回の実験では集束イオンビーム装置を使った配線の断線の有無による明確な違いは観測されなかったが、デバイス動作中に生じた内部あるいは表面付近における電氣的損傷発生前後の Si 系 3D デバイスの LTEM 像、THz パルス時間領域波形、電気特性において顕著な違いが観測された。Fig. 2 から、電氣的損傷に伴い発生した電流-電圧特性の変化と同時に、観測される THz 時間領域波形および LTEM 像がともに変化している様子がわかる。またこのような違いは光学顕微鏡像からは明確には確認できないこともわかる。なお、今回のこの LTEM に関する観察はデバイスに電圧などを印加することなく全て非破壊・非接触状態で行われた。

今回は、光源のレーザー波長が 780 nm に限られていたこともあり、TSV をフェムト秒レーザーで直接励

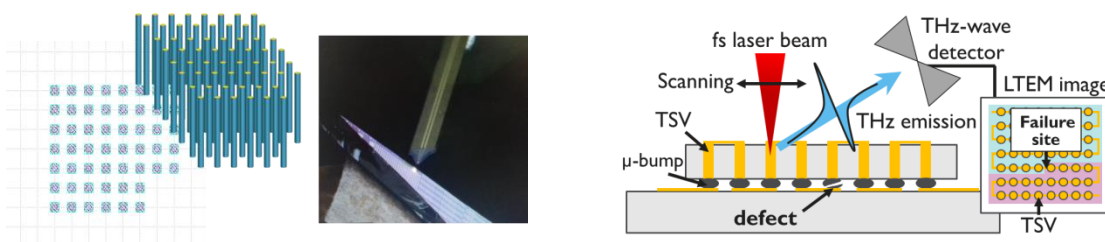


Fig.1 A schematic of TSV array consisting of 60 TSVs for LTEM exploration (left) and LTEM measurement configuration on sample indicating near-field sensing(right).

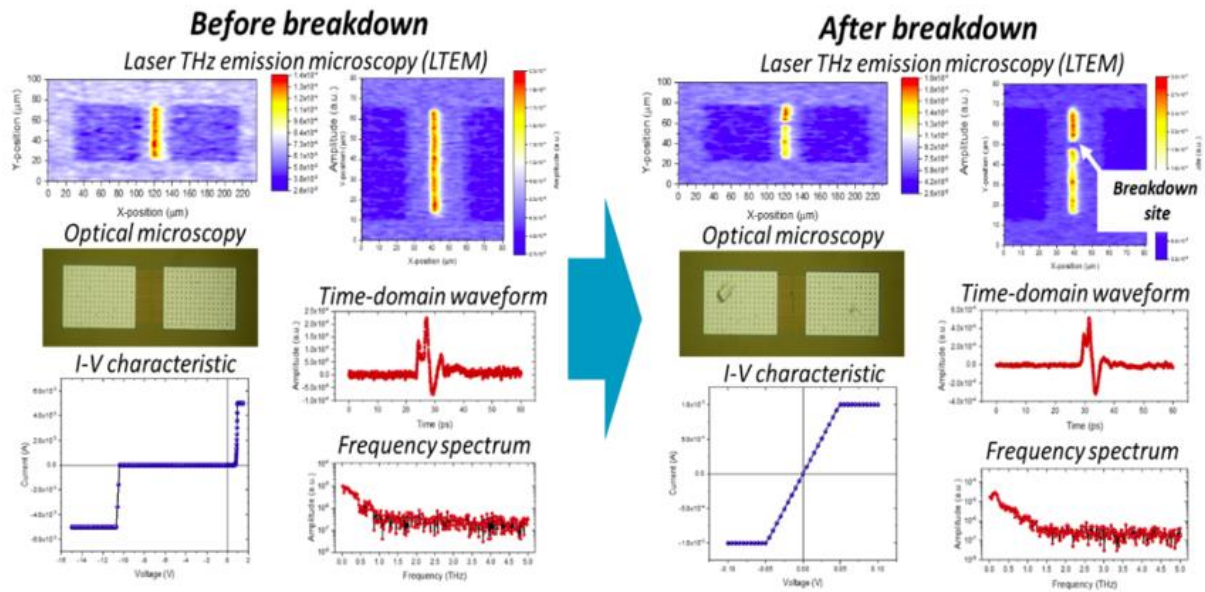


Fig. 2 LTEM results and electrical properties on Si diode before and after electrical breakdown.

起した場合の故障箇所評価に関する実験はできなかったが、現在 TSV 周辺を直接かつ効率的に光励起可能な長波長（波長 1056 nm）のフェムト秒レーザー光源を用いた実験システムの構築を急いでいる。

今回 3D-IC において初めて得られた実験データをもとに論文執筆の準備が既に進められている。また、今回の共同研究の結果を受けて、現在 IMEC においても原理検証のためにより最適な試験チップの開発が進められている。このように本共同研究を通して、大阪大学－IMEC 間で実りある国際共同研究へのスタートを実質的に切ることができた。

さらに今後、本国際共同研究により LTEM による非破壊・非接触な手法で 3D-IC 内部の PN ダイオードのブレークダウンサイトなどの特定化などが実証できれば、半導体業界にもこれまでにない革新的な評価技術を提供できることが期待される。

#### 参考文献

[1] H. Murakami, et al., J. Phys. D: Appl. Phys. vol.47, 374007, 2014.

#### 4. その他・特記事項 (Others)

なし。

#### 5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

(1) K.J.P. Jacobs, J. De Vos, M. Stucchi, I. De Wolf, E. Beyne, “Open defect localization in 1x5 um 3-D TSV structures by light-induced capacitance alteration (LICA),” The 38th Annual NANO Testing Symposium, Tokyo, Japan, 19-20 Nov. 2018.

(2) K.J.P. Jacobs, “Localizing Manufacturing Defects in 3-D IC Technology by Scanning Photocapitance Microscopy,” 21st Optical Science Meeting for Young Researchers, Osaka Prefecture University (I-site), Osaka, Japan, 24 Nov. 2018.

(3) K.J.P. Jacobs, “Localizing Manufacturing Defects in 3-D IC Technology by Scanning Photocapitance Microscopy,” Invited Seminar at the Faculty of Systems Engineering, Wakayama University, Japan, November (2018)

(4) K.J.P. Jacobs, “Localizing Manufacturing Defects in 3-D IC Technology by Scanning Photocapitance Microscopy,” Invited Seminar at the Graduate School of Engineering, Department of Electrical and Electronic Engineering, Kobe University, Japan, October (2018)

#### 6. 関連特許 (Patent)

なし。