
高周波薄膜近磁界プローブの開発

A Novel High Frequency Near Magnetic Field Probe

高 太好* 木村 祐一*

Futoyoshi KOU Yuuichi KIMURA

要 旨

ノイズ対策の検証ツールとして、微小寸法のループコイルを用いて、高空間分解能を有する近磁界プローブを2種類試作した。これはプリント基板上に搭載されるLSIのクロックの向上や電子部品の実装の高密度化により放射性ノイズのための対策(EMC規制)がますます困難になるためであり、また、1GHz以上の高周波においても、すでに規制の検討がなされ、早急に評価対策手段を導入する必要があるためである。

一つはプリント基板上に作製した1GHz対応のペン型プローブであり、被測定物に直接接触することができ、設計者が簡便に取り扱えるという利点を有する。もう一方は石英基板上に作製した高周波対応のアルミ薄膜のプローブで、26.5GHzまでノイズ周波数にほぼ比例した感度を有する。

これらのプローブを使用することで、PCB設計時のノイズ対策が可能になり、製品のEMC認定までの設計期間短縮が可能である。

ABSTRACT

Two types of near magnetic field probe of small size are developed so as to satisfy regulation of radiation noise for Electro-Magnetic Compatibility(EMC). Owing to the increase of the clock frequency of LSI and the high density mounting of electronic components on Print Circuit Board(PCB) it becomes more and more important to evaluate EMC effect.

One example is the pen-type probe formed on PCB substrate for below 1GHz, which can be directly contacting the inspecting parts of PCB and easily. The other is the thin aluminum film probe formed on quartz substrate. It has the nearly linear sensibility up to 26.5GHz.

Using these probes, PCB with low noise was designed and a short approval term to receive the product EMC authorization was realized.

* 研究開発本部 応用電子研究所 システム開発センター
System Development Center,
General Electric Research and Development Center,
Research and Development Group

1. 背景と目的

デジタルPPCやレーザープリンター、ファックス等の最近の製品装置に搭載されているPCB(Printed-Circuit-Board)ではクロック周波数の高速化や高密度実装化が進んでいるが、そのノイズ対策、特にEMC(Electro-Magnetic Compatibility)に関して課題が多く、現状では必ずしも有効な対策のための評価技術が確立していない。また、EMC規制については、今後とも適応周波数範囲の上限において、高周波化が進む¹⁾と考えられる。

ノイズ対策には局所電流を「見る」ことが重要で、近磁界プローブが有効である。従来用いられているプローブは空間分解能が悪く、設計検証ツールとして限界があった。

そこで本研究において、薄膜プローブを試作し、評価検証ツールとして開発を行った。

今回、安価なPCB基板上に作製したプローブを「ペン型」とし、部品を実装した回路基板等の被測定物に直接接触可能で設計者が取り扱いやすい構造とする事を目指し、開発を行った。この「ペン型」プローブについては、サンプルとした測定用PCB基板について得られたプローブによる近傍界データとEMC測定法の一つである3mサイトにおける遠方界での測定データを高調波周波数と強度分布の点で比較を行い、対策ツールとしての有効性の実証を試みた。

さらに、石英基板上に作製したプローブのコイル先端形状や伝送路を用いた損失の少ない設計を行って、プローブの高周波化を試みた。

本稿では開発を行った2種類のプローブの性能を示し、本プローブがEMC対策ツールとして有用である結果を示す。

2. 技術

2-1 実験装置及び方法

プローブは高周波磁界に対して、所望の検知感度をもつ薄膜型ループコイルと誘起された電圧を伝えるコープレーナ伝送路および同軸ケーブルへのパッド接続部からなる構成とした。

高周波磁界中ではループコイルの両端に電磁誘導の法則に従って、電圧が発生し、その電圧は被測定物(素子を搭載したPCB基板など)上に流れる素電流によって誘起された磁界の強度に比例して発生する³⁾。

そこで、プローブの設計に当たっては、コイル寸法を0.06mm~2mm角とすることで、ノイズの発生部を空間分解能高く特定可能な性能を有するプローブとしての開発を目指した。PCB基板型プローブでは銅を材料とし、その厚みは18 μ mとした。石英基板型プローブにおいて

は材料はAlとし、厚みを0.7 μ mとした。Table. 1に諸元を示す。

Table1 The Characteristics of Near Magnetic Field Probes

	基板	製法	コイル寸法	材料	コイル膜厚
PCB基板型プローブ	ガラスエポキシ基板(FR-4)	PCB製作工程	0.5mm~2mm角	銅	18 μ m
石英基板型プローブ	合成石英基板	薄膜成膜+フォトリソ工程(半導体作製工程に準ずる)	0.06mm~0.5mm角	Al(5N)	0.7 μ m

2-1-1 PCB基板型プローブ

PCB基板型プローブは安価なFR-4基板に構成した。作製プロセスは一般的なPCB基板作製法によって行った。プロセスの都合でコイル寸法は0.5mm~2mm角とした。Fig.1に性能評価に用いた評価装置を示す。

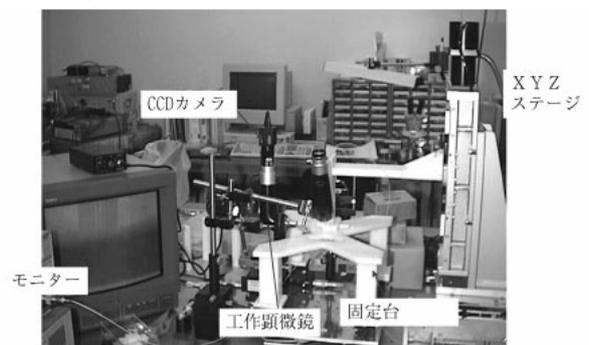


Fig.1 Test-Bench

周波数特性の測定には50 整合させたマイクロストリップ基板(BTレジン基板²⁾)を用いて行い、空間分解能の測定には0.15mm幅の孤立配線を有する基板(FR-4基板)を用いて行った。Fig.2に測定装置の略図を示す。

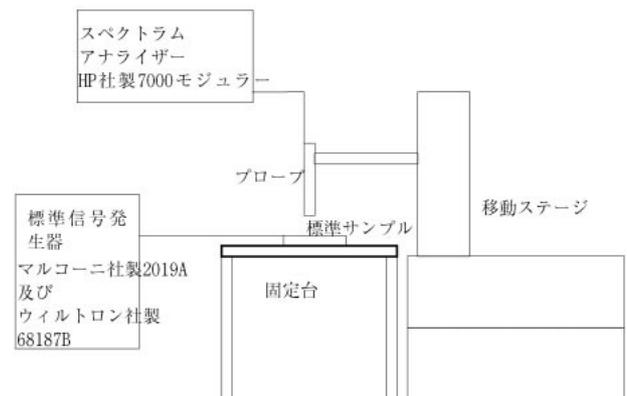


Fig.2 The Structure of Test-Bench

ついて操作性を高めるために「ペン型」に加工を行い、それについては測定対象である汎用ICを実装したPCB基板上に接触させて計測を行なった。同様の基板を3mサイトにおいて、遠方界で計測を行った放射電界強度の

結果と高調波周波数とその強度の点で比較を行い、“ペン型”プローブの性能評価とした。

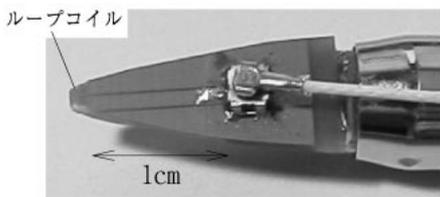


Fig.3 A Picture of the Pen-type Near Magnetic Field Probe

Fig.3にPCB基板型プローブを加工した“ペン型”プローブの写真を示す。

2-1-2 石英基板型プローブ

高周波化を目指したプローブは石英基板上に一般的な半導体プロセスに準じた作製方法を用いて作製した。Al薄膜をスパッタ法で成膜した後、フォトリソ工程後セミリジッドケーブルを実装して完成させた。コイル寸法は0.06mm~0.5mm角としたが、より微小コイルも可能である。

性能評価はFig.1の装置の発振源をより高周波発振が可能なものに変更した点と標準マイクロストリップ線路に実際に流れた電流値で換算した値で補正した点が異なる。空間分解能の評価についてもPCB基板型プローブ評価と同様であるが、製作したプローブの外形寸法精度からより近接させた距離での測定結果も得られた。Fig.4に今回開発したプローブの一例を示す。

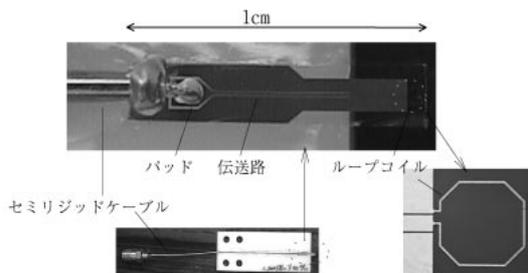


Fig.4 A Picture of the Quartz-Type Near Magnetic Field Probe

2-2 測定結果

2-2-1 PCB基板型プローブ

先に述べた標準としたマイクロストリップ基板での周波数測定結果をFig.5に示す。プローブと測定した基板間距離dを0.4mmとして計測を行なった。ほぼ周波数に比例した感度を得られており、電磁誘導の法則に一致している。また、CISPRの放射電磁界の規制範囲30MHz~1GHzの範囲内を十分カバーして、さらに高周波領域でも測定可能であることがわかった。

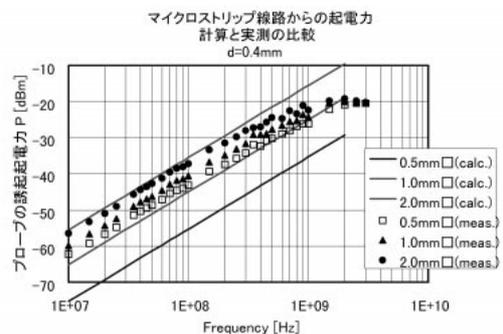


Fig.5 Frequency Characteristics of the PCB Type Near Magnetic Field Probe

但し、コイル寸法が0.5mm角のプローブの場合には計算結果と測定結果を比較して、測定結果のほうがより大きくなってきており、この差については、電界成分も検出していることが影響していると考えられる。

ノイズ領域を特定する性能評価については、ノイズ発生個所近傍でのプローブの出力の差をもって検知することを想定した。すなわち、標準とする孤立配線を有する基板を設定し、プローブとその基板間距離を一定として、プローブを孤立配線に対して直角方向に一定距離だけ、平行移動させ、得られた出力差Q [dB]を空間分解能とした。今回の評価では、先に述べた0.15mm幅の孤立配線基板を測定標準とし、平行移動距離を配線幅の2倍の0.3mmとした。Fig.6に結果を示す。プローブと基板間距離dは0.4mmとしている。

各コイル寸法のプローブについて、0.1dB以上の出力差Qが得られることが確認でき、PCB基板型プローブにおいても近磁界プローブとして十分な性能を有する事がわかった。

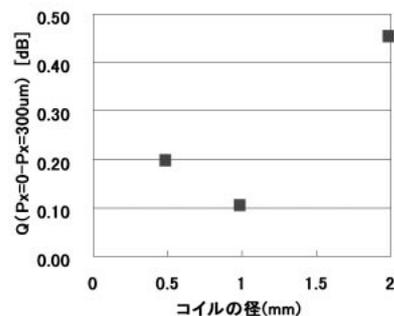


Fig.6 Spatial Characteristics of the PCB Type Near Magnetic Field Probe

今回、PCB基板上にプローブを作製する事で、今まで作製した石英型プローブに比べて、基板自体が破損しにくい構造とする事ができるようになった。操作のための“軸”に取付け、作製したPCB基板型プローブを“ペン型”とし、設計者が手軽に取り扱いやすい構造とする事ができた。

この「ペン型」プローブを用いて、サンプルとした汎用ICを実装した基板について、3mサイトにおける放射電界とプローブの測定結果の比較を行った。その結果をFig.7に周波数特性として示す。

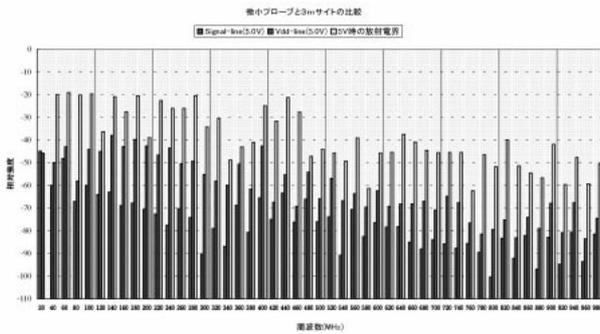


Fig.7 Frequency Characteristics of the Pen-Type Near Magnetic Field Probe's Measurement (Signal-line and Vdd-line) and Far Field Measurement by Antenna (3m)

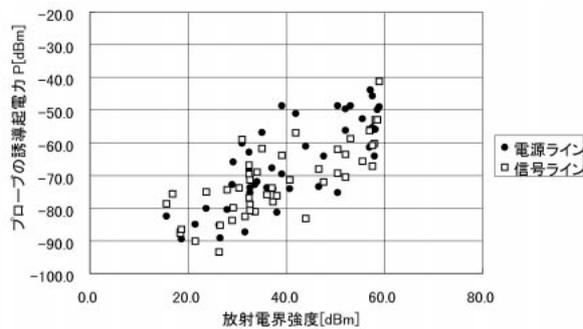


Fig.8 Correlation of the Pen-Type Probe's near Field Measurement and Far Field Measurement by Antenna (3m)

放射電界とICの電源ライン及び信号ラインのプローブによる検出信号において、動作クロック及びその高調波成分の周波数は一致した。

さらに、横軸に3mサイトにおける遠方界放射強度を取り、縦軸にICの電源ライン及び信号ラインのプローブによる検出信号を取ったときの相関をFig.8に示す。この図から両者には相関係数として、電源ラインでは0.78、信号ラインでは0.76が得られた。両者に強い相関が認められ、ノイズ源の特定に供するレベルにあることが確認できた。

2-2-2 石英基板型プローブ

EMC規制の高周波化に備えて、石英基板型プローブについて、ミリ波帯 (~30GHz) までの性能アップを目指した。高周波領域でのコイル先端形状や伝送路について損失の少ない設計を行い、同時にプローブからの信号伝達系の改良を行って、今回測定に用いたスペクトラムアナライザの周波数上限である26.5GHzまでほぼ周波数に比例した感度をもつ近磁界プローブを試作できた。標準マイクロストリップ基板での周波数測定結果をFig.9

に示す。なお、マイクロストリップ基板に実際に与えた電流値を計測して、プローブの出力感度の換算を行っている。

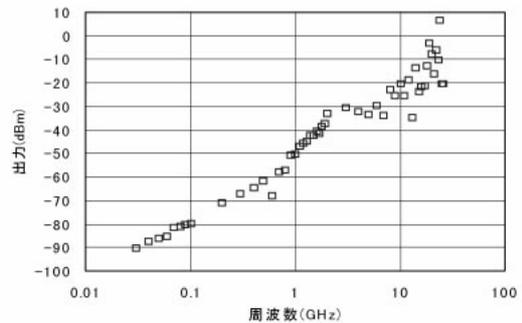


Fig.9 Frequency Characteristic of the Quartz-Type Near Magnetic Field Probe

また、標準孤立配線基板を用いて測定したコイル寸法と空間分解能の関係をFig.10に示す。ここでも、プローブを孤立配線に対して直角方向に平行移動させ、得られた出力差Q [dB]を空間分解能としている。コイル寸法を小さくするとその空間分解能が高まる結果が得られた。これに対し、Fig.6に示したようにPCB基板型プローブの結果ではコイル寸法と空間分解能の関係はそれほど顕著に効果が現れない。標準とした0.15mm幅の孤立配線基板サンプルに関しては、プローブと基板間距離d=0.4mmとした場合に、コイル寸法を0.5mm角以下としてはじめて空間分解能に差が現れると思われる。

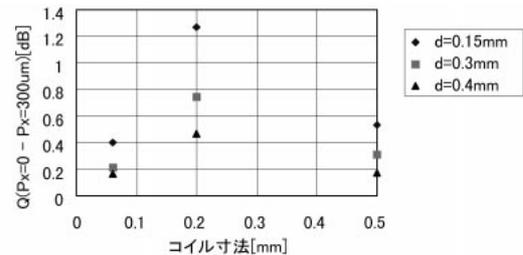


Fig.10 Spatial Characteristics of the Quartz-Type Near Magnetic Field Probe

実際、Fig.10に示すように石英基板型プローブにおいて測定距離を0.3、0.15mmとしてさらに距離を近接させたところ、出力差Qが高まる傾向が得られている。コイル寸法による空間分解能の差についても、0.5mm角より0.2mm角とする事で出力差Qは更に大きくなる。但し、0.06mm角とした場合には、出力差Qはそれほど得られない結果となった。これは得られる信号に対応するプローブの出力感度自体が小さくなるため、S/Nの点で不利になるためと考えられる。

2-3 考察

いずれのプロープの場合も一般的な性能を有するスペクトラムアナライザに本プロープを接続して、製品搭載PCBなどを計測する場合を想定して、必要とされる空間分解能を十分満足している。このため、ノイズ発生個所を特定し、対策を打ちたいなどの場合において、高い空間分解能が得られると考えられる。

今回各々のプロープの伝送路はコープレーナ線路とした。一般的な計算式(1)で計算を行なった。PCB基板型と石英基板型プロープのどちらについても、各周波数範囲で十分な周波数特性を有している事から、計算値との一致はよいと考えている。

$$Z = \frac{Z_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}}, \quad Z_0 = 1/4 \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0} \frac{K(k')}{K(k)}}$$
$$\epsilon_{eff} = 1 + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{K(k')}{K(k)} \frac{K(k_1)}{K(k_1')}$$
$$k = \frac{W}{d}, \quad k_1 = \frac{\sinh(\pi W / 4h)}{\sinh(\pi d / 4h)}$$

ϵ_r :比誘電率、 Z_0 : $\epsilon_r=1$ のときの場合の特性インピーダンス、 h :基板の厚さ、 W :中心導体の幅、 s :中心導体と接地導体間の距離、 μ_0 :真空の透磁率、 ϵ_0 :真空の誘電率、 K :第1種完全楕円積分、

$k = W/d, d = W + 2s, k' = \sqrt{1 - k^2}$ の関係がある。
.....計算式(1)

PCB基板型プロープについて、さらに周波数帯域を高周波側に伸ばすには、FR-4より高周波特性の良い基板(例えばBTレジン^{注1)})を用いることで可能と考えている。

3. 成果

製品搭載PCBのノイズ設計のうち特にEMC対策に有用な近磁界プロープを2種類試作した。

このうちPCB基板型プロープは操作性が良いので簡便なペン型プロープとして用いられる。

石英基板型プロープについては、PCB基板型プロープに比べてコイル寸法をより小さくでき、高周波特性に優れているので、ミリ波帯で動くMMICなど、非接触でさらに高空間分解能が必要な用途に適する。

これらのプロープが、PCB基板のEMC対策のための計測ツールとして十分な性能を有する事がわかった。今後製品に搭載されるPCB設計時から対策を容易にする、コスト低減に寄与できるプロープとしての可能性を確認できた。

4. 今後の展開

EMC計測ツールとしてのシステム化の充実を進めると同時に感度等の性能向上を目指す。その際、プロープに対する電界の影響の定量化やループコイル等について最適化を行なう。

測定ツールとしてのアプリケーションを明確にしてゆく。

謝辞

本プロープの開発、評価に当たり、ご協力をいただいたC・S・品質本部、および生産本部の関係各位に感謝いたします。また、参考測定用にプリポート搭載PCB基板をご提供いただいた東北リコー(株)の関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) Clayton R. Paul(原著)佐藤(監修)桜井(監訳): EMC概論, ミマツデータシステム(1996)pp.51-61
- 2) 赤尾: 環境電磁工学の基礎, 電子情報通信学会(1991)pp.1-21,249
- 3) Henry W. Ott(著)出口博一(監訳): 実践ノイズ遮断技法 増補改訂版)ジャテック出版(1990)pp.61-62
- 4) Yingjie Gao and Ingo Wolff: A New Miniature Magnetic Field Probe for Measuring Three-Dimensional Fields in Planar High-Frequency Circuits, IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, vol.44, no.6(June 1996)pp.911-918
- 5) 小西: マイクロ波回路の基礎と応用 総合電子出版社(1990)pp.71-72
- 6) C.P.Wen: Coplanar Waveguide: A Surface Strip Transmission Line Suitable for Nonreciprocal Gyromagnetic Device Applications, IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, vol.17, no.12,(December 1969)pp.1087-1090
- 7) G.Ghione and C.Naldi: Analytical Formulas for Coplanar Lines in Hybrid and Monolithic MICs, Electron Lett., vol.20, no.4,(February 1984)pp.179-181

注1) BTレジンは三菱瓦斯化学株式会社の商標です。