

エコカー用の電池監視システムの性能向上に寄与する半導体デバイス技術

Semiconductor Device Technologies for Battery Monitoring Systems of Eco-Friendly Automobiles

塩谷 敏男 SHIOTANI Toshio 飯田 昭男 IIDA Akio 江越 秀徳 EGOSHI Hidenori

近年、地球温暖化・大気汚染対策として、様々な国や地域で自動車への環境規制が強化されており、自動車業界は、電気自動車（EV）やハイブリッド電気自動車（HEV）に代表されるエコカーの開発を加速している。エコカーでは、航続距離を延伸するため、走行用バッテリーの効率的利用を目的として電池監視システム（BMS）が搭載されている。

東芝デバイス&ストレージ（株）は、BMSの性能向上に寄与する様々な半導体デバイスを開発している。BMS内の信号通信に使用されるフォトカプラーや、バッテリーの予備充電と本充電切り替え時やBMS回路の地絡検出用のスイッチとして使用されるフォトリレー、バッテリー大容量化に対応したバッテリーセル間の残量調整に使用されるMOSFET（金属酸化膜半導体型電界効果トランジスター）などの製品化を推進している。

In the automobile industry, strengthening of environmental regulations related to automobiles throughout the world has led to the accelerated development of eco-friendly automobiles, including electric vehicles (EVs) and hybrid EVs (HEVs), as a measure against global warming and air pollution. The battery monitoring system (BMS), which controls the charging and discharging of the rechargeable battery system and manages its operating conditions for efficient running, plays a key role in expanding the cruising range of these eco-friendly automobiles.

Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation has been developing and supplying various automotive semiconductor devices that are contributing to the enhancement of BMS performance. These include photocouplers to transfer signals between battery monitoring integrated circuits (ICs) and the microcontroller in the BMS circuit, photorelays to switch from preliminary charging to main charging and to detect any ground fault in the BMS circuit, and metal-oxide-semiconductor field-effect transistors (MOSFETs) to implement cell balancing corresponding to increased battery capacity.

1. まえがき

地球温暖化と大気汚染に端を発した環境意識の高まりとともに、様々な国や地域で自動車に対する環境規制が強化されている（図1）⁽¹⁾。これらの環境規制をクリアする一つの形として、各自動車メーカーは、EVやHEVなどのエコカー（環境対応車）の開発を進め、市場の車種は増加を続けている。一方、市場環境としても、ガソリン価格の高騰や環境対応車に対する税優遇などに加え、高級自動車メーカーの参入による環境対応車のイメージアップが、ユーザーの環境対応車志向を後押ししている。これらの相乗効果により環境対応車は着実に販売台数を伸ばしており、最新の世界販売台数予測では、2020年には年間1,000万台を、2023年には年間2,000万台を超えると思われる。

この環境対応車の環境性能を表す指標として、単位電力量当たりの走行可能距離（電費）があり、電費の改善は充電1回当たりの航続距離を伸ばすことにつながる。この環境性能を左右する重要部品が、走行用バッテリーである。

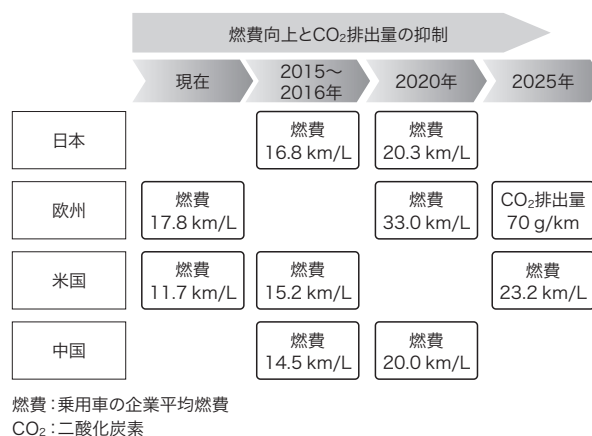


図1. 自動車の燃費に関する法規制の動向

様々な国や地域で、自動車の燃費や排ガスに関する法規制が強化されている。Trends in laws and regulations related to fuel consumption of passenger vehicles

環境対応車には、走行用バッテリーの効率的利用を目的として、電池監視システム（BMS）が搭載されている。この

BMSには、システム内の信号通信を担うフォトカプラー、予備充電と本充電の切り替えに使用されるメカニカルリレー（以下、メカリレーと略記）の溶着検出やBMS回路の地絡検出のスイッチを担うフォトリレー、バッテリーのセルバランスを担うMOSFETといった半導体部品が多数使用されている。

東芝デバイス&ストレージ(株)は、これらのフォトカプラー、フォトリレー、MOSFETを開発、商品化し、BMSの性能向上に貢献している。ここでは、BMSの性能、ひいては環境対応車の環境性能向上に貢献しているこれらの半導体部品について述べる。

2. BMSの概要

2.1 BMSの必要性

環境対応車は、高圧バッテリーの電力でモーターを回転させ、走行のための駆動力を得る。一方、減速時はモーターが発電機となり、モーターで発電した電力をバッテリーに蓄える。このため、環境対応車に搭載されるバッテリーは、頻繁に充放電を繰り返すことになる。一般に、バッテリーの充放電頻度は、HEV、プラグインハイブリッド電気自動車（PHEV）、EVの順に多くなる。これは、モーターによる走行の割合が増えることに起因する。

バッテリー種別は、大きく分けて、放電だけしかできない一次電池、充放電が可能な二次電池があり、環境対応車の走行用バッテリーには二次電池が用いられる。従来のニッケル水素バッテリーに対し、現在は、車両の航続距離を左右するエネルギー密度と充放電効率が高く、バッテリー容量の増加や小型化を実現しやすいメリットがあるリチウムイオンバッテリーが主流となっている。

しかし、リチウムイオンバッテリーは、前述のメリットを持つ一方で、充電時に材料が不安定化しやすい特徴がある。そのため、充電時には、数十mV以内の極めて高精度な電圧制御が必要になる。また、過充電による発熱が起こりやすく、破裂や発火の危険性があるのに加え、過充電や過放電によりバッテリーの劣化が急激に進む。このような特徴から、充放電の制御やバッテリーの状態を監視するシステムが重要になり、これらを解決する手段として、BMSが必要となる。

2.2 BMSの基本構成

一般的な環境対応車における、リチウムイオンバッテリー周辺の構成例を図2に示す²⁾。数十から百個程度のバッテリーセルが直列に接続されたリチウムイオンバッテリー（バッテリーセルモジュール）の負荷として、モーターを駆動するインバーターが接続される。このバッテリーセルモジュール

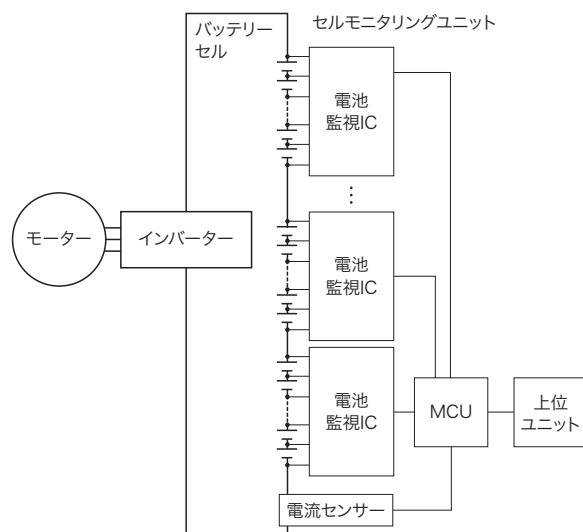


図2. 環境対応車の駆動部とBMSの構成例

直列接続したバッテリーセルにインバーターとモーターが接続される。1個の電池監視ICで8～16個程度のバッテリーセルを監視するため、1台の車両には複数個の電池監視ICが搭載される。

Example of configuration of powertrain for eco-friendly automobiles

の総電圧は、数百Vに達するため、単体の電池監視ICで全てのバッテリーセルを監視することは困難である。そのため、通常は8～16個程度のバッテリーセル（セルアレイ）を1個の電池監視ICで監視する方式が採られ、1台の車両には複数個の電池監視ICが搭載される。電池監視ICの主な機能としては、バッテリーセルの電圧・温度測定や、セルバランス（隣り合うセルの電池残量調整）などが挙げられる。

また、BMS内にはリチウムイオンバッテリーを流れる総電流の測定用に電流センサーも接続されている。これらの電池監視IC群と電流センサーの制御用として、マイクロコントローラーユニット（MCU）が配置されている。

一般的な車載用リチウムイオンバッテリーのBMSでは、電池監視ICは、個々のバッテリー電圧の測定結果を判断せず、単純にMCUへ測定結果を出力する。MCUは、バッテリー電圧の測定結果、電流測定値、及びバッテリーの温度情報からバッテリーの充電状態を算出し、ECU（電子制御ユニット）などの上位ユニットへ充電状態の情報を出力する。上位ユニットはこの情報によって、充電の許可や禁止などの判定を行っている²⁾。

2.3 BMSにおけるフォトカプラーとMOSFETの機能

BMSの機能を実現する上で重要な役割を担っている部品が、フォトカプラー、フォトリレー、及びMOSFETである。

BMS内には、走行用のモーターや、バッテリー、電池監

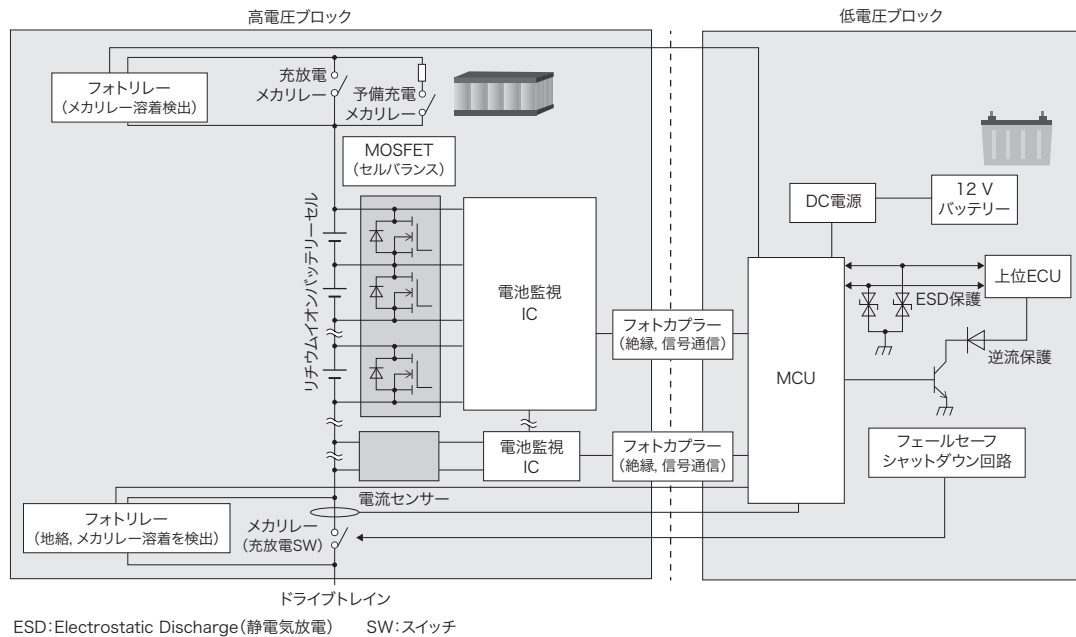


図3. リチウムイオンバッテリー用BMSの構成例

モーターや、バッテリー、電池監視ICがある高電圧ブロックと、MCUや上位ユニットがある低電圧ブロックが存在し、高電圧ブロックの電池監視ICと低電圧ブロックのMCUとの信号通信にはフォトカプラーが用いられる。

Example of configuration of BMS for lithium-ion battery modules

視ICなどが配置される高電圧ブロックと、MCUや上位ユニットなどが配置される低電圧ブロックが存在する(図3)。二つのブロック間で電気絶縁を図りながら信号通信を可能にするため、高電圧ブロックにある電池監視ICと低電圧ブロックにあるMCUとの信号通信には、フォトカプラーが使用される。

PHEVやEVの充電方式には、プラグイン充電と急速充電がある。プラグイン充電は、車載充電器(オンボードチャージャー)のAC(交流)端子を介して家庭用電源(AC100VやAC200V)から充電する方式であり、急速充電は、公共エリアなどに設置された急速充電スタンドからDC(直流)で直接充電する方式である⁽³⁾。充電には、いずれも定電流・定電圧(CVCC)方式が用いられる。CVCC方式では、バッテリー端子電圧が設定電圧になるまで定電流で充電を行い、その後はバッテリー端子電圧を維持させながら充電電流を下げ、電流がある値以下になると充電を終了する。充電中は、充電器とBMSがリチウムイオンバッテリーの電圧と電流を互いに制御している。

リチウムイオンバッテリーは、電池残量(充電率)が少ないときは内部抵抗が高い⁽³⁾。したがって、この状態で一気に充電をすると、大きな発熱を伴うため、充電の際の安全性

低下やバッテリー寿命の低下を招く。そのため、充電前にBMS内の電流センサーでバッテリーに流れる電流をチェックし、充電率が低いと判断した場合は、最初に低電流で予備充電を行い、予備充電によって一定充電率に達したところで本充電に移行する。この予備充電と本充電の切り替えに使用されるメカリレーや、バッテリー異常時や充電終了時に充電をシャットダウンするためのメカリレーの溶着検出、BMS回路における高電圧ブロックの地絡検出などにフォトリレーが使用される。

また、BMSの重要な機能にセルバランスがある。リチウムイオンバッテリーは、過充電や過放電により急激に劣化が進む。そのため、充放電においては、それを防止するためにバッテリーセルの電圧に対して充電リミットと放電リミットを設けている。バッテリーセル間で電池残量に差がある状態では、最も電池残量が多いセルの電圧が充電リミットに達した場合や、最も電池残量が少ないセルの電圧が放電リミットに達した場合には、充放電をストップする。そのため、バッテリーセル間の電池残量にばらつきがあると、実用上の電池容量が減少してしまう。これを解決するために、バッテリーセル間の電池残量ばらつきを無くして最大限に電池容量を生かすセルバランスが必要となる。

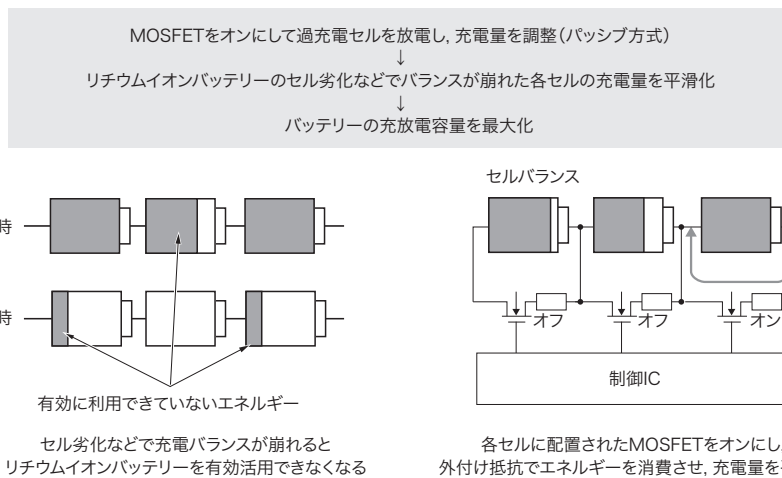


図4. パッシブ方式のセルバランス

バッテリーセル間の電池残量を一定化し、電池容量を最大化する。バッテリーセルを放電するスイッチにMOSFETが使用されるため、バッテリーセルと同数のMOSFETが必要になる。

Passive battery cell balancing

セルバランスの方式としてはアクティブ方式(電池残量の多いセルから少ないセルへエネルギーを移動する)とパッシブ方式(電池残量の多いセルを放電する)があり、現在は、システムがシンプルに構成できるパッシブ方式が主流になっている。このパッシブ方式において、バッテリーセルを放電するためのスイッチとしてMOSFETが使用される。したがって、MOSFETはバッテリーセルと同数が必要になる(図4)。

3. フォトカプラー、フォトリレー、MOSFETの動向

BMSアプリケーションの動向に沿った、当社のフォトカプラー、フォトリレー、MOSFETの技術開発について述べる。

3.1 フォトカプラーとフォトリレーの技術開発

当社のフォトカプラーとフォトリレーの自動車応用ビジネスは、2000年にスタートしており、15年以上の実績がある。図5に示すように、これまでの自動車応用ビジネスで培った、高耐熱化技術(ダブルモールド構造:封止樹脂の二重構造による素子内部の熱応力緩和)や低消費電力化技術(高発光効率の内製LED(発光ダイオード)チップと高感度受光チップの組み合わせによる動作電力低減)をベースとして、今後のバッテリーの大容量化に向けた新製品開発を進めている。

近年、バッテリーの大容量化にあたり、BMS内の電気絶縁を担うフォトカプラー及びフォトリレーの絶縁耐圧BVS(入出力間の絶縁耐量を保証する電圧)や、フォトリレーの阻止電圧 V_{OFF} (オフ状態でリレー出力端子間に印加できる

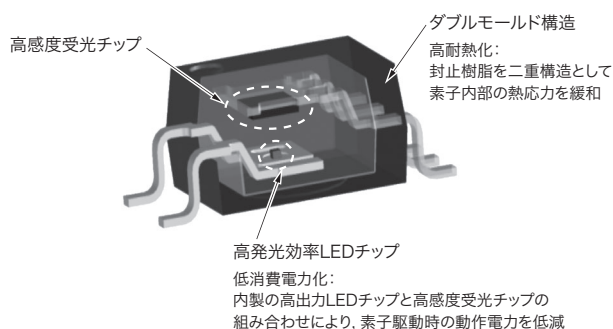


図5. フォトカプラーの高耐熱・低消費電力技術

ダブルモールド構造による高耐熱化と、高効率の受発光チップの組み合わせによる低消費電力化をベースとして開発を進めている。

Technologies for photocouplers with high heat resistance and low power consumption

電圧定格)の増強に対する市場要求が高まっている。

これらを解決する製品として、2020年以降の量産化に向けて、以下に示す製品を開発中である。

- (1) 入出力間の沿面距離(絶縁物質に沿った、二つの導体間の最短距離)を従来の5 mmから8 mmに拡大し、絶縁耐圧保証を5 kVまで高めたフォトカプラー(IC出力タイプとトランジスター出力タイプ)
- (2) フォトカプラーと同様に入出力間の沿面距離を拡大し、これに当社パワー半導体技術を用いた新開発の高耐圧MOSFETチップを搭載した阻止電圧1,500 Vを実現するフォトリレー

3.2 MOSFETの技術開発

従来のセルバランス用MOSFETは、電池監視ICに内蔵されていたが、近年では、バッテリーの大容量化に伴い、電池監視ICとバッテリーセルとの間に外付けされるケースが増えている。そのため、MOSFETの発熱を抑制し電力損失を減らす必要があるため、高許容損失とオン抵抗 R_{on} の低減が求められる。当社のセルバランス用MOSFETは、低 $R_{DS(on)}$ トレンチプロセス(U-MOS VII (nチャネル)やU-MOS VI (pチャネル))の採用で、 R_{on} を従来より60%以上低減し、チップ発熱を抑制した。同時に、小型高放熱パッケージSOT-323F (2.1×2.0 mm, フラットリードタイプ)の使用で、同一サイズのSOT-323 (ガルウイングリードタイプ)と比較して許容損失を1.5倍に向上させ、高許容損失を実現させた。更に、ゲートソース間電圧 (V_{GS}) が1.5 Vと低電圧駆動に適している。当社は、これらの技術により、バッテリーの大容量化という市場要求に応えている。

4. あとがき

環境対応車の販売成長が継続すると、各自動車メーカーは、市場競争力強化のため、車両価格の抑制や1回充電当たりの航続距離の延伸を目指すことが想定される。そのため、バッテリーの利用効率向上によってバッテリーユニットの小型化を実現できるBMSの重要度が更に高まっていく。

当社は、今後もBMS応用の様々なニーズに応える新製品を提供し、自動車産業の発展に貢献していく。

文献

- (1) 大藏徹太郎. 車載用電子制御ユニットの高性能化と小型化に貢献する新世代LV-MOS. 東芝レビュー. 2014, 69, 8, p.16-19.
- (2) 鈴木敦久, 高田信行. 車載用リチウムイオン電池監視ICにおける機能安全技術. 東芝レビュー. 2014, 69, 8, p.20-23.
- (3) 広田幸嗣, 小笠原悟司編. 電気自動車工学 EV設計とシステムインテグレーションの基礎. 第2版, 森北出版, 2017, 248p.



塩谷 敏男 SHIOTANI Toshio
東芝デバイス&ストレージ(株)
ディスクリート半導体事業部
ディスクリート応用技術センター
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.



飯田 昭男 IIDA Akio
東芝デバイス&ストレージ(株)
ディスクリート半導体事業部
ディスクリート応用技術センター
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.



江越 秀徳 EGOSHI Hidenori
東芝デバイス&ストレージ(株)
ディスクリート半導体事業部
先端オプト素子開発部
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.