

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560317

研究課題名(和文) 弾性波可視化装置を利用した高機能弾性波動伝搬解析システムの構築

研究課題名(英文) Development of fast scanning laser probe system for RF acoustic wave devices.

研究代表者

大森 達也 (OMORI TATSUYA)

千葉大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：60302527

研究成果の概要(和文)：主に無線通信機に用いられるマイクロ波帯弾性波動デバイスにおける弾性波動の可視化について、実用的なシステムの構築、および、観察した可視化像のデータ処理に関する検討を行った。この結果、圧電基板上を伝搬する弾性波動の振幅のみならず位相についても、他の類似研究で発表されている装置に比して、極めて高速に可視化することに成功した。この成果は高周波弾性波動デバイスの更なる研究・開発にとって有用であると考えられる。

研究成果の概要(英文)：This work aimed at development of high-speed laser probing system for RF acoustic wave devices. The newly developed system realized extremely fast data sampling by a skillfully applied delay compensation mechanism. It was also shown how the proposed system is effective in designing and analyzing SAW/BAW devices.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：弾性波デバイス、可視化、計測、圧電応用

1. 研究開始当初の背景

表面弾性波(SAW)素子に代表される、弾性波応用デバイスの開発において、圧電媒質中を伝搬する弾性波の振舞いを直接観察することは、極めて重要であると考えられる。この要求に対して、著者の属するグループではナイフエッジ法、または、サニャック干渉計を用いた高速弾性振動可視化装置について検討してきた。これらはGHz帯で動作しているSAW素子における弾性波伝搬の様子を振幅のみならず位相も含めて測定することを目標としている。

しかし、実用的な観察装置とするためには、更なるサンプリング速度の向上、分かりやすいユーザーインターフェースの構築、測定データの解析方法に関する検討などの課題が残されていた。

2. 研究の目的

これらの点を考慮し、本提案研究においては、次に挙げる二項目を大きな目的とした。

(1) より高速なデータサンプリングの実現と、操作性の向上により、実用的な弾性振動可視

化装置を構築する。

具体的には、

- ① データサンプリング方法の改善における更なる高速化
- ② 高速化時に問題となる可視化像の乱れを除去する手法の開発
- ③ 特に高周波素子の測定で問題となる試料表面の傾き補正

(2) 可視化データを用いた波動伝搬解析の実例を示し、本システムの有効性を示す。

3. 研究の方法

(1) 実用的な可視化システム構築に向けた検討

① 高速データサンプリング手法の確立と、この過程で生じる信号遅延の補正を行う専用ハードウェアの構築

本提案研究による弾性振動可視化装置は、サニャック干渉計を用いて、弾性波の伝搬にともなう圧電基板上の微小な凹凸を検出する。この検出系は、基本的に低い周波数の振動では感度が低く、高周波になるにつれて検出感度が高くなる特徴を持つ。このため、測定対象とする GHz 帯デバイス用に干渉計を最適化すると、スキャンのためのステージ移動や、測定者の移動などにより環境から受ける低い周波数の振動の影響をほとんど受けることなく観察が可能となる。この事を利用して、本可視化装置は、図 1 に示すように、試料を乗せたステージに取り付けられた位置測定用のリニアエンコーダから発するパルスデータをサンプリングのトリガとして利用することで、ステージを自由走行（フリーラン）の状態にしたまま、データサンプリングを行うことができるようにする。

ところで、この際、ステージの往復両方向の走査時ともデータサンプリングを行えば、サンプリング速度を本質的に決定するのはステージの移動速度のみとなり、ステージの移動速度を同一とした場合に、もっとも無駄の無いデータ取得が可能となる。しかし、実際にこの方法でデータ取得を行うと、1 ラインの走査ごとにジグザグ状の位置ずれを生じ、正常な可視化像とはならない。調査の結果、この原因は検波回路において生じる遅延により、サンプリングのためのトリガがデータレコーダに到着した時に、その点の測定データが、まだデータレコーダに到達していないことによることが分かった。往復走査時においては、この観察点と実際に記録されるデータの間のズレの方向が 1 ラインごとに逆方向になるために、大きな画質劣化の原因となっている。

そこで、図 2 に示すように、リニアエンコーダからのパルスに対し、検波器で生じる遅延時間に等しい遅延を生じさせる遅延回路

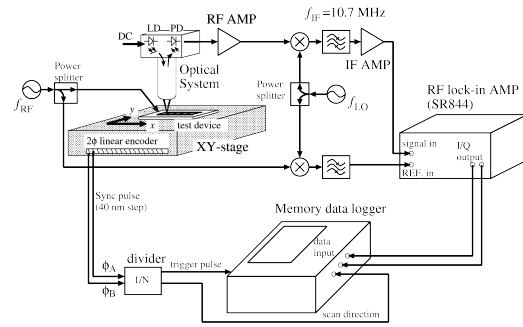


図 1. 弾性波動可視化装置の構成

を挿入して、位置の補正を行うことを考えた。なお、ここで用いる可視化装置では高感度に、位相情報も含めて表面の微小変位を測定するため、高周波ロックインアンプを検波機に用いている。S/N を向上するため、フィルタを狭帯域にすると、ロックインアンプにおける遅延時間は数 100 μ s から数 ms と極めて大きなものとなり、さらに、フィルタの時定数を変更する度に遅延時間が変化するので、ここでは、高速デュアルポートメモリを利用したデジタル遅延回路を採用する。また、ロックインアンプのフィルタの時定数を変更する度に、正確に遅延時間を調整することが必要であることから、遅延回路における遅延時

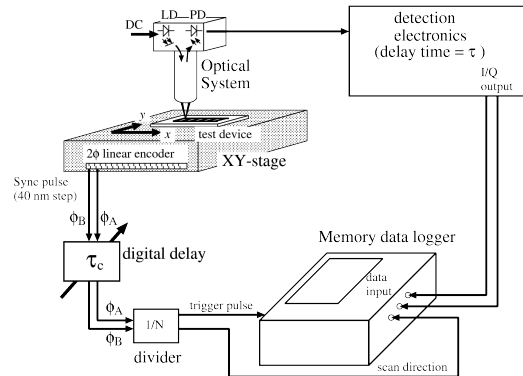


図 2. デジタル遅延回路を用いた遅延補正

間の変化がもたらす画質改善の度合いの評価方法についても検討を行った。

② 観察試料表面の傾き補正

GHz 帯における高周波弾性波動の観察では、一般に観察対象が微細になることから、十分な空間分解能を実現するために、高倍率の光学レンズを用いる必要がある。一般に高倍率のレンズでは、被写界深度が浅いため、観察対象表面の僅かな傾きにより、大きな感度ムラを生じてしまう。この問題に対して、本提案研究では、焦点位置をわずかな移動させながら複数枚の可視化像を獲得し、これらを合成することで、試料の傾きによる感度差補正を試みた。この方法は、本可視化装置のスキャン速度が非常に速いことを利用し

ている。

4. 研究成果

(1) 高速弾性振動可視化システムの構築

① 超高速データサンプリングの実現と遅延時間補正による可視化像劣化の防止

提案方法にもとづき、XY ステージが 40 nm 移動するごとにリニアエンコーダが送出するパルスに適宜分周した信号を、データ取得のトリガパルスとして使用することで、ステージを自由走行させても、正しくデータ収集できる可視化システムの構築に成功した。この可視化システムのデータサンプリング速度は、一方向スキャン（自由走行させる時の往路、または復路のみを使うスキャン）の場合、およそ 0.7 kS/s であり、たとえば 1GHz 帯の共振器程度であれば、0.4 μm の十分な空間分解能を保ったまま 8 分程度で測定が完了する能力を持つ。

次に、メカニカルスキャン方式による極限のデータサンプリング速度を実現するため、自由走行させる場合の往復路ともデータ取得に使う方法について検討した。往復両方向に移動中、データサンプリングを行うと、前述したとおり、主に検出機として用いている RF ロックインアンプの遅延のため、1 走査ごと逆方向に、サンプリング点のズレを生ずる。図 3(a) は、電極周期 1 μm の SAW 共振器の往復走査による可視化像である。これによれば、電極における光学的反射率の違いにより、電極周期に一致する縦縞が観察されているが、この縦縞が図 3(a) の拡大図に示すように、ジグザグに変調されていることがわかる。これが、遅延による影響である。

これに対し、サンプリングトリガを作る位置情報パルスを、検波回路における遅延時間と同じ時間だけ遅らせることで、画質劣化を解消する手法を新たに考案した。図 4 に、このために設計・製作したデジタル遅延回路を示す。この遅延回路は、16 kB のデュアルポートメモリに 1 μs ごとにパルス情報を書き込むため、0~約 16ms まで 1 μs 刻みで遅延時間を可変できる能力を持つ。また、図 4 に示すように、遅延量を設定するための操作部を備え、メモリの読み込み・書き込み制御と

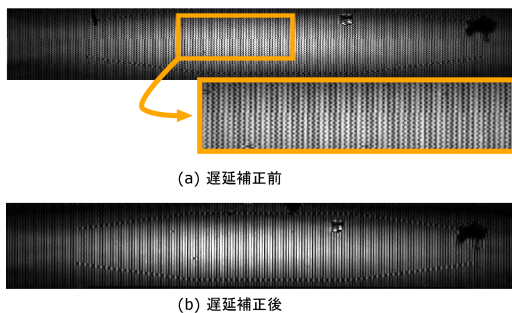


図 3. 往復走査における SAW 可視化像

あわせ、3 個のマイクロプロセッサを用いている。

ところで、この方法において、遅延時間の補正量は検波回路における遅延と正確に等しくする必要があり。そのために、補正度合いの客観的評価方法を提案した。図 5 は電極周期 p_1 の金属グレーティング中を伝搬する SAW を往復操作により可視化し、これを 2 次元フーリエ変換したものである。これによれば、 $(\pm 2\pi/p_1, 0)$ の輝点に加えて $(\pm 2\pi/p_1, \pm 2\pi/2\Delta y)$ の 4 箇所に輝点が認められる。こ

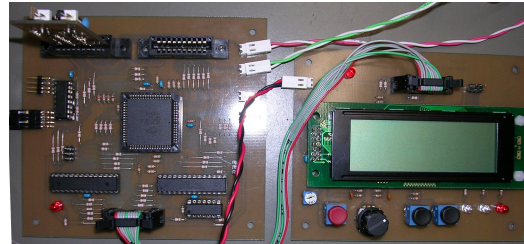


図 4. デジタル遅延回路

で、 Δy は y 方向の刻み幅である。この 4 つの輝点は、ジグザグ状のズレによるものなので、これらの強度が最小となるよう遅延時間を調整することにより補正量を決定する。図 6

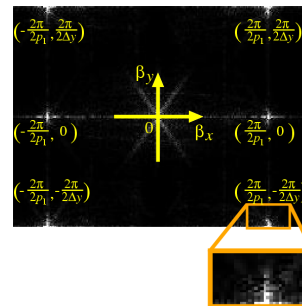


図 5. 往復操作によって得られる、金属グレーティング上を伝搬する SAW 可視化像の 2 次元 FFT 結果

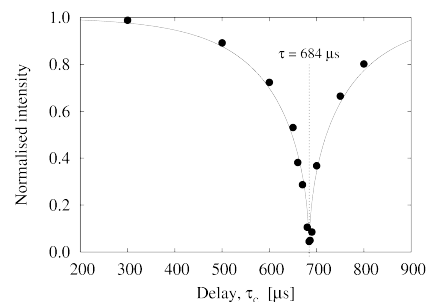


図 6. 遅延時間に対するスプリアス輝点強度

がこれら輝点の強度と、遅延回路による遅延時間の関係である。これによれば遅延時間を 684 μs とすることで、最良の画像が得られることが分かる。この結果にもとづいて、遅延回路を調整し、遅延補正を行った可視化像を

図 3(b)に示す。これにより、ジグザグ状の画像劣化が解消されていることが分かる。

この時、データサンプリング速度は 1.3 kS/s と、当初の目論見通り、一方向スキャンのほぼ倍となり、測定時間を半減することに成功した。このサンプリング速度は、同種の弾性波可視化装置と比べて、本研究遂行者の知る限り、世界でも最高速である。

なお、これよりもさらにきめ細かい遅延時間補正を行うために、より高速にメモリアクセスを可能とするよう CPLD を利用した遅延回路(図 7)についても設計および作製を行った。

② 試料の傾き補正

本測定装置の高速性を生かし、わずかずつ対物レンズの高さを変えながら、多数回の走査・可視化を行い、これらを再合成することで試料の傾きに起因する焦点ズレの影響を補正する方法について検討を行った。このアルゴリズムに基づいて、3GHz 帯で動作している弾性薄膜共振子の弾性波振動振幅を位相まで含めて、明瞭に可視化することに成功した。

最後に、開発した可視化システムを利用し

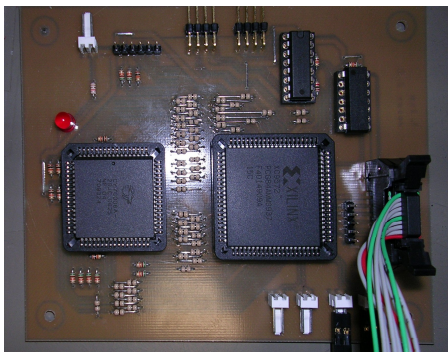


図 7. CPLD を用いた高分解能デジタル遅延回路

た SMR(Solidly Mounted Resonator)における損失の解析について検討を行った結果について述べる。具体的には反共振点における SMR からの弾性波動の漏洩について可視化を行い、この結果と有限要素法による解析結果を照合することで、損失発生メカニズムに対する定量的な議論をすることに成功した。

以上により、本提案研究において構築した超高速かつ高機能な GHz 帯弾性振動可視化システムの有用性が示された。

今後、観察対象表面の光反射係数の差による検出感度差の補正などを行い、更に弾性振動振幅の絶対量評価などの改良・発展が期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 8 件)

- ① K. Hashimoto, K. Kashiwa, N. Wu, T. Omori, M. Yamaguchi, O. Takano, S. Meguro, K. Akahane: “A laser probe based on a Sagnac interferometer with fast mechanical scan for RF surface and bulk acoustic wave devices”, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Contr., 58, 2011, pp. 187-194, 査読有
- ② F. Thalmayr, K. Hashimoto, M. Ueda, T. Omori, M. Yamaguchi: “Quantitative analysis of power leakage in an film bulk acoustic resonator device at antiresonance frequency”, Japan Journal of applied physics, 49, 2010, pp. 07HD11-1 – 4, 査読有
- ③ N. Wu, K. Hashimoto, T. Omori, M. Yamaguchi: “A multiple-scan focusing method for radio-frequency bulk acoustic wave devices observation by laser probe system”, Japan Journal of applied physics, 49, 2010, pp. 07HD10-1 – 4, 査読有
- ④ N. Wu, K. Hashimoto, K. Kashiwa, T. Omori, M. Yamaguchi: “Integrated software for image processing in radio frequency surface and bulk acoustic wave laser probe system”, Japan Journal of applied physics, 48, 2009, pp. 088002-1 – 2, 査読有
- ⑤ N. Wu, K. Hashimoto, K. Kashiwa, T. Omori, M. Yamaguchi: “Focus adjustment system of laser probe for radio frequency surface and bulk acoustic wave devices”, Japan Journal of applied physics, 48, 2009, pp. 108002-1 – 2, 査読有
- ⑥ 呉楠, 柏景介, 大森達也, 橋本研也, 山口正恆: 「弾性波可視化装置を用いた FBAR におけるエネルギー漏洩の解析」, 超音波テクノ, 22, 2009, pp. 41 – 45, 査読無
- ⑦ T. Omori, K. Kashiwa, K. Hashimoto, M. Yamaguchi: “Time-delay compensation in detection electronics of fast scanning 2DSAW/BAW laser probe”, Proc. 2009 IEEE Intl. Ultrasonics symp., 2009, pp. 1644 – 1647, 査読有
- ⑧ N. Wu, K. Hashimoto, K. Kashiwa, T. Omori, M. Yamaguchi: “Study on the frequency dependence of lateral energy leakage in RF BAW devices by fast-scanning laser probe system”, Proc. 2008 IEEE Intl. Ultrasonics symp., 2008, pp. 94 – 97, 査読有

〔学会発表〕(計 3 件)

- ① 巢山、島田、大森、橋本、山口：「広帯域 SAW 共振子の導波路解析」, 弾性波素子技術第 150 委員会第 120 回研究会, 2011 年 1 月 25 日 (東京)
- ② N. Wu, K. Hashimoto, K. Kashiwa, T. Omori, M. Yamaguchi: Recent progress in phase-sensitive and fast-scanning laser probe system for RF BAW/SAW laser probe”, 4th Intl. Symp. On acoustics wave devices for future mobile communication systems, 2010 年 3 月 3 日 (千葉)
- ③ N. Wu, K. Hashimoto, K. Kashiwa, T. Omori, M. Yamaguchi: “Fast scanning laser probing system with graphic user interface for surface ad bulk acoustic wave devices”, 2008 Joint Japan-USA international meeting on acoustic wave devices, 2008 年 12 月 10 日 (Florida, USA)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大森 達也 (OMORI TATSUYA)

千葉大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：60302527