

積層セラミックコンデンサ (MLCC) の 材料・製造・実装技術と最新動向

野村 武史 監修

SAMPLE

まえがき

積層セラミックコンデンサ (Multilayer Ceramic Capacitor, MLCC) が民生用途に本格的に普及し始めてから 40 年以上が経つ。この間、MLCC は急速に生産数を増やすだけでなく、技術的にも科学的にも大いに進歩、発展し、エレクトロニクス産業の今日の隆盛を陰で支えてきた。MLCC の誘電体材料には BaTiO₃ 基材料が用いられてきたが、内部電極は貴金属の Pd から卑金属の Ni へと大きな変革を遂げてきた。内部電極が Pd のままであったなら MLCC は非常に高価な電子部品となり、携帯型電子機器も非常に高価なものになっていたかもしれない。MLCC の飛躍的発展は内部電極の卑金属化なくしては、あり得なかったとも言える。日本の MLCC メーカーの多くの技術者達の弛まぬ努力によって内部電極の卑金属化、小型化、薄層化、多層化が推し進められ今日に到っている。MLCC の研究、技術、生産は日本が世界を圧倒的にリードしてきた分野の一つであり、今後も日本の指導的立場が期待される分野である。現在の高度情報通信時代を支える受動部品として、能動部品の半導体とともに必須の素子となっている。第五世代移動通信 (5G)、IoT、あるいは自動車の EV 化や自動運転システム等で今後ますます需要の拡大が予想されている。

本書では MLCC の基礎から最先端の技術までを、その電気的性質と用途だけでなく製造方法、原材料技術、信頼性技術、誘電体現象論、最先端の開発状況、実装技術等、幅広く網羅し、特に MLCC 技術における一大ブレイクスルー (内部電極の卑金属化) を成し遂げた材料技術が詳しく解説されている。MLCC の小型化、薄層化、多層化は勿論のこと、卑金属化で直面した課題に対しても現象論に留まらず、理論面での解析に基づいて構築された誘電体あるいは信頼性に関する理論が解説されている。MLCC の研究開発の仕事では数多くの日本人技術者が博士号を取得しており、材料分野では最も活発に研究された領域の一つである。絶縁抵抗の劣化現象、長寿命化技術は開発だけでなく研究の対象としても多くの研究者が取り組んできた領域である。長寿命化剤の発見に始まり理論の構築に至るまでの研究過程は多くの研究者を興奮させた。絶縁抵抗の劣化現象に関しては今なお活発に研究が続けられ、毎年、立派な研究報告がなされている。これらの内容について、誘電体分野の研究における第一人者の先生方や、MLCC 関連企業において第一線で活躍中の一流の技術者の方々に執筆して頂いた。最適任の執筆陣であったものと考えられる。本書が MLCC、コンデンサ、あるいは誘電体に関わる技術者、研究者、並びにエレクトロニクス

に携わる技術者、研究者の方々のお役に立つことができれば、と念じている。最後に、本書の企画当初からの R&D 支援センターのご尽力に感謝の意を表する。

昭栄化学工業株式会社

野村 武史

SAMPLE

執筆者一覧（掲載順）

第1章

第1節

野村 武史 昭栄化学工業株式会社 取締役

第2節

小泉 成一 京セラ株式会社 電子部品事業本部 電子部品開発部 部長

第3節・第4節

森田 浩一郎 太陽誘電株式会社 開発研究所 材料開発部

第2章

第1節

藤岡 芳博 京セラ株式会社 ものづくり研究所 誘電体部品開発部

第2節 第1項

堺 英樹 東邦チタニウム株式会社 化学品事業本部 化学品製造開発部
セラミックス開発グループ 主席技師

第2節 第2項 (1)

川村 知栄 太陽誘電株式会社 開発研究所 材料開発部 主任研究員

第2節 第2項 (2)

黒川 晴己 戸田工業株式会社 創造本部 技術開発グループ

第3節 第1項

齊藤 敢 JFE ミネラル株式会社 技術研究所 主任研究員

第3節 第2項

西村 浩輔 昭栄化学工業株式会社 Ni 粉末担当技術課長

第4節・第5節

野村 武史 昭栄化学工業株式会社 取締役

第3章

第1節・第2節

保科 拓也 東京工業大学 物質理工学院 材料系 准教授

第3節

山本 孝 防衛大学校 名誉教授

第4節

森田 浩一郎 太陽誘電株式会社 開発研究所 材料開発部

第5節・第6節・第7節

野村 武史 昭栄化学工業株式会社 取締役

第4章

第1節・第3節

野村 武史 昭栄化学工業株式会社 取締役

第2節

岸 弘志 太陽誘電株式会社 開発研究所 特別顧問

第4節

安川 勝正 京セラ株式会社 ものづくり研究所 誘電体部品開発部

第5章

第1節・第2節

永野 高太郎 太陽誘電株式会社 開発研究所 材料開発部 課長

第3節・第4節・第5節

野村 武史 昭栄化学工業株式会社 取締役

第6章

第1節

深谷 知巳 リンテック株式会社 研究所 製品研究部 剥離材料研究室
主幹研究員

第7章

第1節

佐竹 正宏 ソルダリング テクノロジ センター 代表

第2節

佐々木 信弘 太陽誘電株式会社 開発研究所 材料開発部 部長

第8章

野村 武史 昭栄化学工業株式会社 取締役

目 次

第 1 章 MLCC の概要	1
第 1 節 積層セラミックコンデンサの歴史	2
1 積層セラミックコンデンサの歴史	2
2 内部電極	6
2.1 Pd 電極	6
2.2 Ni 電極	7
第 2 節 市場動向	10
1 市場規模推移	10
2 市場規模拡大の背景	11
2.1 MLCC 単位体積の容量拡大による電解コンデンサへの浸食	11
2.2 成長市場での機器の増加と機器での MLCC 員数増加	12
2.2.1 携帯電話市場	12
2.2.2 5G インフラ市場	13
2.2.3 車載市場	14
第 3 節 特性と特徴	15
1 特性による分類	15
2 直流バイアス特性	16
3 交流電圧特性	16
4 周波数特性	17
第 4 節 小型化・薄層化・多層化	18
1 小型化	18
2 薄層化	19
3 多層化	21

第2章 MLCCの構造・材料 23

第1節 構造・材料 24

- 1 MLCCの構造 24
 - 1.1 MLCCの基本構造 24
 - 1.2 高容量化のための構造検討 25
- 2 MLCCの材料 26
 - 2.1 誘電体材料 26
 - 2.1.1 温度補償系 27
 - 2.1.2 高誘電率系 27
 - 2.2 内部電極材料 27
 - 2.3 外部電極材料 28

第2節 誘電体セラミック 29

第1項 チタン酸バリウムの原料—酸化チタン 29

- 1 はじめに 29
- 2 小粒径化 29
- 3 粒度分布の改善 30
- 4 球状酸化チタン 32
- 5 おわりに 33

第2項 チタン酸バリウムの合成法（1）—固相合成 35

- 1 MLCCの原材料として求められるチタン酸バリウムの粉体物性 35
- 2 BaCO_3 と TiO_2 の固相反応過程 35
- 3 出発原料 BaCO_3 と TiO_2 の均一混合 37
- 4 固相反応の促進と微粒子 BaTiO_3 合成 42

第2項 チタン酸バリウムの合成法（2）—水熱合成 45

- 1 背景と目的 45
- 2 原料の与える影響 46
- 3 まとめ 50

第3節 内部電極用 Ni 粉末の製造法	51
第1項 CVD 法	51
1 CVD 法による超微粉製造の概要	51
2 超微粉の生成反応	51
3 超微粉の成長因子	52
4 CVD 法の Ni 超微粉への応用	52
4.1 Ni 超微粉の生成反応	52
4.2 Ni 超微粉反応装置	53
5 CVD 法で作製した Ni 超微粉の特徴	54
第2項 噴霧熱分解法、PVD 法	57
1 はじめに	57
2 噴霧熱分解法	57
3 PVD 法	58
4 粉末物性の制御	59
4.1 脱ガス成分の抑制	59
4.2 表面物性の制御	60
4.3 粒径と粒度分布	62
5 次世代 MLCC に向けた Ni 粉の設計	63
第4節 端子電極	65
1 端子電極材料	65
2 サーマルクラック	66
3 基板たわみクラック	69
4 はんだクラック	72
第5節 特殊な端子電極	73
1 金属板端子電極	73
2 樹脂端子電極	74
第3章 誘電体材料と MLCC の特性	75
第1節 チタン酸バリウムの誘電分極機構	76
1 はじめに	76
2 チタン酸バリウムの誘電分極	76

2.1	誘電性の微視的起源	76
2.2	チタン酸バリウムの強誘電性	77
2.3	チタン酸バリウムの誘電分極機構	79
3	おわりに	81
第2節 チタン酸バリウムのグレインサイズ効果		83
1	はじめに	83
2	チタン酸バリウムのグレインサイズ効果	83
3	おわりに	88
第3節 MLCCの各種電気的特性		
—現象論的熱力学を用いた特性シミュレーション—		90
1	はじめに	90
2	現象論的熱力学による BaTiO_3 の特性シミュレーション	91
3	誘電率の計算	93
4	格子定数の計算	97
5	結論	98
第4節 高誘電体材料（コアシェル、非コアシェル）		99
1	緒言	99
2	BTZ系材料と非コアシェル構造	100
3	BT系材料とコアシェル構造	101
4	今後のBT系材料動向	104
第5節 低誘電率系材料		105
1	低誘電率材料	105
2	低周波の誘電緩和現象の要因	107
3	低周波の誘電緩和現象のメカニズム	108
第6節 車載用材料		110
1	BaTiO_3 のキュリー温度	110
2	X8R特性	112
3	dcバイアス特性	116
4	X7S特性	117

第 7 節 新規誘電体材料	119
1 巨大誘電率材料： $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$	119
2 その他の巨大誘電率材料	119
3 SnTiO_3	121
4 高温用誘電体材料（無鉛圧電材料）	122
5 タングステンブロンズ材料	123

第 4 章 MLCC の信頼性 127

第 1 節 構造欠陥と信頼性	128
1 信頼性と故障モード	128
2 構造欠陥の分類	130
3 製造プロセスと構造欠陥	132
3.1 積層熱圧着工程	132
3.2 脱脂焼成工程	133
3.3 製造工程と MLCC の強度	136
4 電歪クラック	137

第 2 節 希土類と置換サイト	141
1 BaTiO_3 系耐還元性誘電体材料における希土類元素の添加効果	141
2 シェル相モデル固溶体における希土類元素の置換サイトの解析	142
3 再酸化による誘電特性の変化と希土類元素の置換サイトの関係	143
4 希土類元素のサイト置換量の定量解析	144

第 3 節 内部電極と信頼性	147
1 高温高電圧下での絶縁劣化	147
2 内部電極の影響	149

第 4 節 最新の絶縁劣化解析技術	152
1 はじめに	152
2 故障解析	153
3 劣化箇所解析	154

第5章 MLCCの製造プロセス 157

第1節 セラミックシートの作製 158

- 1 セラミックシートの開発トレンド 158
- 2 工程概要 158
 - 2.1 配合工程 158
 - 2.2 分散工程 160
 - 2.3 塗工工程 161
- 3 最新技術レベル 163

第2節 内部電極印刷 165

- 1 内部電極印刷の開発トレンド 165
- 2 スクリーン印刷工法 165
- 3 スクリーン印刷版 167
- 4 最新技術レベル 168

第3節 積層熱圧着 170

- 1 剥離積層工法 170
- 2 その他の積層工法 173

第4節 脱脂と焼成 175

- 1 脱バインダー 175
- 2 焼成雰囲気 178
- 3 焼成条件 181

第5節 外部電極形成とめっき 183

- 1 外部電極 183
- 2 めっき 185

第6章 MLCC 製造用材料 187

第1節 製造用フィルム（剥離剤） 188

- 1 はじめに 188
- 2 剥離フィルムの要求性能 188
 - 2.1 表面平滑性 189

2.2	スラリー塗工性	190
2.3	スラリー塗工性の評価方法	191
2.4	グリーンシート剥離性	192
3	まとめ	194

第7章 MLCCの実装 195

第1節 MLCCのはんだ実装における品質確保と注意点 196

1	はじめに	196
2	外観観察で確認できる不具合の種	197
3	印刷工程での注意点	200
4	マウント工程における注意点	203
5	リフロー工程における注意点	204
6	おわりに	205

第2節 MLCCの実装上の注意点 208

1	MLCCの特徴	208
2	MLCC基板実装時の応力	208
2.1	たわみ応力	209
2.2	基板歪み	209
2.3	MLCCのケースサイズによる影響	210
3	MLCCの熱衝撃クラック	211

第8章 MLCCの今後の展望 213

SAMPLE

第1章

MLCCの概要

SAMPLE

第1章

MLCCの概要

第1節 積層セラミック コンデンサの歴史

昭栄化学工業株式会社 野村 武史

1 積層セラミックコンデンサの歴史

積層セラミックコンデンサ（Multi-Layered Ceramic Capacitor：MLCC）は、年々生産増加の一途をたどっている。1990年に全世界で約1,000億個の生産量であったが、2016年には全世界で約3兆個も生産されたものと推測されている。最近ではスマートフォン以外にも、IoTあるいは自動車のEV化や自動運転技術などにより、需要が急速に拡大しつつある。Connected（コネクテッド、繋がる）、Autonomous（自動運転）、Shared & Service（シェアリングとサービス）、Electric（電気自動車）のいわゆるCASEと呼ばれるキーワードが自動車の方向性を示す指針といわれている。1960年代にオルタネータ、イグナイタ、スタータといった電装品に半導体素子が採用されて以降、カーエレクトロニクス化の歩みが着実かつ急速に進展してきた。最近では、先進運転支援システム（ADAS）としてさまざまな機能が開発されている。あらゆる機能に電子制御、電動化が組み込まれ、電子制御ユニット（ECU）の数は車1台あたり約70個にも達し、高級車では100個以上のECUが使用されているという。半導体素子がそれだけ多く使われると、受動素子のコンデンサもノイズ対策、電圧降下対策あるいは電源電圧の平滑化等にたくさん必要とされ、なかでもMLCCは高い信頼性、使い勝手の良さ、あるいは小型で低価格である等の理由から車載電子回路に多用されている。この先、通信技術の5Gによって爆発的増加も予測されている。部品の実装技術がリードスルー実装から表面実装技術へと変革することにより各種電子機器の軽薄短小化が可能となり、これに伴って単板型の円板コンデンサから積層型のMLCCへと代わることにより一気にコンデンサの小型化が進んできた。これにより電子機器はさらに小型化が進められ、今日の携帯型電子機器へと進化してきたのである。セラミックコンデンサが誕生して以来、セラミックコンデンサあるいはMLCCに常に要求されてきたことは次の4項目である。1) 小型化、2) 高容量化、3) 高信頼性化、4) 低価格化、である。これら4つの市場要求は今後も変わらないものと考えられている。

セラミックコンデンサあるいはMLCCの歴史は意外にも古くから始まっている。MLCC

の歴史は一言でいうと、低価格化の歴史であるといえる。MLCC の歴史を模式的に図 1 に示す。ディスクタイプのコンデンサが初めて発表されたのは 1920 年、Siemens 社からであった。TiO₂ セラミックスを誘電体、Ag を電極とするものであった。その後、1933 年に MLCC の原型が発明され、US Naval Research を中心に開発が進められていった。1943 年に DuPont 社から積層タイプのコンデンサが、TiO₂ セラミックスと Ag 電極の組み合わせで発表された。1942 年に米国で Wainer と Salomon¹⁾ が、1944 年に日本で小川と和久²⁾ が、同じく 1944 年にソ連で Vul と Goldman³⁾ が BaTiO₃ をそれぞれ独立に発見している。その驚異的な誘電率の高さゆえに大いに研究され始めた。その後、1947 年に Howatt⁴⁾ が今日の MLCC の基礎となるシート成形技術を開発し、TiO₂ 基誘電体と AuPt 電極を用いて MLCC の原型ともいえるべきものを作製した。ドライシートの両面に AuPt 電極をコートし数層積み重ねた後、焼成して一体化したブロックを得ることに成功している。この方法により小さな体積で大きな静電容量を得ている。この一体焼成は高温焼成が必要なため、高価な貴金属ペーストを必要とした。そこで彼らは、シートを焼成後に Ag ペーストを焼き付け、そこにリード線を少量のはんだではんだ付け、あるいはスポット溶接により取り付け、積み重ねるということで大きな静電容量を得ている。それを Sprague 社が製造したものを図 2 に示す。一方、彼らのシート成形技術は、その後の円板コンデンサの高生産性製造システムのシート成形、打ち抜き工法の基礎となるもので、画期的であった。産業的には 1980 年代まではシート成形打ち抜き工法による円板コンデンサが全盛であった。

Howatt のシート成形技術発表以降、米国 RCA 社や米国海軍研究所が中心となって BaTiO₃ 基誘電体と Pt 電極を用いた MLCC の開発が進められた。しかしながら、高価な

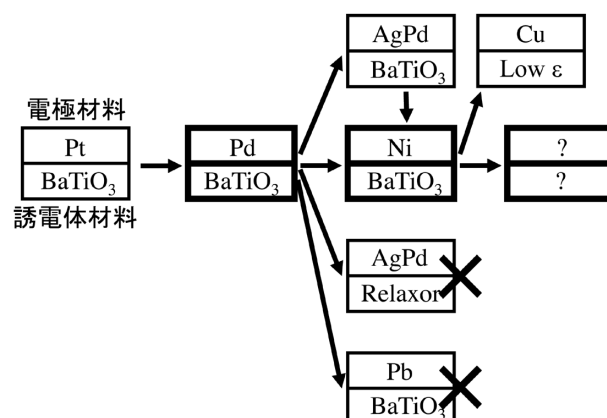


図 1 積層セラミックコンデンサの歴史

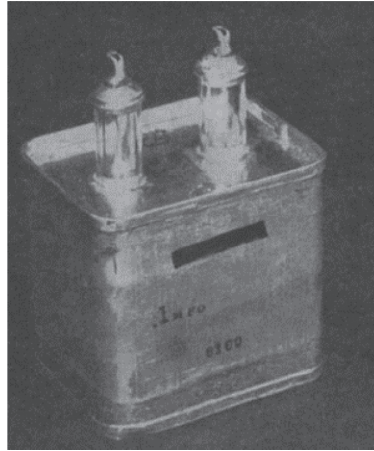


図2 積層セラミックコンデンサのプロトタイプ

Ptを用いていたことから、この MLCC は軍用に供給され、民間用にはなかなか普及しなかった。その後、1960 年代には Pt よりも当時は圧倒的に低価格な Pd（当時は Pt が約 2,000 円 /g、Pd が約 450 円 /g）を内部電極に用いた MLCC が米国で開発され、日本企業も 1970 年代にその技術を導入していった。しかしながら、Pd も貴金属で高価であったことから、これらの MLCC の普及には電極のコストが大きな壁になっていた。そのような状況の中、1963 年には Herbert⁵⁾ が卑金属電極（Base Metal Electrode : BME）を意識した耐還元性 BaTiO₃ セラミックスの研究を発表している。Fe 族の金属を内部電極に用いることを前提にした研究であり、還元性雰囲気中での焼成でも還元しない BaTiO₃ セラミックスが MnO 添加で得られることを報告している。それ以後、多くの研究者が耐還元性 BaTiO₃ セラミックスの開発に取り組むこととなった。1975 年には Burn と Maher⁶⁾ が Mn をドーピングした BaTiO₃-CaZrO₃ セラミックスを CO-CO₂ の還元雰囲気中で焼成し、絶縁抵抗の高い BME-MLCC 用セラミック誘電体を得ている。この頃は耐還元性 BaTiO₃ の研究の最盛期となった。1981 年には Hageman と Hennings⁷⁾ が Mn、Cr、Co といったアクセプターイオンのドーピングにより耐還元性に優れた BME-MLCC 用誘電体得られることを報告している。また、Sakabe ら⁸⁾ は Ba の一部を Ca で置換し、さらに化学量論組成よりも A サイトリッチにすることにより耐還元性に優れたセラミック誘電体得られることを報告した。1970 年代に耐還元性 BaTiO₃ セラミックスの原型はほぼ完成に至った。これらの研究成果をもとに、1970 年代半ばには米国で Centralab 社が Ni 内部電極 MLCC をいち早く市場に投入した。しかしながら、この製品は初期特性が非常に優れていたものの、絶縁抵抗の寿命が非常に短いという致命的な欠陥を露呈してしまった。使用され始めてから半年も経たないうちに絶縁抵抗が低下してしまい、回路に大きな電流が流れ、ついにはショートしてしまい

発火に至る事故が市場で頻発したのである。この事故を受けて市場には Ni アレルギーが蔓延したのである。この事故をきっかけに米国のコンデンサメーカーは Ni 内部電極を諦め、AgPd 内部電極 MLCC の開発へと大きく方向転換をすることになった。

この頃、日本では 3216 タイプの Pd 内部電極 MLCC がベアチップの形で初めて民生用途に採用された。1977 年に発売された松下電器産業のペッパーラジオである。これをきっかけに表面実装技術の進展とともに Pd 内部電極 MLCC が本格的に拡大しようとしていた。1980 年代には Pd 内部電極 MLCC が民生用途にも徐々に採用が進んでいったものの、Pd の価格上昇が大きく、Pd 使用量低減のために内部電極の薄層化の取り組みが鋭意進められていった。

電極コストの問題は MLCC にとって最大の課題であった。Pd の価格は 1985 年前後では 450 ~ 750 円 /g であった。当時、Ni は 0.6 ~ 0.7 円 /g ということで Ni 化あるいは技術的確度の高い AgPd 化の動きがあり、米国では Ni の失敗ゆえに AgPd 化が進み、日本では AgPd 化と Ni 化の両方が検討されたのである。AgPd 化の場合には、BaTiO₃ 基誘電体の低温焼結化が必要とされ、BaTiO₃+ ガラスの検討が盛んに試みられた。そんな中、ユニークな方法が Rutt⁹⁾ により 1972 年に発表されている。内部電極層にカーボンペーストを印刷してグリーンチップを作製し、焼成後に生じた電極層の空洞に後から溶融した Pb を圧入するというものであった。Pb は価格も安く融点も低いので製造しやすい。非常に良いアイデアではあったが、残念ながら製造の安定性と特性ばらつきの問題から実用化には至らなかった。Yonezawa¹⁰⁾ らによって発表された鉛複合ペロブスカイト化合物 PMT-PT を用いた MLCC は焼結温度が比較的低くて済むことから内部電極に AgPd を用いることができた。この大容量コンデンサは樹脂モールドされた大型のものが産業用に使用されていった。内部電極を Pd から AgPd へという流れの中で、PMN-PT 等の鉛複合ペロブスカイトを誘電体として用いた MLCC の開発が意欲的に進められたものの、PbO を含有するために湿度に弱い、あるいは鉛の溶出といった問題のためにベアチップとしては信頼性を確保することができず、樹脂モールドタイプに限定されていた。ベアチップタイプとしては、MLCC の開発は BaTiO₃+ ガラスと AgPd 電極の組み合わせ、および BaTiO₃ と Ni 電極の組み合わせの 2 つに絞られることとなった。Pd の価格高騰もあり 1980 年代後半からは寿命の短い Ni 内部電極 MLCC でも誘電体層を厚くして寿命を長くし、さらには樹脂モールドを行った製品が日本メーカーから徐々に市場に投入されていった。このように高価な Pd からの束縛を逃れる技術開発が混沌とした状況の中、1987 年に Fujikawa ら¹¹⁾ は X7R 特性の Ni-MLCC を発表している。欧米メーカーを中心とした Ni アレルギーが蔓延している状況では、この発表は残念ながらユーザーに受け入れられることはなかった。信頼性が

高いことはもちろん、絶縁抵抗の寿命のメカニズムに関する理論的裏づけが求められていた。この時代、Pd-MLCC でさえ X7R 特性は BaTiO_3 に $\text{Nb}_2\text{O}_5\text{-Co}_2\text{O}_3$ を複合添加した材料が TAM Ceramics 社から独占的に出されているだけであり、市場ではポピュラーなものではなかった。X7R 特性のような温度に対する静電容量の変化率が小さい MLCC へのニーズは強く存在したものの、消去法で温度に対する安定性は低い静電容量の大きな Y5V 特性が主流の時代であった。絶縁抵抗の寿命の理論的説明がなされないままではあったが、Saito ら¹²⁾ は 1990 年に Ho 添加により信頼性の高い X7R 特性の Ni-MLCC を報告している。さらに 1993 年には Shizuno ら¹³⁾ が同じく Ho 添加により Y5V 特性の Ni-MLCC を報告した。1990 年には Nomura ら¹⁴⁾ が希土類酸化物の添加、再酸化アニール、および粒界化学の制御によって絶縁抵抗の寿命が非常に長い高信頼性 Ni-MLCC を報告し、1992 年と 1993 年には絶縁抵抗の長寿命化に関するメカニズムを報告している^{15,16)}。希土類酸化物の添加、再酸化アニール、および粒界化学の制御によって絶縁抵抗の寿命が非常に長く、Pd-MLCC に匹敵する高信頼性 Ni-MLCC が可能になった。これにより Ni アレルギーの強かった米国メーカーも含めて 1992 年頃から高信頼性 Ni-MLCC の採用が徐々に進み、1994 年以降は急速に Pd-MLCC に取って代わっていった。今日では全世界で生産される MLCC の 95% 以上が Ni 内部電極となっている。日本の技術者たちの諦めない取り組みが成功につながった事例である。その後、Yoneda ら¹⁷⁾ は 1997 年に低温焼結の高 Q を有する Cu 内部電極 MLCC を発表している。これはあくまでも高い品質係数を得るために導電率の高い Cu を内部電極として用いたものであるが、常誘電体で耐還元性の高いセラミック材料であったために Cu 電極を実現することができた。この手法は高誘電率系の BaTiO_3 基誘電体材料に適用することができないため、Cu 電極はポスト Pd 電極にはならず、高周波用の一部の MLCC に採用されるにとどまっている。

2 内部電極

2.1 Pd 電極

MLCC が開発された当初、内部電極には Pt が用いられた。最大の理由は強誘電体である BaTiO_3 が酸化物であるがゆえに空気中で、しかも $1,300^\circ\text{C}$ 以上という高温で焼成されることであった。この条件に合う金属材料として、融点が高く空気中でも酸化しない貴金属の Pt が採用された。しかしながら、Pt では内部電極コストがあまりにも高すぎるために、貴金属の中でも当時は価格が比較的安い Pd（現在は Pt よりも高い）が電極として使われるようになっていった。1985 年頃の価格は Pt が約 2,000 円 /g、Pd が約 450 円 /g であっ