

平成 21 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「高性能次世代圧電センサー用単結晶製造技術の開発」

成 果 報 告 書

平成 22 年 3 月

委託者 東北経済産業局

委託先 株式会社インテリジェント・コスモス研究機構

目次

第1章 研究開発の概要.....	1
1. 研究開発の背景・研究目的及び目標.....	1
(1) 研究開発の背景.....	1
(2) 研究目的.....	1
(3) 研究目標.....	1
2. 研究体制.....	2
(1) 研究組織及び管理体制.....	2
(2) 研究員及びプロジェクト管理員.....	5
(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名.....	7
(4) 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項.....	8
3. 成果概要.....	9
LTGA 結晶高信頼性化技術の開発(株式会社 福田結晶技術研究所).....	9
LTGA 結晶の大口径化(株式会社 福田結晶技術研究所).....	9
センサーに適した LTGA 結晶の方位及び形状の決定(石巻専修大学).....	9
LTGA 結晶を用いた振動子の試作と評価.....	9
デバイスの試作と評価.....	10
4. 研究実施場所.....	10
5. 知的財産権等の取組状況.....	11
6. 対外発表等の状況.....	11
7. 当該プロジェクト連絡窓口.....	11
第2章 本論.....	12
1 本研究開発の目的.....	12
2 LTGA 単結晶の製造技術の確立.....	12
2.1 LTGA 単結晶の製造技術の確立のまとめ(株式会社福田結晶技術研究所).....	12
2.2 LTGA 単結晶の製造技術の確立の今後.....	13
3 家庭用情報家電センサー(NEC トーキン株式会社).....	13
3.1 背景(振動センサの必要性).....	13
3.2 LTGA に期待すること.....	14
3.3 まとめ.....	14
4 LTGA 振動子開発(東京電波株式会社).....	14
4.1 LTGA 振動子開発に至った経緯.....	14
4.2 まとめ.....	15
5 TPMS センサーとしての LTGA 振動子の使用可能性について(アルプス電気株式会社).....	15

5.1	目的.....	1 5
5.2	結論.....	1 5
5.3	今後.....	1 5
6	LTGA 単結晶を用いた厚みすべり振動子の弾性定数の温度特性の解析(石巻専修大学).....	1 6
6.1	まえがき.....	1 6
6.2	むすび.....	1 6
最終章	全体総括	1 7
1	研究開発成果.....	1 7
2	研究開発後の課題・事業化展開.....	1 7

第1章 研究開発の概要

1. 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 研究開発の背景

従来、電子部品用途の圧電材料として水晶が通信機器やジャイロ等に幅広く用いられてきたが、圧電材料の高性能化の要求に対して水晶の性能に限界も見られるため、様々な圧電材料が開発されてきた。水晶は周波数温度特性が極めて優れているが(=高安定)一方で電気機械結合係数が小さいため(=低効率)、高安定かつ高効率の圧電材料が求められている。本事業で提案する新規開発結晶LTGA(化学式 $\text{La}_3\text{Ta}_{0.5}\text{Ga}_{5.3}\text{Al}_{0.2}\text{O}_{14}$)は水晶と比べて電気機械結合係数が4倍と大きく、かつ周波数温度特性に優れるという従来材料では為し得なかった特性を有し、エージング特性も水晶に迫る長期安定性を誇る。特筆すべきは1000 という高温条件下でもデバイスとして機能することが確認されており、内燃機関やガスタービンなどの極限環境下での使用も視野に入っている。

本研究ではLTGA結晶の極めて優れた特性が、川下事業者であるデバイス製造業者のニーズおよび市場のニーズに合致するものであったことから、その具体的応用へ向けて結晶の高品質化(安定性、高信頼性、歩留り、サイズ)と同時にデバイスを試作しデバイス特性の評価を行ない、デバイス側からのフィードバックを得ながら最適な品質のLTGA結晶の製造プロセスを構築するものである。

(2) 研究目的

従来センサー材料として多く用いられてきた水晶などに代わる、鉛フリーかつ高性能であるガレート結晶LTGAについて、情報家電用センサー及びタイヤ空気圧センサー向けとして実用化を狙い、結晶の量産技術を開発する。センサーを製作し高性能かつ高信頼性を実証し事業化を行なう。

(3) 研究目標

本研究では川下事業者のニーズに合致する品質およびサイズのLTGA結晶製造技術の確立を目指すものであるが、具体的な目標を以下に示す。

最終目標(平成21年度終了時点)：

結晶サイズ： 6インチ

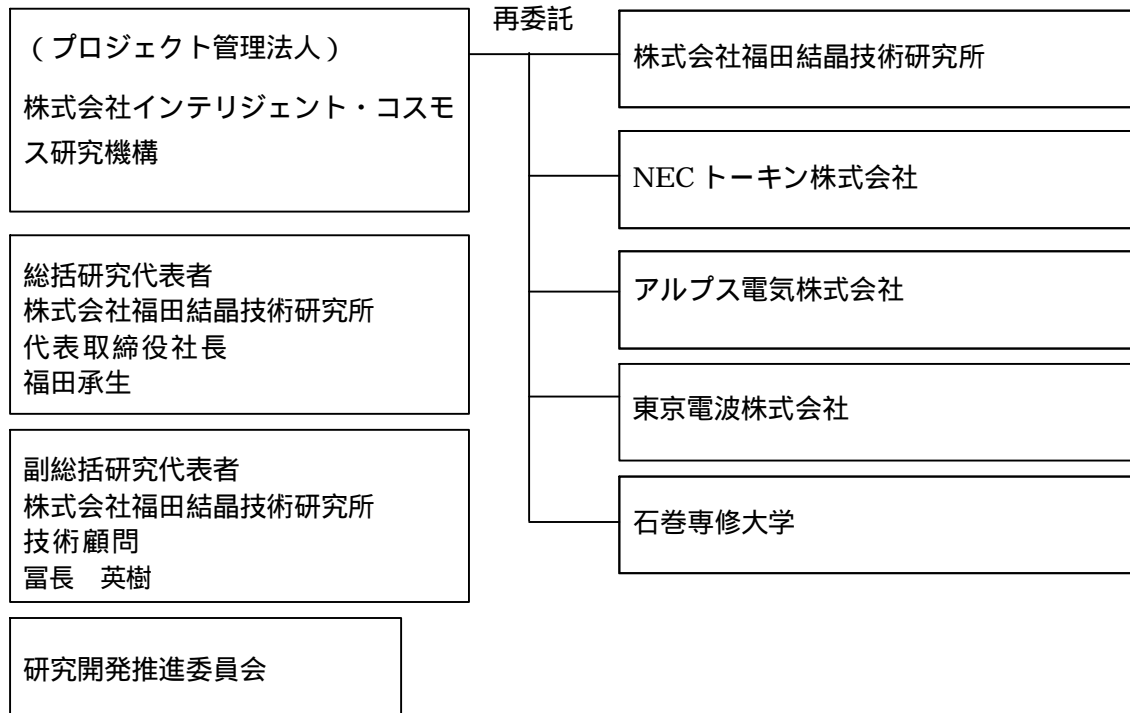
結晶ウェハー内およびウェハー間の圧電特性バラツキが100ppm以下であること

これらを達成することにより、既存の材料では実現し得なかった高安定、高効率圧電デバイスが低コストにて製造可能となる。

2. 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

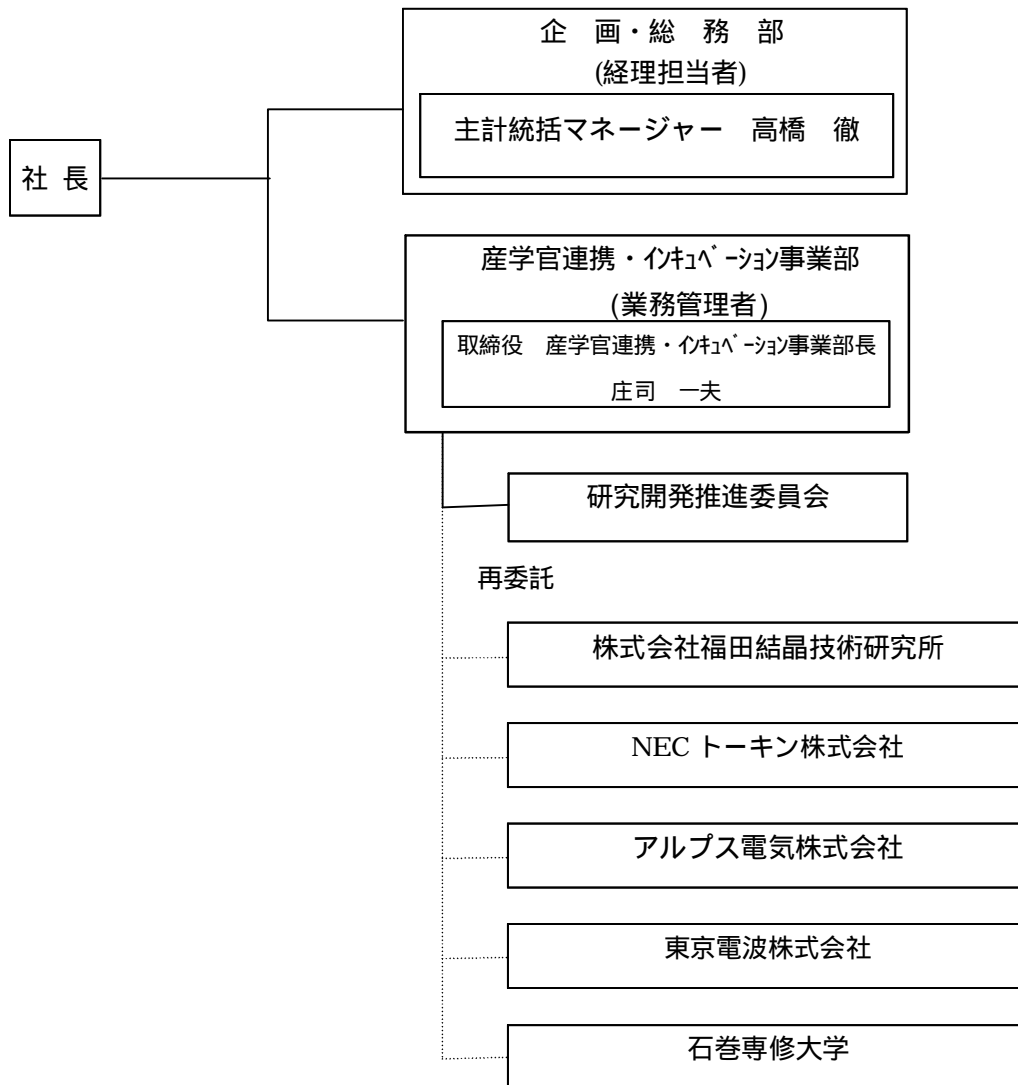
1) 研究組織(全体)



2) 管理体制

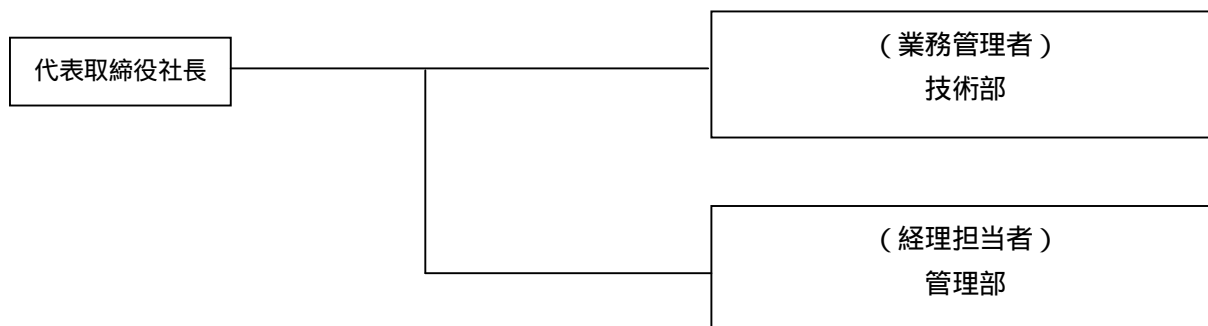
管理法人

株式会社インテリジェント・コスモス研究機構

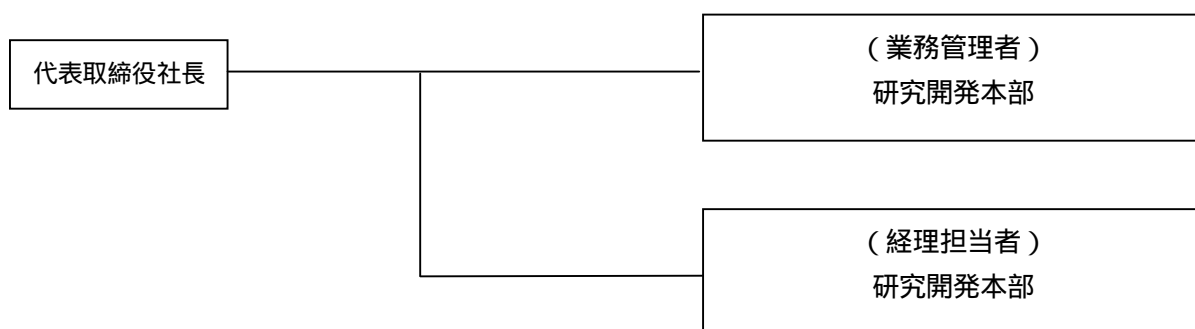


再委託先

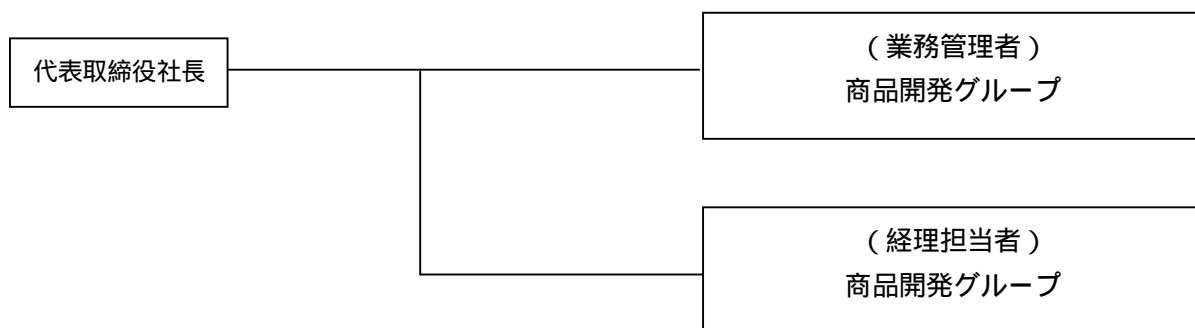
a. 株式会社福田結晶技術研究所



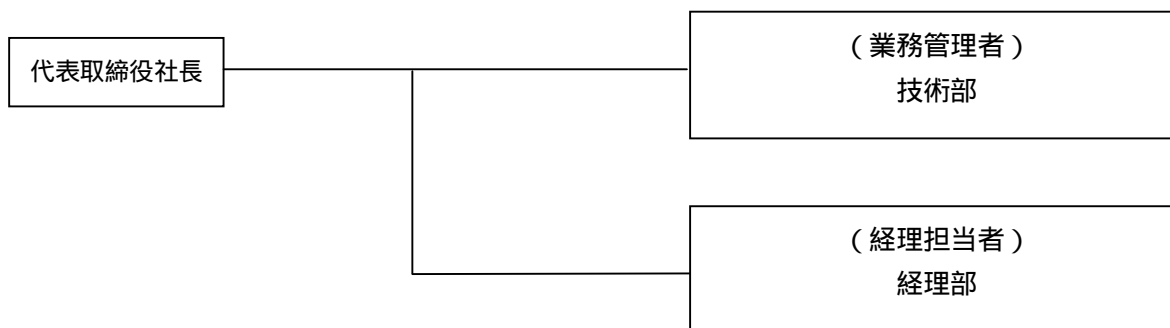
b. NECトーキン株式会社



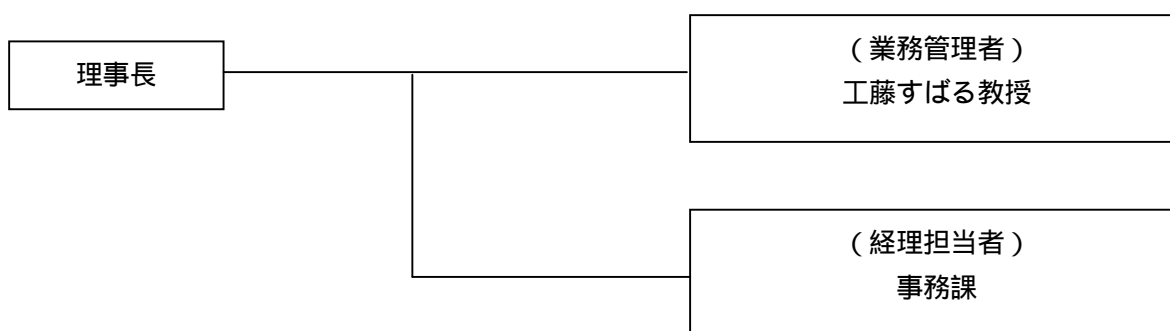
c. アルプス電気株式会社



d. 東京電波株式会社



e. 石巻専修大学



(2) 研究員及びプロジェクト管理員

【管理法人】株式会社インテリジェント・コスモス研究機構

管理員（プロジェクト管理員）

氏名	所属・役職	実施内容
澁谷 俊昌	産学官連携・インキュベーション事業部 インキュベーション・マネージャー	
池田 由美	産学官連携・インキュベーション事業部 担当	
庄司 一夫	産学官連携・インキュベーション事業部 取締役 産学官連携・インキュベーション 事業部長	
猪股 則夫	産学官連携・インキュベーション事業部 統括インキュベーション・マネージャー	

【再委託先】

株式会社福田結晶技術研究所

氏名	所属・役職	実施内容
福田 承生	代表取締役社長	総括研究代表者
富長 英樹	技術部 統括顧問	副総括研究代表者
庄子 育宏	技術部 研究員	,
高橋 和也	技術部 研究員	,
笠原 さおり	技術部 研究補助員	,
鈴木 葉子	技術部 研究補助員	,

NECトーキン株式会社

氏名	所属・役職	実施内容
戸叶 祐一	研究開発本部 材料開発センター マネージャー	,
藤原 千恵子	研究開発本部 材料開発センター	,

アルプス電気株式会社

氏名	所属・役職	実施内容
榎田屋 秀樹	車載電装事業部 商品開発グループ	

東京電波株式会社

氏名	所属・役職	実施内容
柴野 貴聡	開発技術本部 技術部 主任	

石巻専修大学

氏名	所属・役職	実施内容
工藤 すばる	理工学部 情報電子工学科 教授	

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

【管理法人】

[株式会社インテリジェント・コスモス研究機構]

項目	役職	氏名
経理担当者	企画・総務部 主計統括マネージャー	高橋 徹
業務管理者	産学官連携・イノベーション事業部長	庄司 一夫

【再委託先】

株式会社福田結晶技術研究所

項目	役職	氏名
経理担当者	管理部 部長	門間 栄一
業務管理者	技術統括顧問	富長 英樹

NECトーキン株式会社

項目	役職	氏名
経理担当者	研究開発本部 主任	古澤 孝仁
業務管理者	研究開発本部 材料開発センター マネージャー	戸叶 祐一

アルプス電気株式会社

項目	役職	氏名
経理担当者	車載電装事業部 商品開発グループ	三浦 京子
業務管理者	車載電装事業部 商品開発グループ	榎田屋 秀樹

東京電波株式会社

項目	役職	氏名
経理担当者	経理部経理課 係長	嘉山 博雄
業務管理者	開発技術本部 技術部 主任	柴野 貴聡

石巻専修大学

項目	役職	氏名
経理担当者	事務課 係長	大場 嘉彦
業務管理者	理工学部 情報電子工学科 教授	工藤 すばる

(4) 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

1) 研究開発推進委員会委員(8名)

本研究開発を推進するため重要事項及び問題点を検討・審議して開発の進捗管理を行う。

氏名	所属・役職	備考
福田 承生	株式会社福田結晶技術研究所 代表取締役社長	PL 委
富長 英樹	株式会社福田結晶技術研究所 技術部統括顧問	SL 委
戸叶 祐一	NECトーキン株式会社 材料開発センター マネージャー	
藤原 千恵子	NECトーキン株式会社 研究開発本部 材料開発センター	
榊田屋 秀樹	アルプス電気株式会社 車載電装事業部 商品開発グループ	
柴野 貴聡	東京電波株式会社 開発技術本部 技術部 主任	
工藤 すばる	石巻専修大学 理工学部 情報電子工学科 教授	
庄司 一夫	株式会社インテリジエント・I&E研究機構 産官学連携・インキュベーション事業部長	

3. 成果概要

LTGA結晶高信頼性化技術の開発（株式会社 福田結晶技術研究所）

結晶育成時のGa蒸発を雰囲気の厳密調整によって圧電特性の変動および結晶性の低下の抑制に成功した。連続育成に成功し、最適条件を確立した。結晶内の異なる部位による圧電特性のバラツキを確認するために精密格子定数及び化学成分を測定した。大きなバラツキ、差異は見られなかった。東京電波株式会社によるデバイスの評価においてLTGA振動子の特性のばらつきは育成された結晶に起因せず、振動子の製造条件に起因している可能性が大きいことが判明した。結晶ウェハー内およびウェハー間の圧電特性バラツキは振動子の製造工程に起因する特性のばらつきの発生と比較して影響が少なく結晶製造技術自体は確立できたと判断する。また雰囲気制御アニール炉で最適アニール条件を求めた。アニールにより結晶内の余剰酸素による点欠陥起因による歪を軽減させ、加工時のクラック発生を大幅に削減させることに成功した。高安定化に寄与する技術を確立した。

LTGA結晶の大口径化（株式会社 福田結晶技術研究所）

4インチ結晶の育成条件の確立に成功した。5インチ育成条件の確立に至らなかった。6インチ結晶育成実験においては育成した結晶の組成が多結晶化した。単結晶化させるためには温度勾配を高めるため耐火物の構成を変更する必要があることがわかった。現在育成実験継続最中である。

センサーに適したLTGA結晶の方位及び形状の決定（石巻専修大学）

LTGA 単結晶を用いた厚みすべり振動子の温度特性を明らかにするために、種々の検討を行った。まず、LGS 及び LTG 単結晶を用いた厚みすべり振動子の周波数温度特性の解析を行った。次に、LTGA 単結晶を用いて作成された厚みすべり振動子の実験結果をもとに、温度特性の推定を行った。更に、有限要素法を用いて厚みすべり振動子を解析するために解析手法の検討を行った。今後、LTGA 単結晶の各種定数値の測定及び良好な温度特性を有するカット角の算出を行うとともに、スプリアス振動の抑圧方法の検討なども実施する予定である。

LTGA結晶を用いた振動子の試作と評価

（NECトーキン株式会社）

本プロジェクトで育成したLTGA単結晶のバルク特性、表面波特性を測定した結果、LGSとほぼ同等の特性であることが確認された。

（東京電波株式会社、アルプス電気株式会社）

試作評価結果から、現状の結晶品質が維持されれば要求仕様を満足する振動子の製造を行う事が可能と考える。また、水晶とほぼ同様の方法で振動子製造が可

能な為、大規模な設備投資等を行わずに事業化が可能と考えられる。その反面、振動子特性の改善・結晶自体の評価方法・製造方法の確立等、事業化に向けての課題が明確となった。現段階では致命的な問題点はなく、改善が見込まれるものが殆どな為、LTGA は TPMS 用振動子の材料として使用可能と判断される。

デバイスの試作と評価

(NECトーキン株式会社)

LTGA 単結晶を用いてガラス破壊センサーを試作した。650MHz 帯での動作が確認され、ガラス破壊特有の AE 波を感度よく検知できた。特定周波数領域でも使用可能であると判断できる。高周波化には、パターンニング精度をよくすることが条件であるが、3 インチウェハーであれば、現在の加工技術でも十分に対応できる。また、今回は汎用 LGS と同じ SAW 伝播方位を採用したが、音速と結合係数が最適である伝播方位は LGS とは多少異なっている可能性もある。最適方位を探索し、採用することにより、更なる感度向上が期待できる。

(アルプス電気株式会社)

タイヤ空気圧センサ(TPMS)での振動子について今回の試作の評価結果から、LTGA 振動子を用いたサンプルを作成して信頼性試験を行い、問題無いことを確認した。他のアプリケーションとして、他のタイヤに付けることが出来るかどうかの判断のため振動子の耐圧試験を行い、問題無いことが確認された。現行の仕様を LTGA 振動子が満足できるのであれば、圧力精度などを満足する TPMS システムを構築できる。今回作成したサンプルを元に顧客獲得に進むとともに、他のアプリケーションについて調査する。さらに TPMS システムの先にあるシステムの調査を進め、実用化に向けて行く。技術的には温度特性の改善が残ってしまった。この件も結晶定数を測定し石巻専修大学工藤先生の協力で改善を考える。

4. 研究実施場所

株式会社 福田結晶技術研究所 結晶センター(最寄り駅:JR仙山線国見駅)
〒989-3204 宮城県仙台市青葉区南吉成 6 丁目 5 番地

NECトーキン株式会社(最寄り駅:東北新幹線仙台駅)
〒982-0003 仙台市太白区郡山6丁目7番1号

アルプス電気株式会社(最寄り駅:東北新幹線古川駅)
〒989-6143 宮城県大崎市古川中里6-3-36

東京電波株式会社（最寄り駅：JR東北新幹線盛岡駅）
〒020-0854 岩手県盛岡市上飯岡1地割15番地10号

学校法人 専修大学（石巻専修大学）（最寄り駅：JR仙石線石巻駅）
〒986-0031 宮城県石巻市南境新水戸一番地

5. 知的財産権等の取組状況

出願特許
整理番号 FXL006
特願 2008-185137[2008/07/16]
名称 圧電単結晶、及び、その製造方法
出願人 株式会社福田結晶技術研究所

6. 対外発表等の状況

新聞発表

日刊工業新聞 平成19年5月30日 LTGA 圧電結晶
河北新報 平成19年6月7日 高感度圧の電結晶の開発

論文発表

第38回日本結晶成長学会 NCCG-38 2008年11月4日
1. カテゴリー番号 : 4 : 機能性結晶（酸化物、フッ化物等）
2. 講演題目 : 高温圧電デバイス用 3インチ $\text{La}_3\text{Ta}_{0.5}\text{Ga}_{5.3}\text{Al}_{0.2}\text{O}_{14}$
(LTGA)単結晶の育成とその評価
3. 講演者 : 庄子育宏、井上圭司、佐藤浩樹（株式会社福田結晶
技術研究所）
4. 連絡責任者 : 庄子育宏

7. 当該プロジェクト連絡窓口

株式会社インテリジェント・コスモス研究機構（担当：澁谷、池田）

連絡先 TEL 022 - 279 - 8811
FAX 022 - 279 - 8880

第2章 本論

1 本研究開発の目的

従来センサー材料として多く用いられてきた水晶などに代わる、鉛フリーかつ高性能であるガレート結晶LTGAについて、情報家電用センサー及びタイヤ空気圧センサー向けとして実用化を狙い、結晶の量産技術を開発する。センサーを製作し高性能かつ高信頼性を実証し事業化を行なう。

従来、電子部品用途の圧電材料として水晶が通信機器やジャイロ等に幅広く用いられてきたが、圧電材料の高性能化の要求に対して水晶の性能に限界も見られるため、様々な圧電材料が開発されてきた。水晶は周波数温度特性が極めて優れているが(=高安定)一方で電気機械結合係数が小さいため(=低効率)、高安定かつ高効率の圧電材料が求められている。本事業で提案する新規開発結晶LTGA(化学式 $\text{La}_3\text{Ta}_{0.5}\text{Ga}_{5.3}\text{Al}_{0.2}\text{O}_{14}$)は水晶と比べて電気機械結合係数が4倍と大きく、かつ周波数温度特性に優れるという従来材料では為し得なかった特性を有し、エージング特性も水晶に迫る長期安定性を誇る。特筆すべきは1000 という高温条件下でもデバイスとして機能することが確認されている。

本研究ではLTGA結晶の極めて優れた特性が、川下製造業者が手がける情報家電用センサー及び自動車用タイヤ空気圧センサー等のデバイス製造業者のニーズおよび市場のニーズに合致するものであったことから、その具体的応用へ向けて結晶の高品質化(安定性、高信頼性、歩留り、サイズ)と同時にデバイスを試作しデバイス特性の評価を行ない、デバイス側からのフィードバックを得ながら最適な品質のLTGA結晶の製造プロセスを構築するものである。

2 LTGA 単結晶の製造技術の確立

2.1 LTGA 単結晶の製造技術の確立のまとめ(株式会社福田結晶技術研究所)

まずLTGA単結晶育成の再現性、信頼性を確認するために、安定的に結晶が得られるかを検討する目的で平成19年度の10個連続単結晶育成に続いて、平成20年度育成した8個すべてにおいて亀裂発生、異物及び泡の混入は認められず、安定的に育成できる結晶であることが証明できた。

また、従来方式による育成で得られる有色結晶は、窒素雰囲気下で余剰酸素混入による点欠陥が消失し、無色化できることが分かった。

平成19年度に導入した大口径結晶育成用8号炉にて3インチ結晶及び4インチ結晶の育成に成功した。平成21年度に取り組んだ6インチ結晶育成は炉内ホットゾーンについて改善の余地があることが判明し、最適条件を確立するために引き続き育成実験を継続している。

結晶内の異なる部位による圧電特性のバラツキを確認するために精密格子定数及び化学成分を測定した。大きなバラツキ、差異は見られなかった。

アニールによる無色化結晶と有色結晶とのデバイス評価を実施した結果、特性

の差異は見られなかった。

2.2 LTGA 単結晶の製造技術の確立の今後

平成 22 年度は最終目標である 6 インチ結晶の育成実験を引き続き実施する。また、アニールによる無色化結晶と有色結晶との物性比較については現在、弾性定数を測定最中である。

- ・育成した 3 インチ及び 4 インチ結晶を 2 インチ結晶と比較して以下に示す。



2 インチ結晶



3 インチ結晶



4 インチ結晶

3 家庭用情報家電センサー(NEC トーキン株式会社)

3.1 背景 (振動センサの必要性)

近年、安全・安心に対する社会的な意識や認識の高まりを背景として、セキュリティ市場や建造物の安全監視市場が拡大傾向にある。特に、セキュリティ市場では、空き巣狙いの手段として高い割合を示している硝子破りを検知するための硝子破壊検知が注目されている。一般的な検知方式には、破壊現象に伴う音響信号をマイクロフォンにより検出する方式や、圧電セラミック素子のバルク振動を利用して、破壊現象固有の AE(Acoustic Emission)波を直接検出する方式がある。

これら既存の検知方式は、原理上、マイクロフォンや圧電セラミックなどの検知素子および信号処理回路部、RF 回路部と、それらを駆動するための電池が必要である。加えて、各部が構造上一体化されているために、更なる小型化および低コスト化には限界がある。また、マイクロフォンの場合には、外界からの騒音や振動などと破壊事象の区別が困難な場合が多く、誤認識率が高いことが課題として挙げられる。

そこで当社では、現在、SAW(Surface Acoustic Wave)共振子を利用した無線方式のパッシブ型振動センサーを開発中である⁽¹⁾。本センサーは、原理上、信号処理回路部

などの回路系および電池が不要なため、小型および低背化が可能であり、設置対象である硝子の寸法や種類、設置位置の制約を受け難いという特徴がある。動作原理としては、圧電振動子の共振モードと、その圧電振動子上に設けた SAW 共振子の共振インピーダンスの変化を利用している。このため、高帯域の振動レベルの低い AE 波を感度よく検出でき、騒音や振動などのノイズとの弁別能力が高く、誤認識率が低いという特長がある。

3.2 LTGAに期待すること

前節 2 に材料としての基板の要求条件を挙げた。ランガサイトはニオブ酸リチウムやタンタル酸リチウムに比べて、Q 値が大きいことが特徴であり、振動センサーに使用したときの高感度が期待できる。結晶構造が LGS に近い本開発品の LYGA は、同様に高い Q 値を持つ事が予想される。

更に、ニオブ酸リチウムやタンタル酸リチウムと比較すると、LTGA は特に温度特性が良いことが報告されており、水晶程度の値を得られるとされている。このことから振動センサーの温度特性の大幅な向上が図れると思われる。現在の振動センサーの温度特性は、日常環境下 (-10 ~ 80) での変動でかろうじて特性が得られているが、製品として多くの環境で使用するには、更なる温度特性改善は不可欠である。

3.3 まとめ

本プロジェクトで育成した LTGA 単結晶のバルク特性、表面波特性を測定した結果、LGS とほぼ同等の特性であることが確認された。LTGA 単結晶を用いてセンサーを試作した。650MHz 帯での動作が確認され、ガラス破壊特有の AE 波を感度よく検知できた。特定周波数領域でも使用可能であると判断できる。高周波化には、パターンング精度をよくすることが条件であるが、3 インチウェハーであれば、現在の加工技術でも十分に対応できる。また、今回は汎用 LGS と同じ SAW 伝播方位を採用したが、音速と結合係数が最適である伝播方位は LGS とは多少異なっている可能性もある。最適方位を探索し、採用することにより、更なる感度向上が期待できる。

4 LTGA 振動子開発(東京電波株式会社)

4.1 LTGA 振動子開発に至った経緯

TPMS 用振動子の材料として、圧電材料で最もよく使用されている水晶が、まず検討された。しかし、水晶は外部負荷容量による周波数の可変量(以下、制御感度と記す)が小さく使用不可能と判断された。なお、制御感度は振動子等価定数の C1 値に比例する。

その後、ランガサイト(以下、LGS と記す)が材料として選択され開発を開始したが、制御感度は満足出来るものの、エージングによる周波数変動が非常に大きく、又改善される目途も立たなかった為、LGS での開発も断念された。

LTGA は制御感度・エージング特性の両面で要求仕様を満足し、その上振動子の等価

直列抵抗(以下、ESR と記す)の値が非常に低く、発振強度が向上するといった利点も見られた。反面、LGS と比較し、温度による周波数の変化量(以下、温度特性と記す)が大きい為、TPMS システムでの温度補正が若干難しいといった問題もあった。但し、使用不可能となるような致命的欠陥ではなかった為、LTGA を使用し特性改善を行なう方向で開発を進める事が決定された。

4.2 まとめ

ここまでの試作結果から、現状の結晶品質が維持されれば要求仕様を満足する振動子の製造を行う事が可能と考える。また、水晶とほぼ同様の方法で振動子製造が可能な為、大規模な設備投資等を行わずに事業化が可能と考えられる。その反面、振動子特性の改善・結晶自体の評価方法・製造方法の確立等、事業化に向けて解決しなければならない問題点の存在が明確となった。

但し、全ての問題点が現段階では致命的なものではなく、改善が見込まれるものが殆どな為、LTGA は TPMS 用振動子の材料として使用可能と判断される。

5 TPMS センサーとしての LTGA 振動子の使用可能性について(アルプス電気株式会社)

5.1 目的

タイヤ空気圧センサー(TPMS)での振動子について LTGA 振動子の使用可能性などについてまとめる。

5.2 結論

今回の結果から、

- 1) 無色 LTGA 振動子の優位さは見いだせなかった
- 2) 実際に無色 LTGA 振動子を用いたサンプルを作成して信頼性試験を行い、問題無いことを確認した。
- 3) 他のアプリケーションとして、他のタイヤに付けることが出来るかということで、振動子の耐圧試験を行い、問題無かった。
- 4) 現行の仕様を振動子が満足できるのであれば、圧力精度などを満足する TPMS システムを構築できた。

5.3 今後

今回作成したサンプルを元に顧客獲得に進むとともに、多アプリケーションの調査。さらに TPMS システムの先にあるシステムの調査を進め、実用化に向けて行く。技術的には温度特性の改善が残ってしまった。この件も結晶定数を測定し石巻専修大学工藤先生の協力で改善を考える。

6 LTGA 単結晶を用いた厚みすべり振動子の弾性定数の温度特性の解析(石巻専修大学)

6.1 まえがき

TPMS の空気圧センサー用圧電単結晶として、LTGA 単結晶が期待されている。ここでは、LTGA 単結晶を用いた厚みすべり振動子の周波数温度特性を明らかにするために、種々の検討を行った。まず、LGS 及び LTG 単結晶を用いた厚みすべり振動子の温度特性を既に公表されている材料定数をもとに解析する。次に、LTGA 単結晶を用いて作製された厚みすべり振動子の温度特性の実験結果から周波数温度特性の解析を行い、良好な温度特性を持つカット角を推定する。更に、厚みすべり振動子の振動特性を明らかにするために有限要素法を用いた解析手法の検討を行う。

6.2 むすび

LTGA 単結晶を用いた厚みすべり振動子の温度特性を明らかにするために、種々の検討を行った。まず、LGS 及び LTG 単結晶を用いた厚みすべり振動子の周波数温度特性の解析を行った。次に、LTGA 単結晶を用いて作成された厚みすべり振動子の実験結果をもとに、温度特性の推定を行った。更に、有限要素法を用いて厚みすべり振動子を解析するために解析手法の検討を行った。今後、LTGA 単結晶の各種定数値の測定及び良好な温度特性を有するカット角の算出を行うとともに、スプリアス振動の抑圧方法の検討なども実施する予定である。

最終章 全体総括

1. 研究開発成果

安定的な LTGA 結晶育成が得られるかを検討するため連続結晶育成を繰り返す試験を行い、平成 19 年度の 10 個に続いて平成 20 年度に 8 個連続して安定的な育成に成功し、再現性、信頼性のある結晶であることが証明できた。

余剰酸素が格子欠陥と成っている従来方式の育成方法に対する改善策として、従来方式で育成した有色結晶を無酸素雰囲気中で加熱をするアニールを試みたところ、900 × 24 時間の条件で格子欠陥を示す色が消え、無色の結晶が得られた。

これまで LTGA 結晶を 1 号炉にて 2 インチサイズで育成してきたが、平成 19 年度導入した大口径結晶育成用 8 号炉にて 3 インチ及び 4 インチ結晶が育成できた。結晶の均一性を確認するために、精密格子定数及び化学成分を測定し、均一性が確認できた。

LTGA 振動子試作評価結果から、現状の結晶品質が維持されれば要求仕様を満足する振動子の製造を行う事が可能である事が判明した。

家庭用情報家電センサーでは SAW 共振子を試作し、有色結晶と無色結晶の比較を行ない、無色結晶の方が温度特性において変動の少ないことが分かった。平成 20 年度の検討で、LTGA の SAW デバイス適用のための設計基本値の測定ができた。650MHz 帯での動作が確認され、ガラス破壊特有の AE 波を感度よく検知できた。特定周波数領域でも使用可能であると判断できた。

タイヤ空気圧センサー (TPMS) の実際のデバイス評価を行った。LTGA 振動子について高温測定、低温測定、熱衝撃を含めて信頼性試験を行い、LTGA 結晶の信頼性については問題ないことが分かった。現行の仕様を LTGA 振動子が満足できるのであれば、圧力精度などを満足する TPMS システムを構築できると判断できた。

2. 研究開発後の課題・事業化展開

LTGA 結晶製造について平成 21 年度に量産技術確立に向けて技術移転を行った。結晶の育成生産設備を持つ結晶材料メーカーおよび金属加工メーカーの 2 社と連携しライセンス供与をスタートし、技術者を受け入れ技術指導を実行した。両社ともに平成 22 年度中に 4 インチ結晶の量産化が実現する見通しである。

LTGA 振動子製造の課題として水晶とほぼ同様の方法で振動子製造が可能な為、大規模な設備投資等を行わずに事業化が可能になるという優位性がある半面、LTGA 振動子の量産工程における特性ばらつき抑制(歩留向上)のための製造方法及び工程の確立及び量産時の結晶評価(結晶自体及び振動子としての評価、及びその評価方法)、量産時の製造原価計算について検証の余地が残る。

タイヤ空気圧センサーの事業化展開に関しては普通乗用車以外のタイヤ空気圧センサーのアプリケーションとして、応用可能かどうかの判断のため振動子の耐圧試験を行い、問題無いことが確認されたため今回作成したサンプルを元に新規顧客獲得に進むとともに、他のアプリケーションについて調査する。さらに TPMS システムの先にあるシステムの調査を進め、実用化に向けて検討する。

新しいアプリケーション開発として平成 21 年度補正予算におけるものづくり中小企業製品開発等支援補助金を活用してフラットパネルディスプレイ用ガラス基板焼成炉（温度範囲 250 ~ 300℃）に使用される LTGA 無線温度センサーシステムの開発に取り組んだ。平成 22 年 3 月 31 日までに試作機が完成する予定であり、フラットパネルディスプレイ生産歩留まり向上のための画期的な無線温度センサーシステムとなる。さらに高温条件下でもデバイスとして機能する利点を活かし、温度範囲を ~ 800℃ まで広げ、半導体製造工程に使用される装置に組み込まれる温度センサーとして新しい用途開発にも取り組んでいる最中である。今後の事業化計画について以下に示す。

LTGAプロジェクト終了後事業化計画

