

平成 18 年 1 月 31 日

SPring-8 戦略活用プログラム課題利用報告書

① 実験課題番号

2005B0777

② 実施課題名

電子部品の小型化に向けたデバイス中歪の局所構造解析

③ 実験責任者所属機関及び氏名

所属: 太陽誘電株式会社 材料開発部

氏名: 大竹 健二

④ 使用ビームライン

BL10XU

⑤ 結果

⑤-I はじめに (本研究の目的)

本研究の目的は、銀との同時焼成によって生じる積層インダクタ中フェライト材料の格子歪を、放射光を用いて測定し、微小領域における局所構造を理解することによって、デバイス中の応力分布を理解し、抗応力デバイス開発に資する知見を得ることである。実験では、銀と同時焼成されたモデル試料を用い、銀の存在によって生じる格子歪み（すなわち、残留応力）について理解するとともに、本手法をデバイス中の微小領域応力測定手法として確立する。これらの評価結果をもとに、今後の電子部品の小型化に対応したデバイス設計の指針となる知見を整理する。

⑤-II 実験

・試料

図 1 に、実験に用いた試料の模式図と、内部電極の顕微鏡写真を示す。試料サイズは、概ね幅が 1.3mm、長さが 1.98mm、高さが 0.54mm である。図中の黄色い部分が銀電極を示しており、内部には中央の 1 本と上下 2 本ずつのダミー電極が存在しており、合計 5 本の直線的な電極が配置されている。そのうちの 1 本（中央）のみが外部にまで出ており、インダクタンス値はこの 1 本の電極を使って測定可能である。

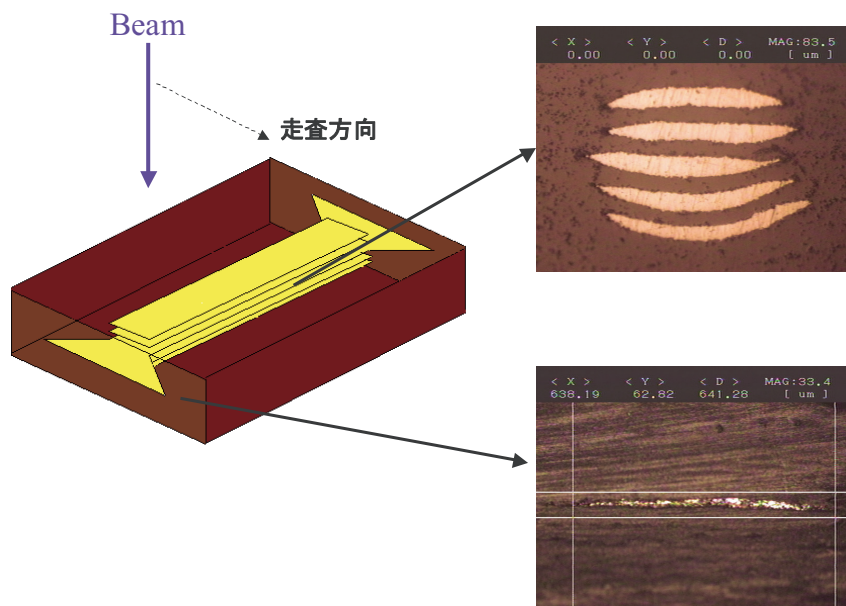


図 1: 実験に用いた試料の模式図 (左) と内部電極の顕微鏡写真 (右)

図 2 に、本試料のインダクタンス値の焼成温度依存性を示す。なお、参考に、本試料に用いたフェライト（銀を含まない）の透磁率の焼成温度依存性も示す。図が示すように、透磁率は焼成温度の高温化に伴い大きくなるが、インダクタンス値は 900°C 焼成の際に最も大きな値を示し、920°C 焼成では低下している。これは、焼成温度の高温化に伴い、銀とフェライトの界面に生じる応力が増したことで、実際の透磁率は低下しているものと考えられる。

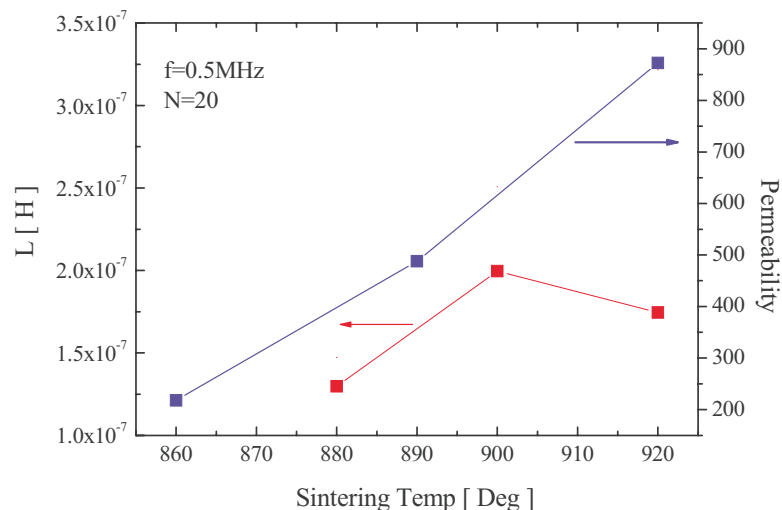


図 2: 図 1 に示した試料のインダクタンス値 (赤) と試料に用いたフェライトの透磁率 (青) の焼成温度依存性。測定周波数は 0.5MHz (インダクタンス値は、N=20 の平均値)

・放射光実験

放射光実験は、BL10XU を用いて実施した。実験では、図 1 に示す方向からビームを入射し、試料を透過した回折パターンをイメージプレート (IP) で測定することによってデバイリングを得た。得られたデバイリングを画像処理することによって回折パターンとし、フェライトの格子定数を決定した。

⑤-III 実験結果

・X 線吸収特性

試料中の各場所での XRD 測定を行う際に、試料中の銀電極の位置を同定する必要がある。銀電極の位置を目視で確認することはできないことから、銀とフェライトの X 線吸収特性の違いを利用して、内部電極の位置の同定を行った。これは図 1 に示した方向からビームを入射し (ビーム径:10 $\mu\text{m}\phi$)、試料を 2 次元的に走査させ、試料を透過してくる X 線の強度を測定するものである。

図 3 に、試料中各場所での X 線吸収特性のマップを示す。図中の黒い部分がより X 線を吸収している領域である。図が示すように、試料の中央部に銀電極による X 線の吸収領域が確認でき、このような測定を行うことによって、外部からは確認できない内部電極の位置を正確に同定することができることが分かった。

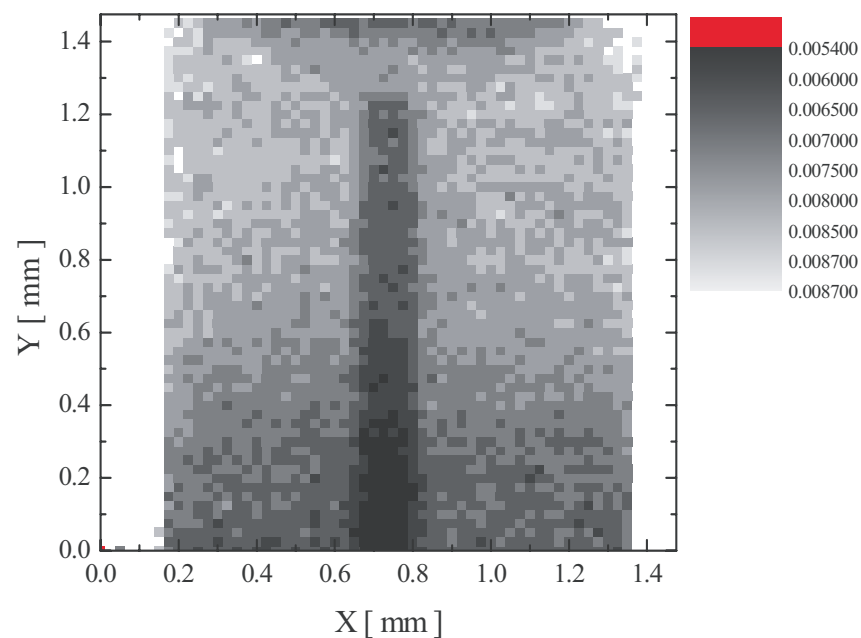


図 3: 試料の各場所における X 線吸収特性マップ 黒い部分がより X 線が吸収されている領域を示す。

・デバイリングの歪み

図4に、920°Cで焼成した試料の銀電極直上で測定したデバイリングと図中の θ を変えて得られるフェライトの回折ピークの変化を示す。なお、 $\theta=0$ および180度が試料の長手方向、90度が幅方向に相当する。

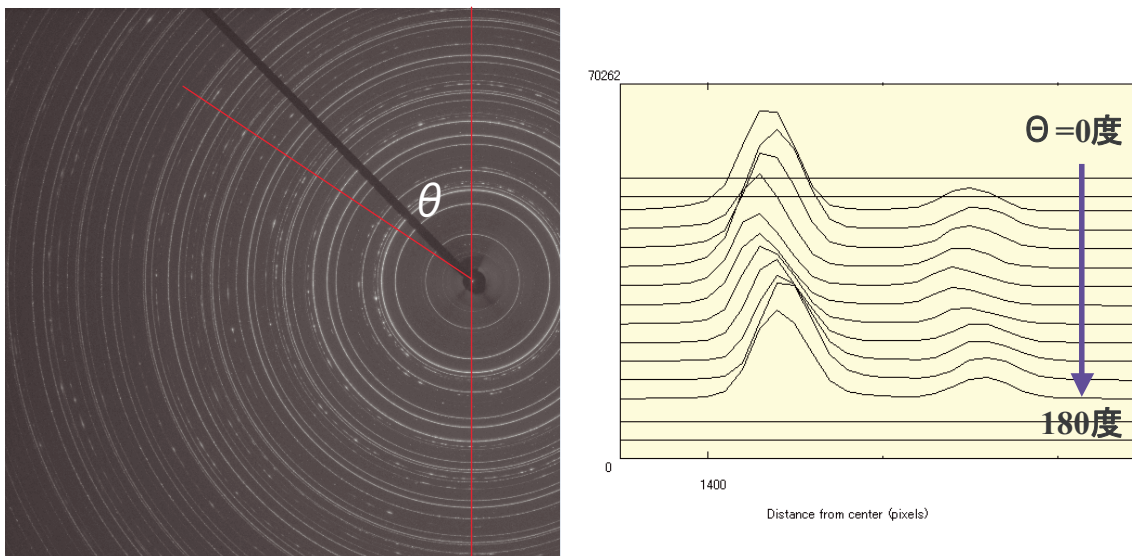


図4: 銀電極直上(920°C焼成)でのデバイリング(左)と回折ピークの θ 依存性(右)
(注; 右図の横軸は回折角度に対応したピクセル数)

図が示すように、フェライトのピーク位置は θ によって系統的に異なり、 θ が90度の方向が最も中心からの距離が短く、 $\theta=0$ 、180度に向かって変化するとともに、中心からの距離が大きくなる。このことは、 $\theta=90$ 度ではフェライトの回折ピークが低角度側にシフトしていることを示しており、 $\theta=90$ 度の方向(すなわち、試料の幅方向)では格子定数が大きくなっていることが考えられる。そこで、解析では、デバイリングの全周では無く、 $\theta=90$ 度の方向を用いてフェライトの回折パターンを得た。

・格子定数

図5に、920°Cで焼成した試料の26.3度付近および29.8度付近のフェライト回折ピークを示す。図中の黒は銀電極直上、赤は銀電極から500 μm 離れた場所での結果である。図が示すように、銀電極直上では、ピークの位置が若干低角度側にシフトしていることが分かり、このことは、銀電極近傍では、フェライトの格子定数が若干大きくなっていることを示唆している。

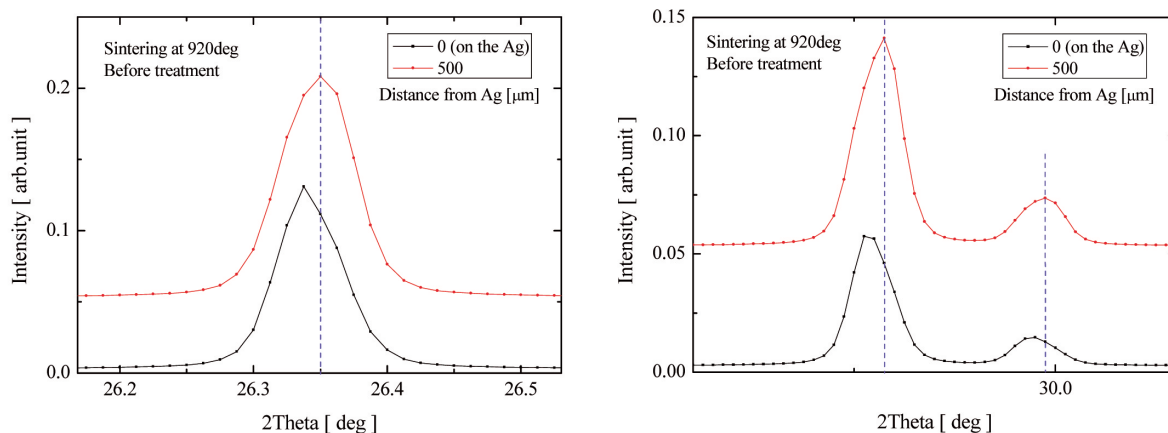


図 5: 920℃焼成で得られた試料のフェライト回折ピーク 26.3 度付近 (左) と 29.8 度付近 (右)

今回の実験では、880℃、920℃で焼成した試料を用いた実験を行った。図 6 に、各試料を用いた測定から得られたフェライトの格子定数の場所依存性を示す。なお、格子定数は、リートベルト解析によって決定した。

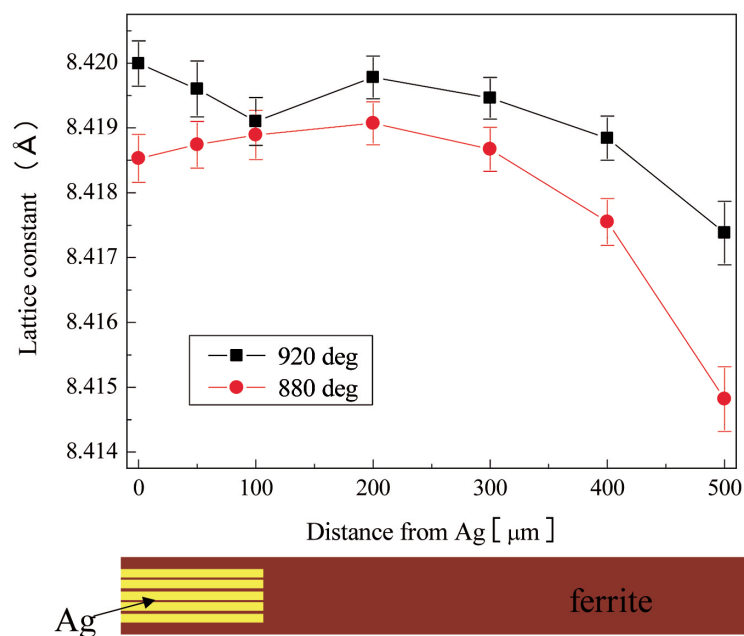


図 6: 各試料におけるフェライト格子定数の場所依存性 920℃焼成 (黒)、880℃焼成 (赤)

図 6 が示すように、920℃焼成試料では全領域において 880℃焼成試料よりも大きな格子

定数が得られた。このことは焼成温度の上昇によって、試料中の広い領域で格子歪みが誘起されることを示唆しており、更に格子定数が大きくなっていることから、フェライトには引っ張り応力が加わっていることが考えられる。また、その方向は、デバイリングの歪みから考えて、試料の幅方向であると考えられる。

また、いずれの試料においても格子定数は場所によって大きく変化しており、試料の中央（銀電極の近傍）に向かって端部から格子定数は大きくなっている。これまでは、銀とフェライト界面の応力はごく近傍にのみ局在してと考えられており、図 6 に示したような広い領域での格子歪みを生じさせる応力が銀とフェライトの接触によって生じるとは考えられていなかった。

このような広範囲に渡る格子歪みの原因としてフェライト中に拡散した銀の影響が考えられる。焼成時に電極から銀が拡散することは知られており、拡散した銀がフェライトに応力を加えていることも報告されている。しかし、拡散した銀の影響を、界面の接触の影響と比べて評価した例は無く、図 6 に示した広範囲に渡るフェライト格子歪みが拡散した銀の影響である可能性は否定できない。そこで、今後は格子歪みの分布を理解するためにも、拡散した銀の影響も含めた検討が必要だと思われる。

⑤-IV まとめと今後の課題

積層インダクタを念頭においたモデル試料を用いた実験の結果、焼成温度の高温化に伴い、フェライトの格子定数が大きくなることが明らかになり、引っ張り応力が誘起されていることが分かった。更に、デバイリングの歪みから判断して、この引っ張り応力は異方的であり、試料の幅方向に生じていると考えられる。格子定数は、試料の広い領域で変化しており、これまで考えられていた銀電極近傍のみで応力が生じているわけではなく、応力は広範囲に渡っていることが示唆される。このような広範囲に渡る応力は、焼成時にフェライト中に拡散した銀の影響の可能性も考えられることから、今後は拡散した銀の影響と銀電極-フェライト界面の影響を分離して評価することが求められる。

今回の検討から、放射光を用いることによって銀と同時焼成されたフェライト材料の格子歪みを評価できることが明らかになった。これまで、内部応力や格子歪みについて評価できる手法が無かったことから、本手法は、今後の部品の小型化に向けた材料開発に有益な評価手法と成り得るものと思われる。

以上