

# 2015年欧州マイクロ波会議 EuMW にて行われたセッション内容の報告 (測定技術関係)

柴田幸司<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 八戸工業大学工学部電気電子システム学科 〒031-8501 青森県八戸市大字妙字大開 88-1

E-mail: <sup>†</sup> shibata@hi-tech.ac.jp,

**あらまし** 2015年のヨーロッパマイクロ波会議 (EuMW2015) における一部セッション, 特に測定技術およびセンシング技術につきまとめた結果を下記に記す. 特に着目したのはキーサイトの企業によるセミナーでも焦点が当てられていたマイクロ波顕微鏡の改善のための測定技術などであり, その中でもたとえば EuMC09 ではマイクロ波顕微鏡 Microwave のセッションが組まれており, 能動回路 (トランジスタ, システム) の測定法のセッションも人気だった. また, マイクロ波医療応用なども注目されていた.

## 1. 測定技術関連

柴田幸司 (八戸工大)

本節では, マイクロ波およびミリ波帯での電磁波計測の技術動向を報告する. 従来の電磁波の照射による物体などの非破壊でのセンシングは自由空間への電磁波の放射や伝送線路を用いた技術が主流で, 解像度を向上するため波長との兼ね合いでミリ波の使用が前提であった. しかし近年, 測定物との静電容量を測定する近傍界プローブを応用した走査型マイクロ波顕微鏡の開発が活発化しており, その他も含め報告する.

### EuMC09 Nanoscale Characterization and On-Wafer

#### Calibration (5件)

マイクロ波顕微鏡の高性能化のためのセンサ部などの改善および, 半導体チップなどの評価のための On-Wafer校正法など5件の発表があり, EuMC09-1ではマイクロ波顕微鏡の基礎データとしてベクトルネットワークアナライザで2.5GHz帯にて金属板間2.5mmのギャップに対しプローブを走査し, 位相と振幅の変化を検出し可視化した結果 (University Lille 1, France), EuMC09-2では, ディエンベディングによりセンサと被測定物による $S_{11}$ を定義し, 静電容量と $S_{11}$ との関係を測定した結果 (CNR-IMM, Italy) EuMC09-3では, SEMでの走査のために4GHzまでの測定でコプレーナのプローブ先端の幅を $27\mu\text{m}$ で実現し, 3次元での移動量を10nm程度まで改善した結果 (University Lille 1, France) などの報告があった.

### EuMC11 Channel Measurement and Propagation (5件)

MIMOによる空間多重時の伝送特性の測定や電波伝搬に関し5件の発表があり, EuMC11-1ではミリ波帯でのレイレーシングによる都市での電波伝搬解析において, 電柱や道路標識などの影響を検討した結果

(Heinrich Hertz Institute, Germany), EuMC11-2では $2\times 2$  MIMOにて行列演算にSVDを用いない場合の様々な条件でのBERなどをSVDを用いた場合やSISOと比較

した結果 (Poly-Grames Research Center, Canada), EuMC11-3では, 短距離伝送のための $4\times 4$  MIMOを25GHz帯の矩形パッチアンテナで構成し各変調方式にて帯域幅やアンテナ間距離に対するBERなどを評価した結果 (NTT, Japan) などが報告された.

### EuMC18 Reflectometers and Millimeterwave

#### Characterization (5件)

主にミリ波帯におけるアンテナやSパラメータの測定法につき5件の発表があり, EuMC18-1ではミリ波帯およびサブミリ波帯の20dBiの送信ホーンアンテナからの75から110GHzの周波数帯の電磁波を2つのオフセットパラボラ反射鏡を介し, 放射時のガウシアンビームを同じく20dBiのホーンアンテナにて受信してアンテナの位置をxz面で変化時の受信振幅を観測し, コヒーレント放射時はアンテナの校正によりビームスポットは最小で8.4mm径にまで縮められることを示した成果 (IAF, Germany), EuMC18-2では280GHz帯でのロボットでのコントロールによるアンテナの放射パターンや利得を測定し, シミュレーション結果と比較や周囲に配置した吸収体の影響の検討結果 (University of Ulm, Germany), EuMC18-3では多層半導体の評価のため110GHz-220GHzの帯域におけるVNAに接続する小型の周波数コンバータと温度制御されたコルゲート導波管からトリプレートを介しCPWに変換されたプローブにてOn-wafer測定システムを構成し, これらをCPWのショートおよび4種類の遅延ショートからなる基準にて校正した結果, 低温度領域の $S_{11}$  が良好に測定できる成果 (Lake Shore Cryotronics, Inc., USA) などが報告された.

### EuMC24 Millimeter-Wave Imaging (5件)

本セッションでは電波を用いたイメージング技術に関し5件の報告があり, EuMC24-1では120-140GHzにてFM-CWによるパッチアンテナ素子を含むMIMOレーダをデュロイド基板上にマイクロストリップライン

にて構成し、測定データから7.5mmの解像度な2次元でのイメージングを実現した例 (Universit at Ulm, Germany), EuMC24-2では90GHz帯で帯域幅7.5GHzのMIMOシステムを実現し、1×4 MIMO構成で20mm解像度での2次元画像を取得した例 (FHR, Germany), EuMC24-3では75-110GHz帯にてホーンアンテナの12送信, 12受信のイメージングシステムを構成し、4.5mmの解像度でイメージングを実現した例 (IPM, Germany) などが報告された。

#### **EuMC34 Non-linear Measurements and Models (5件)**

マイクロ波帯における半導体素子の非線形特性の測定法に関し5件の報告があり, EuMC34-1では2トーンによる相互変調ひずみを利用し, 0.25  $\mu$  m GaN HEMTの $V_{gs}$ に対する $G_m$ , IMD出力電力特性などを7GHzまでの周波数にて-40~150°Cにわたる温度条件で測定し, 特性を解析した結果 (University of Manchester, UK), EuMC34-2では60Wの0.25  $\mu$  m GaN増幅器をパルスレダの送信出力の増幅に使用時のパルス間の安定度を定義し,  $V_g$ を変化させSバンドにて測定した結果 (MACOM, USA), EuMC34-3ではアダプティブ・サンプリングにて校正された非線形VNAを用い, 0-15GHzの広帯域での入力電力 $P_{in}$ および周波数変化に対するマイクロ波帯の増幅器のSパラメータや反射波形の時間波形を抽出し誤差解析の結果 (KU Leuven, Belgium) などが報告された。

#### **EuMC35 Focus Session on Advance in Scanning Probe Microwave and mm-wave Microscopy (5件)**

マイクロ波顕微鏡に関し5件の報告があり, EuMC35-1では方向性結合器を介してカンチレバー・プローブを用いた照射による1GHz帯の電磁波をインピーダンス整合したプローブで検知しRF入力に対し線形なDC出力を得つつ, これらの機器で構成したマイクロ波インピーダンス顕微鏡を走査させ物体表面の誘電率 ( $\epsilon$ ) や導電率 ( $\sigma$ ) の変化を感知し, 従来からある原子間力顕微鏡(AFM)の優れた空間分解能と組み合わせBTOなどの表面の高精度な2次元イメージングを実現した成果 (Univ. of Texas, USA), EuMC35-2では試料裏面から放射した電磁波とカンチレバー間の $S_{21}$ の測定による透過モードのイメージングシステムを考案し, 従来の反射波型のマイクロ波顕微鏡による物体表面の走査結果と比較し良好な結果を得た結果 (Keysight Technologies Austria, Austria), EuMC35-3では可変減衰器により調整可能な干渉計と組み合わせた走査型マイクロ波顕微鏡を用い7.8GHz帯にて基板上の静電容量等を校正した上で観測し2次元で可視化したところ, プラチナ製のプローブの先端がシャープなほど解像度が向上した成果 (Institut d'Electronique, de Microélectronique, France) などが報告された。

#### **EuMC37 Temperature Sensing and Modeling (5件)**

マイクロ波を利用した温度計などの開発に関し5件の発表があり, EuMC37-1では1-2GHz帯にてノイズソース, シールドされた超低雑音LNA, 検波器, PCBによる自己補対アンテナなどからマイクロ波放射計を構成し, 人体などの温度を想定し0.5°Cの精度で28-37°C程度の温度変化を観測した結果 (Duke University, USA), EuMC37-2では1.4GHz帯にて同様の構成でプリント基板上に折り曲げ構成されたダイポールアンテナと円形パッチの2種類のアンテナを用い検出した電圧を信号処理し, コンテナに充填した水の30-40°C程度の温度変化を0.5°Cの精度で観測した結果 (Univ. of Colorado, USA), EuMC37-3では60GHzでの放射計による人体の温度測定を想定し, 人体組織に対して1次元の熱輸送方程式により温度モデルを高速に解析し得る手法を示し, L=5, 10, 15mmのモデルにて0-3500Secの時間変化での0.35°Cの温度上昇に対し理論値と良好な結果が得られた成果 (ITER, France) などが報告された。

#### **EuMC40 Microwave Measurement Methods and Material Characterization (5件)**

マイクロ波帯の部品等に使用する材料の生成に必要なSパラメータや材料定数等の測定法に関し5件の報告があり, EuMC37-1では3ポートを有するデバイスのSパラメータの測定のため直接3ポートのSパラメータを校正する手法を提案し, 従来の2ポートによる校正法と測定不確かさなどを比較した結果 (METAS, Switzerland), EuMC37-2ではデジタル通信などで用いられる差動伝送にて動作する伝送線路や, このモードでの入出力ポートを有する部品の正しいSパラメータを最適化にて測定する手法の提案とシミュレーションによる検証, 反復法による測定結果と比較し, 提案手法の方が高速で確かな値を測定できた成果 (Konrad Technologies, Germany), EuMC37-3では $TM_{0m0}$ の円筒空洞共振器と摂動法によりPTFEなどの電子材料の複素誘電率の測定時に, 共振器への試料の部分挿入によるQ値の変化による本来の損失角を得るための提案と, 挿入する試料の長さなどに対する損失角の変化および, これを考慮した誘電率の実部と虚部への影響の検討結果 (The Mueller consultant, Japan) などが報告された。

#### **EuMC45 Biosensors (5件)**

生体を検知するセンサなどに関し, 5件の報告があり, EuMC45-1では40GHz帯でのマイクロ波による非熱性効果の確認のため, 円筒空洞共振器の一部に血液を充填し誘電率の変化を観測した例 (NASU, Ukraine), EuMC45-2ではKu帯のBiCMOSプロセスによる誘電体センサを付加した発振器を作成し, マイクロストリップラインの先端に微小な試料 (油脂および塩の濃度を変化させた血液) を配置し29GHz帯における発振周波

数の違いを観測した例 (IHP, Germany) , EuMC45-3では血管の疾患を発見のセンサとしてのコンフォーマルアンテナの提案と, 人体組織を模擬した30GHzおよび60GHz帯での $S_{11}$ などの変化のシミュレーション結果 (Ruhr-University, Germany) などが報告された.