Fig. 1 Equivalent circuit.

(a) Amplitude

(b) Phase difference

Fig. 2 Theoretical gain and phase change.

Fig. 3 Vector diagram.

表した式である。

(3)式では Fig. 1 におけるデバイダ、コンバイナの端子の入力インピーダンスが 50Ω であることを考慮して閉回路に置き換えて求めた。

Fig. 4 Diagram of a circuit.

Fig. 5 Photograph of fabricated circuit.

Fig. 2 は外部から印加した磁界に対する Fig. 1 の出力電圧の振幅および位相の変化を (3) 式を用いて見積もったものである。Fig. 2 において振幅は $h=0$ (Oe) では上下のセンサ素子が同一のインピーダンスであるため無限小である。位相は外部磁界が零となる前後で 180 度変化するため、この領域を使用することで外部磁界に対して急峻な位相変化が得られ、高感度磁界計測に使用することに着目した。Fig. 3 はこのときの外部磁界の変化に伴う出力電圧の変化をベクトル図として表したものである。Fig. 3 には外部磁界を 3 Oe (238.8 A/m) と -3 Oe (-238.8 A/m) と変化させた際の V_1' と V_2' のベクトル的な足し合わせの関係を表している。センサ素子の抵抗分およびリアクタンス分の変化に対応して位相が変化し、磁界 0 の両側で位相が 180deg 変化することが了解される。

3. 実験方法

Fig. 4 はセンサの検出回路図を Fig. 5 は実際に試作した回路の写真をそれぞれ示したものである。この回路はプリント配線板上に中点タップ付きトランス (MCA)、2 個の CoNbZr 薄膜素子、バイアス印加用コイル、終端の可変抵抗器および可変コンデンサを実装したものである。2 個のセンサ素子は、入力の変圧器

Fig. 6 Impedance change of CoNbZr film.

Fig. 7 Frequency characteristics of output signal.

を介して並列に配置され、出力端として 10Ω の可変抵抗に接続した。搬送波信号は中点接地したトランスの入力端子へ加え、二つのセンサ素子には互いに 180deg 異なる位相が加わるようにした。センサのバイアス磁界はソレノイドコイルにより二つのセンサ素子の長手方向かつ互いに逆方向へ約 2.5 Oe (199 A/m) 加えた^(6), 7)。搬送波信号は可変抵抗と可変

Fig. 8 Applied field dependence.

コンデンサの調整により抑制した。搬送波信号の計測にはネットワークアナライザ (HP8752A) あるいはゲインフェーズアナライザ (4194A) を使用し、トランスへの入力信号と出力信号との振幅比および位相差を計測した。Fig. 6 は 15 MHz における CoNbZr 薄膜の磁界とインピーダンスの関係を示したものである。使用したセンサ素子は膜厚 $1\mu\text{m}$ 、長さ 1 mm 、幅 $10\mu\text{m}$ の CoNbZr 薄膜であり、短冊の幅方向へ磁化容易軸を付与したものである。被検出信号磁界は信号発生器とヘルムホルツコイルにより、素子の長手方向に磁界を加えた。

4. 実験結果

Fig. 7 は直流磁界を変化させた場合のセンサ出力信号の (a) 振幅および (b) 位相差を周波数に対して計測したものである。外部磁界が 0 付近でバランスが取れているところほど振幅の極小値は減少している。これに伴って 15 MHz 付近で位相が大きく変化することがわかる。Fig. 8 は周波数を 15 MHz に固定して、外部磁界を変化した場合の搬送波成分の振幅および位相

(b) Phase difference
Fig. 9 Response of AC field.

差を示したものである。外部磁界が 0 付近で振幅はほぼ極小値を示し、その前後で位相差はほぼ 180deg 変化していることが了解される。最も位相変化が大きいところの傾きを見積もると約 18 deg/mOe であった。

Fig. 9 は、振幅 0.2 Oe、周波数 0.2Hz の鋸状波の磁界をセンサへ印加した場合の搬送波の振幅および位相差の時間的変化を示したものである。外部磁界がほぼ 0 Oe において、振幅は極小値となり搬送波の振幅は抑制前に比較して約 0.64% に抑制された。また搬送波が抑制された条件下では外部磁界が 0 Oe 付近において位相が約 180 deg 変化した。位相変化の最大値は 1636 deg/Oe あった。このように、搬送波抑制回路を用いた磁界センサでは、微弱な磁界変化に対し、搬送波の位相が大きく変化することが分かった。この

結果、搬送波の位相に着目することにより、本センサが高感度磁界計測に適することを示した。

5. まとめ

1. 高周波キャリア型薄膜磁界センサにおいて搬送波抑制回路からの位相が 180deg 急峻に変化しうることを見積もり、高感度磁界検出の可能性を示した。
2. プリント配線板を用いて位相検出用の搬送波抑制回路を試作した。
3. 15MHz において直流磁界の計測をし、約 180deg の急峻な位相変化が得られた。位相変化の傾きは約 18 deg/mOe であった。

参考文献

- 1) S. Yabukami, T. Suzuki, N. Ajiro, H. Kikuchi, M. Yamaguchi and K.I. Arai, *IEEE Trans. Magn.*, **39** 2019 (2001).
- 2) H. Kikuchi, S. Yabukami, M. Yamaguchi, K.I. Arai and T. Suzuki, *J. Magn. Soc. Jpn.*, **26**, 562 (2002).
- 3) Japan Patent, H8-320386 (1996).
- 4) C.M. Cai, K. Mohri Y. Honkura and M. Yamamoto, *J. Magn. Soc. Jpn.*, **25**, 967 (2001).
- 5) M. Takezawa, Doctoral dissertation of Tohoku University (1999).
- 6) A. Takayama, T. Uehara, A. Yuguchi, H. Kato, K. Mohri and T. Uchiyama, *J. Magn. Soc. Jpn.*, **24**, 763 (2000).
- 7) H. Azuma, T. Sonoda, *Technical Report of IEE of Japan*, MAG-00-4 (2000).

謝辞: 本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金基盤研究 B (採択番号 14350214) により行ったものである。

2002 年 10 月 7 日受理, 2003 年 1 月 17 日採録