

# マイクロプレーナ導波路を用いた差動TDRによる物質表面の誘電分光プローブの開発

Ref. Shirakashi, R., et al., Measurement Science and Technology, Vol. 24, No.2, 025501+10.

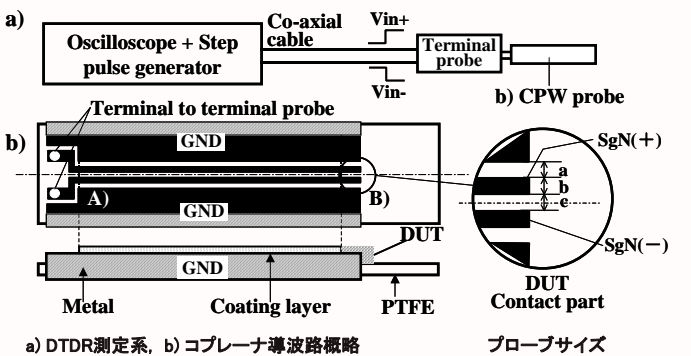
白樺 了(東京大学), 山田 純(芝浦工業大学), 平成22年度卒業論文 芝浦工業大学 小川 毅

## 研究概要

皮膚角質層に存在する結合水の定量的測定は、皮膚の健康状態の評価指標となりうるが、**角質層の厚さは、10~30 $\mu\text{m}$ にすぎないことから、皮膚表面近傍の角質層内の結合水量を測定可能な装置の開発が望まれる。**

本研究では、水分子の回転緩和時間を直接測定する手法である誘電分光を用いて、生体分子と結合状態にある水分子を、皮膚表面の限定された深さについて測定するプローブを開発し、その性能を評価した。すなわち、差動モードの高周波用のコプレーナ導波路をプローブとして用いて、導波路表面に電場を限定することで、被測定試料に作用する空間を限定した測定を行った。

## 反射波測定系とプローブ



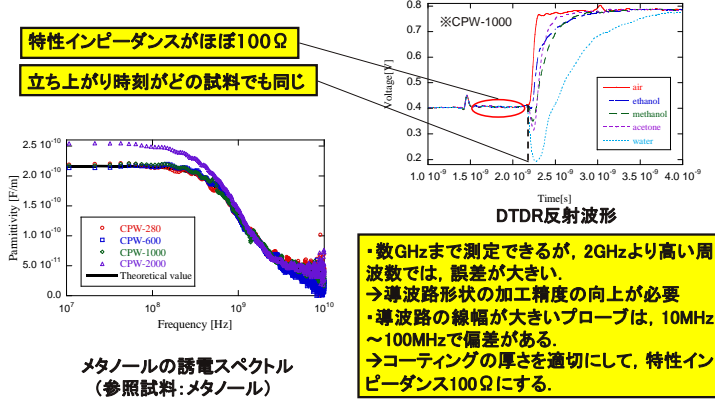
プローブサイズ

	a[ $\mu\text{m}$ ]	b[ $\mu\text{m}$ ]	c[ $\mu\text{m}$ ]
CPW-280	150	280	150
CPW-600	300	600	300
CPW-1000	300	1000	300
CPW-2000	1000	2000	1000

導波路の端部以外を低誘電率の材料で被覆して、特性インピーダンス(100 $\Omega$ )の整合をとり、開放端部がセンサーとなるプローブを構成する。

## 測定結果 (誘電スペクトル)

被測定試料: エタノール, メタノール, アセトン, 水



## 測定原理

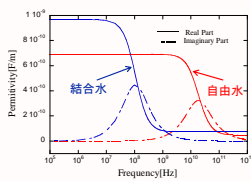
### ◆誘電分光

電気双極子をもつ分子に外部電場を印加し、分子の電場方向への追従性を複素誘電率として検出して分子の運動状態を誘電分散として測定する手法

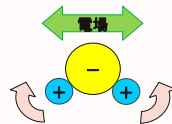
### ◆差動TDR (DTDR)

(Differential Time Domain Reflectometry)

被測定試料に逆位相の2つのステップパルスと同時に印加し、その反射波を周波数空間にフーリエ変換することで、複素誘電スペクトルを得る測定法

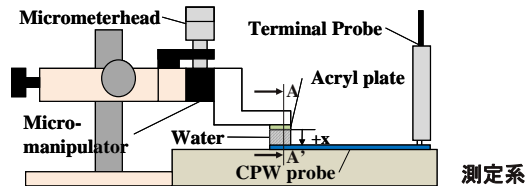
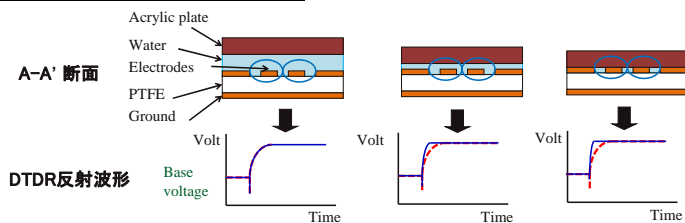


複素誘電スペクトル



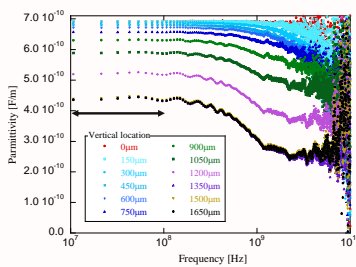
配向緩和特性  
周波数が高くなると分子の配向が追いつかなくなり、緩和が生じる

## 測定限界深さの計測原理



プローブ表面上の水を誘電率が水の1/10程度のアクリルで覆い、表面からアクリルまでの高さを変えて誘電率を測定し、アクリルの影響がなくなる高さ=測定限界深さを計測する。

## 測定限界深さの評価方法

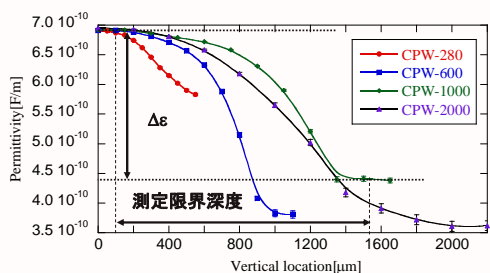


水膜厚さに対する誘電スペクトル (CPW-1000)

・アクリルがプローブ表面に近づくほど( $x$ が大きくなる)、低誘電体( $\epsilon_r=4$ )であるアクリルの影響で、全体の誘電率が低下する。

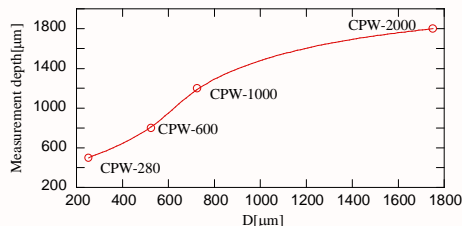
・10~100MHzの範囲は、水の誘電緩和の影響を無視できるので、誘電率の周波数分布がない。  
→10~100MHzの誘電率の平均値を基準として、測定限界深さを評価する。

## プローブ表面-アクリル表面に対する10~100MHzの平均誘電率



・50~100 $\mu\text{m}$ の高さの変化に対して $\epsilon_r$ の変化が $\Delta\epsilon_r$ の1/10以下になった位置の差を測定限界深さとした。  
・導波路間隔が細いプローブは、アクリルがプローブ表面に十分に接近できなかった可能性がある。

## 測定限界深さ



$D(=0.5*(a+b+c)/2)$ は導波路の中心線から、GND端部までの距離の半分

## まとめ

- ・導波路の幅を小さくするほど測定限界深さは浅くなる。
- ・導波路の形状誤差は、特性インピーダンスの不整合による多重反射を招くため、算出される誘電率スペクトルに振動性の誤差となって現れる。
- ・導波路のコーティングは、測定限界深さより十分厚くする必要がある。