

車載電子機器の動向と材料ニーズ

石井利昭

(株)日立製作所 オートモティブシステム 第一電子設計部

ABSTRACT

Vehicles to realize low emission, safety driving and comfortable compartments are increasingly required. For environment, the market of hybrid vehicles is expanding contributing to reducing CO₂ emission and fuel consumption. To materialize more safety vehicles, the future active safety system is being developed. Systems for next generation vehicles are electrically-powered and electronically-controlled, so the system require many electronics such as sensing devices, electronically control components, a inverter and control units. Those electronically components should be not only small, lightweight and low cost but also highly reliable. The higher power density of the component due to smaller packaging are required technologies of high heat dissipation and heat resistance. We place expectations on materials technology, especially organic materials as a break-through technology for automotive electronics. Novel materials and approaches for automotive electronics are presented.

1. 自動車の電子システム

安全で快適そして環境にやさしい自動車が求められている。シートベルトの着用により交通事故による犠牲者は減少しているものの、事故件数は依然として高く、クルマの安全面では、事故そのものを防止する予防安全技術への期待が高い。一方、環境面ではエンジン制御の高効率化による燃費向上、排ガスのクリーン化が進められている。また、近年、燃費の良いハイブリッド自動車への期待が高い。自動車に搭載される電気・電子部品数は増加しているが、次世代の自動車では電動制御技術や電動化技術が不可欠であるため、今後、更に搭載数が増加していくことが予想される。予防安全を目的とした電動制御システムの例を図1に示す。このシステムは、車輻前方に設けられたカメラや、レーダーからの情報をもとに障害物を事前に察知し、電動ステアリング、電動ブレーキ、サスペンションを駆動制御することで車体の動きを制御し危険を回避するシステムである。また、ナビゲーションシステムやネットワークを介して、自車の運行情報や故障情報、渋滞情報等を車外とやり取りすることで、より快適で安全な走行を目指している。このように、ブレーキやステアリング、サスペンションを電動制御化する技術はx-by-wire 技術とも呼ばれ安全性の向上の他、従来油圧制御されていた部品が電動化により軽量化できるため、燃費の向上も期待できる。一方で、部品の電子制御装置は搭載場所が車内の様々な場所へに広がるため、温度や振動、排ガスやオイルにさらされるなど過酷な条件下で使用されるようになる。

環境面では、燃費や排ガスのクリーン化の規制が年々厳しさを増す中、ガソリンエンジン自動車では、車速や空気流量等から燃料噴射量をきめ細かく制御する電子制御システムによる低燃費化技術と排ガスから触媒システムによりハドロカーボン、窒素酸化物、硫黄酸化物を除去する排ガスクリーン化技術が高度化している。また、近年では二酸化炭素

の削減、燃費の向上効果の大きいハイブリッド自動車が注目されており、2010 年には約 200 万台以上の生産数に上ると予想されている。ハイブリッドシステムは小型で効率の良いモーター、大容量の電池、インバータシステムなどの各部品開発が重要である。

このように自動車においては、電動化と電動制御システムが欠かせない技術である。このシステムを構成する電動化部品や電子制御装置は、より高容量でかつ小型化が要求されており、放熱性の向上と信頼性の確保が課題である。特に信頼性に関しては、パソコンや携帯電話といった民生機器に比べ数段高いレベルを低コストで実現しなければならない。

電子機器の高性能化や高信頼性化には、個々の部品の材料技術が重要な役割を果たしている。ここでは、車載電子機器の課題と材料技術への要求をまとめ、材料技術の開発状況を紹介する。

2. 車載電子機器の要求特性と課題

代表的な車載電子制御装置 (ECU: Electronic Control Unit) であるエンジンコントロールユニットを図2に示す。この ECU は車速やアクセルからの情報をもとに、エンジンを効率よく稼働させるため、燃料や空気流量を制御する装置である。ECU の基本的な構造は、プリント配線基板上に、LSI やパワー素子、抵抗、コンデンサーなどの電子部品がはんだで接続されている。

ECU の搭載環境を振動と温度に注目し図3にまとめて示す。ECU の搭載位置は比較的マイルドな条件の車室内環境から、エンジンルームやエンジン搭載になるにつれ温度が高く、かつ振動が激し

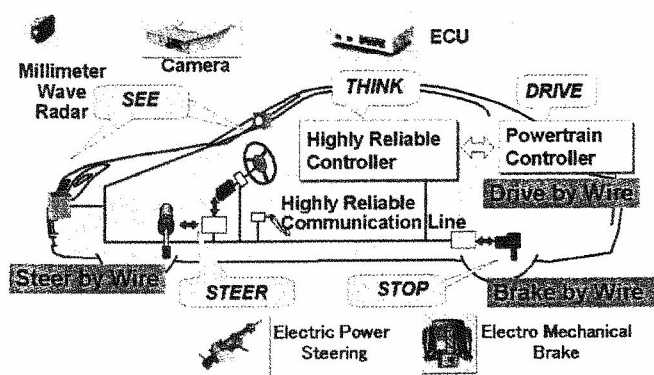


Fig. 1 Active Safety System

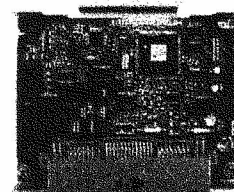


Fig. 2 Over view of Electronic Control Unit

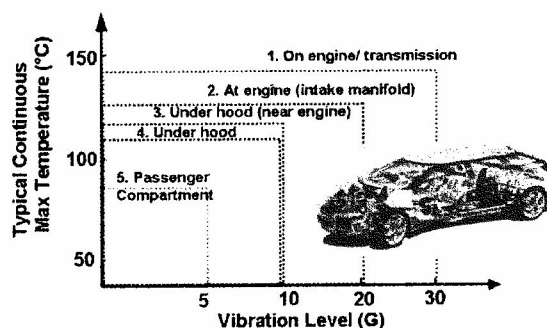


Fig. 3 Temperature and vibration level in various place of car

くなっていく。次世代の電動制御技術では、エンジンルーム内への ECU の搭載数が増えるので、30G を超える振動や 150℃ 以上の熱への対応技術が必要になると考えられる[1]。

図4に電子・電気機器の単位体積あたりの発熱量と耐熱温度を示す。ECU ではエンジン直載型やインエンジン型では、素子の自己発熱を含めると 150℃ 程度のシリコンの動作限界に近い温度領域での使用になっていくと予想される。発熱量の大きいハイブリッド自動車(HEV)用のインバータでは現在、専用の冷却システムを有しているものの、小型化、低コスト化のため、発熱密度が増加する傾向にあり、素子や部材の耐熱性や効率良い放熱技術が求められている。また、将来シリコンに変わる半導体素材として、シリコンカーバイドなど新素子の採用も考えられている。その場合、高効率化のため高温での動作が必要となり、動作環境が高温化すると予想されている。以上から、各電子制御装置の設置環境は、振動や温度など過酷になっていくこと、また装置自体の発熱量も高くなっていくと言える。

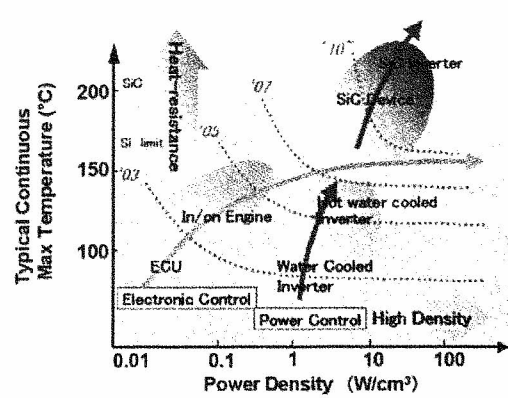


Fig. 4 Power density trends in car electronics

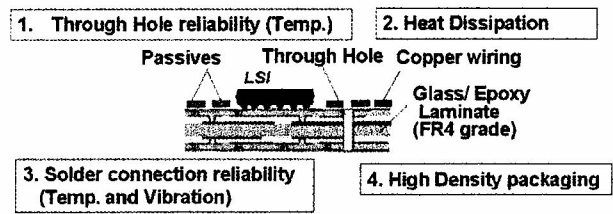


Fig. 5 Cross sectional view of Electronic Control Unit

ECU の断面構造を図5に示す。ガラスファイバとエポキシ樹脂からなる基板上に各電子部品がはんだ付けで搭載され、全体が金属あるいは樹脂製のケース内に収められている。このような構造の技術課題は、①基板の上下面の配線するスルーホール信頼性の確保、②放熱性の向上、③高温下、高振動下でははんだ接合部の接続信頼性の向上、④高密度実装化が挙げられている。図3、図4に示した、高温化、高振動化、高パワー密度化の動向の中、これまでの材料では、上記の課題への対応が困難になってきている。

Table 1 Materials Needs for Car Electronic Packaging

Social Needs	Vehicle System	Component Requirement	Materials needs	Approach
Environ- ment	Electric powertrain (HEV, EV)	High thermal Resistant	High thermal stability and conductivity	High Thermal Conductive Resin
				Epoxy-Silicon Hybrid Resin
Safety	Drive control System X by Wire	High thermal and vibration resistant	Low Thermal Expansion	Resin Molded ECU
Comfort	Navigation Telematics Entertainment	High density packaging (Embedded passive)	High/Low dielectric materials	Polymer-Ceramics Nanocomposite

3. 次世代自動車に向けた材料ニーズ

次世代自動車の電子機器における材料ニーズを表1にまとめて示す。まず、環境分野では、高容量化が進められている HEV や、ECU の発熱対策で、高熱伝導の材料ニーズが大きい。また、安全では、x-by-wire を中心とする電動制御の分野で、高温、高振動下での高信頼な接続を目的とし低熱膨張の材料ニーズが大きい。快適分野では、ナビゲーションシステムやテレマティクスで高密度実装の要求が高く、キャパシタなどの受動素子を基板内に内蔵に向けた誘電率制御材料へのニーズがある。

これらの材料ニーズに対する開発例を幾つか紹介していく。

(1) 樹脂封止技術

電子部品を固定するはんだ付け部分は、温度変化や振動により歪みを生じ、繰り返しの歪み変化で断線に至る。高信頼性化と耐熱性、耐振性の向上には、樹脂封止等によりはんだ付け部分の歪みを抑えることが有効である。図6に封止前後でのはんだ部の歪み変化を示す。接合部に生じる歪みを樹脂封止により1/10程度に低減し、温度サイクル下の接続寿命も数十倍長寿命化される。また、振動に対しても50G以上の高い耐振性を有する。これら全体が樹脂で固められたECUは、低熱膨張のエポキシ樹脂複合材料で行われている。この材料はエポキシ樹脂中に熱膨張率の低いシリカ粒子を高密度に充填した低熱膨張化技術が特徴である(図7)[2]。

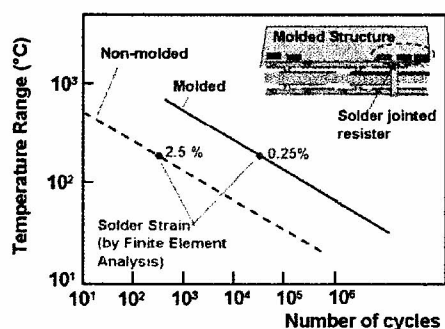


Fig. 6 Reliability of Solder Joints of Resistor

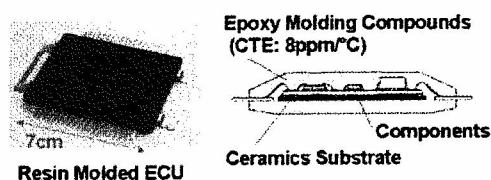


Fig. 7 Resin Molded ECU

(2) エポキシ-シリコンハイブリッド樹脂

配線基板や封止樹脂の高耐熱化、低熱膨張化を目的に、シリコンハイブリッド材料の検討が行われている[3]。この材料は、シリコンのナノオーダーの微粒子によりエポキシ樹脂の網目の運動を拘束することにより、ガラス転移温度の上昇と低熱膨張化を図るものである(図8)。図9に弾性率のおよび、線膨張係数の温度依存性を示す。従来材に比べ、高温での弾性率が増加し、熱膨張率が低くなっていることが分る。この素材をもとに配線基板を試作し特性を比較した結果を表2に示す。樹脂構造自体の耐熱性が高いFR5に匹敵する耐熱性を有し、かつ熱

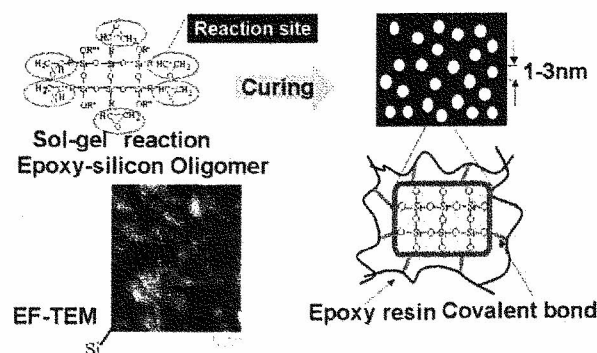


Fig. 8 Concept of Epoxy-Silicone Hybrid resin

膨張係数が低く抑えられていることが分る。これにより、配線基板のスルーホールの接続信頼性等も向上していくことが期待される。

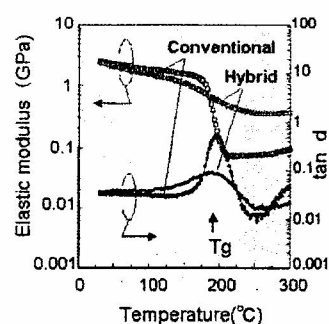


Fig. 9.1 Temperature dependency of elastic modulus

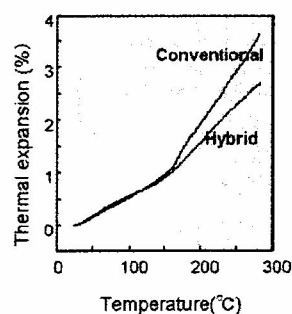


Fig. 9.2 Temperature dependency of thermal expansion

Table 2 General Properties of Laminate

Property	Condition	Hybrid lam.	Epoxy (FR-5)
Elastic modulus (GPa)	25°C	22	22
Grass transition temperature (°C)	260°C	20	9
	DMA	non	206
Thermal expansion coefficient (ppm/K)	50-100°C	43	41
	200-250°C	162	300
Peel strength (kN/m)	25°C	1.4	1.4
Dielectric constant	1MHz	5.0	4.8
Dissipation factor	1MHz	0.02	0.02
Water absorption (wt%)	PCT-3hr	0.8	0.6

(3) 高熱伝導樹脂

有機材料は電子機器の放熱のボトルネックとなっており、放熱性の改良が強く求められてきた。従来は、樹脂中に高放熱の充填材を高配合することにより高熱伝導化がなされてきたものの、このような複合化技術では限界になってきている。そこで、樹脂そのものを高熱伝導化する方

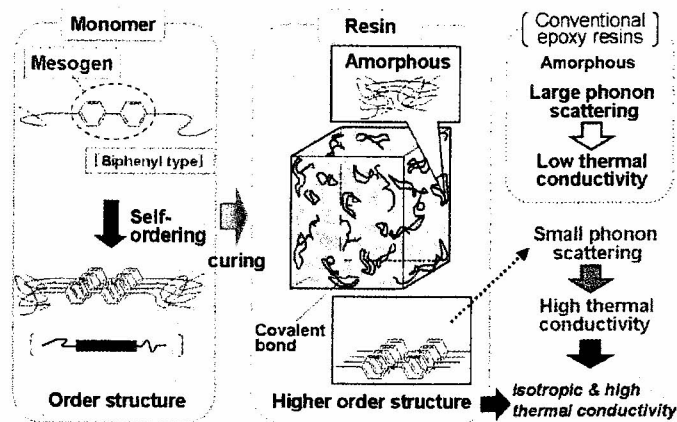


Fig. 10 Concept of Thermal Conductive

法が検討されている[4][5]。高熱伝導化に関する概念図を図10に示す。エポキシ樹脂の骨格中に結晶性の基を導入し、硬化時に分子間で秩序構造を形成することで高熱伝導化を図る方法である。この樹脂構造は単体では従来の樹脂に比べ5倍の高熱伝導化が可能であるこ

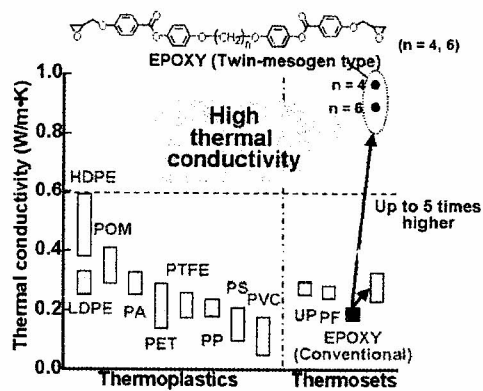


Fig. 11 Thermal conductivities of various resins

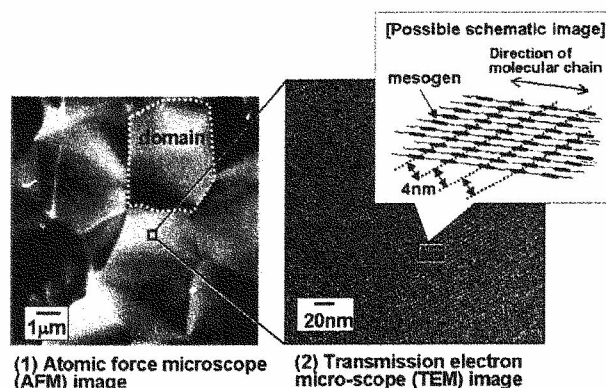


Fig. 12 Nanoscopic and mesoscopic images of high-order structures

とが確認された(図11)。図12に樹脂の微細構造の分析結果を示す。数μmオーダーのドメインからなっておりドメイン内ではメソゲンの配列による秩序構造が形成されていることが分った。このため、等方的な機械特性を有し、かつ高い熱伝導性を示すことが期待できる。また、樹脂中に高熱伝導の充填材を充填した複合材料とした場合、熱伝導のボトルネックが解消されたことにより、図13に示すように大きな熱伝導率の向上効果を得ることができる。

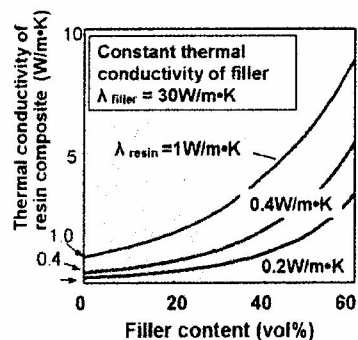


Fig. 13 Filler content dependence of thermal conductivities of resin composites.

(4) ポリマーセラミクスナノコンポジット

受動素子の基板内への埋め込みを目的として、高誘電率材料の開発が行われている[6]。この材料はのコンセプトを図14に示す。単体で誘電率の高いチタン酸バリウムをコアとしその周囲をハイパーブランチ構造を有する高誘電のメタロナフタロシアニン[7]で表面修飾した。これを高耐熱のポリアミド/ビスマレイミドブレンド樹脂中に分散することにより、単体の比誘電率を 80 (1MHz) まで高められた。この材料をもとに基板中にキャパシタ構造を埋め込んだ 6 層の多層基板が試作された。その断面図を図15 に、基板特性と表3に示す。現在のところ8nF/cm² のキャパシタ特性を得ることができた。また基板特性も良好な結果が得られている。

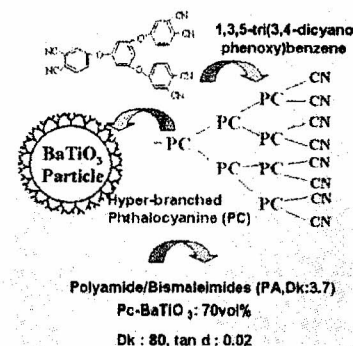


Fig. 14 Concept of High dielectric materials

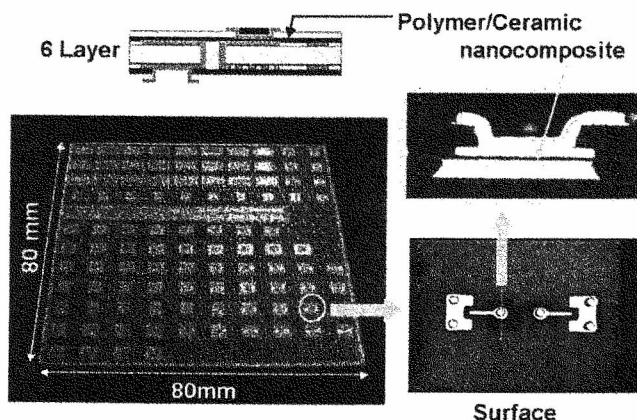


Fig. 15 6-layer Wiring substrate with embedded capacitor

Table 3 Dielectric and general properties of substrate

Property		Pc-BTO : 70vol%
Thickness	—	9 μ m
Peel strength	A	0.7 kN/m
Dielectric constant	1 MHz	82
$\tan \delta$	1 MHz	0.02
Specific Capacitance	1 MHz	8 nF/cm ²
Break down V	—	> 200V
Leak current	at 10 V	< 10 ⁻¹⁰ A/cm ²
Solder float	260 $^{\circ}$ C	> 300 s
Electrical migration	RH85%/85 $^{\circ}$ C /35V	> 800 hrs

4. まとめ

- (1) 安全、快適で環境にやさしい自動車を実現するため、ハイブリッド自動車を中心とする電動化技術や、x-by-wire と呼ばれる電動制御化技術の開発が進められている。
- (2) これらの技術では電気・電子部品の小型化要求が高く、かつ容量は増大しているので体積あたりの発熱量は増加していく。また設置環境はこれまでよりも高温、高振動となるので、これまでよりも高放熱で高信頼な電子機器の開発が課題となっている。
- (3) 電気・電子部品の高性能化、高信頼性化のブレークスルー技術として材料技術への期待が大きい。材料の、高耐熱化、低熱膨張化、高熱伝導化、誘電率制御等が検討されている。

5. 参考文献

- [1] Masayuki Hattori, Proceeding of Microelectronics Symposium 2005, 9(2005)
- [2] *Hitachi Review*, 2006.1 p67.
- [3] Akio Takahashi, Yuichi Satsu, Akira Nagai, Morimichi Umino, and Yoshihiro Nakamura, *IEEE Transsaction on Electronics Packaging Manufacturing*, 28(2), 163(2005)
- [4] K. Fukushima, H. Takahashi, Y. Takezawa, M. Hattori, M. Itoh, and M. Yonekura, SAE Technical Paper Series, 2005-01-1673, (2005). [2005 SAE World Congress, Detroit, Michigan, April(2005)]
- [5] A. Shiota and C.K.Ober, *J. Polym. Sci. Part A: Polym. Chem.* 34, 1291 (1996)
- [6] Li Li, Akio Takahashi, Jianjun Hao, Ryouhei Kikuchi, Teruaki Hayakawa, Taka-Aki Tsurumi, and Masa-aki Kakimoto, *IEEE Transsaction on Electronics Packaging Manufacturing*, 28(4), 754(2005)
- [7] *Nature*, Vol. 419 (2002) pp. 284-287