

モバイル機器向けリチウムイオン 2 次電池の 保護回路に最適な MOSFET の提案

概要

本資料はモバイル機器向けリチウムイオン 2 次電池の保護回路のスイッチ部に最適な MOSFET の選択とミツミ電機製保護 IC(MM3860)を用いた実際の動作に関して、弊社 MOSFET : SSM6N951L, SSM10N954L, SSM14N956L を例に解説しています。掲載項目は過充電、過放電電圧印加時、充電過電流、放電過電流印加時、短絡電流印加時の挙動となります。

目次

概要	1
目次	2
1. はじめに	4
2. リチウムイオン 2 次電池及び保護回路の概要	5
3. 保護回路のスイッチ部に使用される MOSFET への要求性能	6
3.1. 損失低減のための低オン抵抗	6
3.2. 実装スペース削減のための小型、薄型パッケージ	6
3.3. 異常時検出精度向上のためのオン抵抗変化の最小化	6
4. 保護回路に最適な MOSFET の提案	7
4.1. 低オン抵抗性能を追求した CSP 構造	7
4.2. 実装スペース削減に効果的な 1 チップドレインコモン製品	7
4.3. 東芝ドレインコモン MOSFET の特性	8
5. ミツミ電機製バッテリー保護 IC 評価基板を用いたドレインコモン MOSFET 評価	9
5.1. 過充電、過放電電圧測定	9
5.2. 充電過電流、放電過電流測定	11
5.2.1. 充電過電流測定	12
5.2.2. 放電過電流測定	13
5.3 短絡測定	14
6 まとめ	16
製品取り扱い上のお願い	17

図表目次

図 2.1	リチウムイオン 2 次電池のイメージ図.....	5
図 2.2	代表的な保護回路のブロック図の例	5
図 3.1	充電時、放電時の電流の向き	6
図 4.1	モールド樹脂パッケージと CSP パッケージの比較イメージ	7
図 4.2	実装面積比較イメージ	7
表 4.1	東芝ドレインコモン MOSFET の特性	8
表 5.1	過充電、過放電の検出/復帰電圧.....	9
図 5.1	過充電電圧測定回路(左)と過放電電圧測定回路(右).....	9
図 5.2	過充電電圧測定結果.....	10
図 5.3	過放電電圧測定結果	10
表 5.2	充電過電流、放電過電流の検出電圧.....	11
図 5.4	充電過電流測定回路(左)と放電過電流測定回路(右).....	11
図 5.5	充電過電流 DC 測定結果	12
図 5.6	充電過電流パルス測定結果.....	12
図 5.7	放電過電流 DC 測定結果	13
図 5.8	放電過電流パルス測定結果.....	13
表 5.3	短絡検出電圧.....	14
図 5.9	短絡測定時回路図	14
図 5.10	短絡測定結果	15

1. はじめに

リチウムイオン 2 次電池は、エネルギー密度が高いことから容積当りの電池容量を大きく取る事ができるため、多くのモバイル機器に採用されておりモバイル機器の小型薄型化、軽量化を実現するキーデバイスです。昨今の先進的な技術革新により電池のサイズは同一のままさらなる大容量化が進んでおり、モバイル機器の長時間動作にも貢献していますが、大容量 2 次電池は充電時間が増加する事が課題として挙げられます。この課題解決のために充電時間を短縮する急速充電技術が開発され普及しています。

一般的にリチウムイオン 2 次電池は、安全に使用するために保護回路(PCB : Protection Circuit Board)が搭載されています。この保護回路は充放電時の発熱等、電池の状態をモニターする回路と、異常動作時に充放電を停止するスイッチを内蔵しています。そのスイッチ部分は、電池と充電器もしくは負荷に対して直列に設置されています。そのため、効率的な充放電のためにスイッチでの電力損失を最低限に抑える事が求められます。さらにモバイル機器に使用されているリチウムイオン 2 次電池の場合は、電池自体が薄型である事も重要であり、保護回路も小型、薄型である事が求められます。そのため保護回路のスイッチ部分には低オン抵抗かつ小型パッケージの MOSFET が使用されます。

急速充電の普及により充電電流が増える傾向にある事からスイッチ部分の MOSFET は部品サイズを大きくすること無くこれまで以上の低オン抵抗性能である事が重要です。さらには保護回路のスイッチ用途に最適なドレインコモン接続とする事により使いやすさを追求しています。

本アプリケーションノートでは、モバイル機器向けリチウムイオン 2 次電池用保護回路に最適な MOSFET の選択と保護 IC を用いた実際の動作に関して、弊社の SSM6N951L, SSM10N954L, SSM14N956L を例にとり解説します。

2. リチウムイオン 2 次電池及び保護回路の概要

図 2.1 はリチウムイオン 2 次電池のイメージ図です。モバイル機器に一般的に使用されているパウチ型リチウムイオン電池の場合、電池エレメントをラミネート外装で包む形式を取っており、ソフトパッケージであることから薄型化には有効であるものの、保護回路に与えられるスペースは極めて限定的となっています。

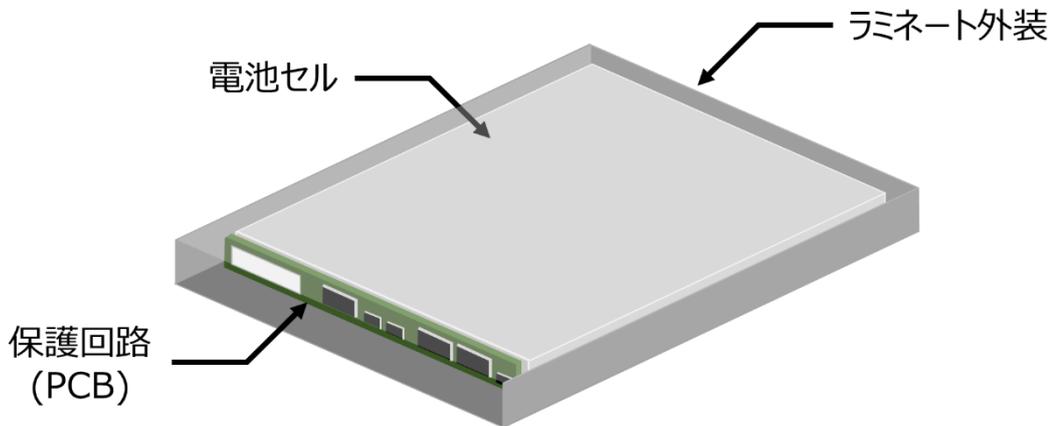


図 2.1 リチウムイオン 2 次電池のイメージ図

保護回路は充放電状態を監視し、過充電、過放電等の異常動作を検出、スイッチ制御を行うバッテリー保護 IC と、スイッチとして用いられる MOSFET などにより構成されています。図 2.2 に代表的な保護回路のブロック図の例を示します。保護回路には電流検出を MOSFET のオン抵抗で行う方式とシャント抵抗を用いる方式があります。シャント抵抗を用いない方式では MOSFET のオン抵抗は放電電圧や動作温度によって変化するため、シャント抵抗を用いる方法より精度が低くなります。そのため現在は充電電流の増大に伴い、高精度が要求されているため、シャント抵抗を用いる方式が多く採用されています。

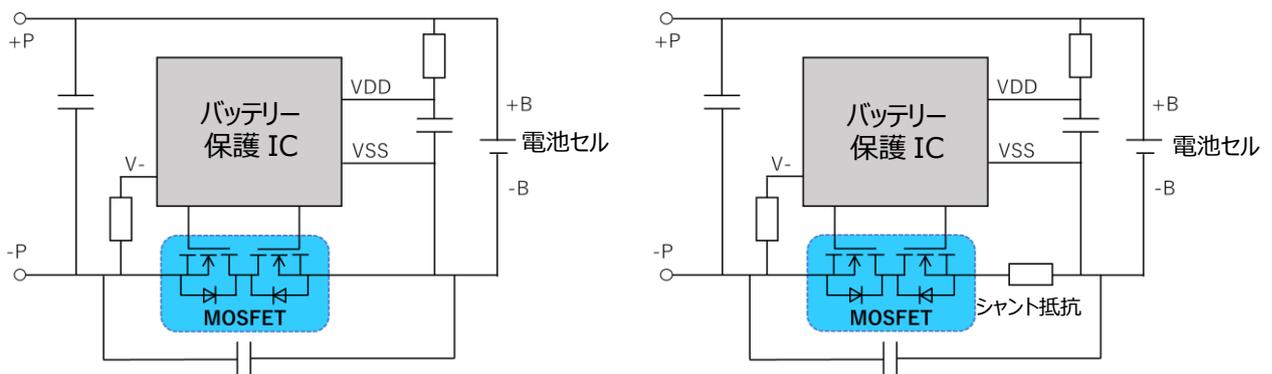


図 2.2 代表的な保護回路のブロック図の例

次項ではこのような代表的なリチウムイオン 2 次電池の保護回路のスイッチ部として MOSFET に要求される性能を検討します。

3. 保護回路のスイッチ部に使用される MOSFET への要求性能

3.1. 損失低減のための低オン抵抗

リチウムイオン 2 次電池の保護回路では、図 3.1 に示すように充電時と放電時で電流の向きが変わりますが、スイッチである MOSFET は充電電流と放電電流の両方を低損失で通過させる必要がある事から、ふたつの MOSFET のドレイン端子を接続したドレインコモン接続で双方向スイッチとして使用する事が一般的です。そのためスイッチ部分の損失は MOSFET 2 素子分のオン抵抗の影響を受けるので、損失低減にはできるだけオン抵抗の低い MOSFET が求められます。急速充電のprotocols によっては 5A 程度の充電電流を必要とするケースもありますので、オン抵抗は最も重要視すべき性能と言えるでしょう。

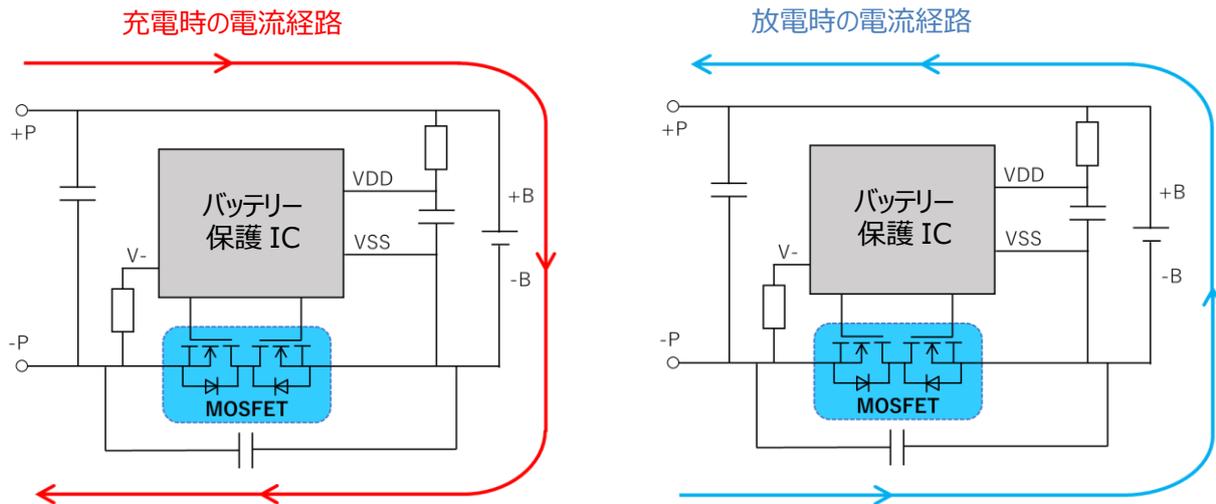


図 3.1 充電時、放電時の電流の向き

3.2. 実装スペース削減のための小型、薄型パッケージ

リチウムイオン 2 次電池の保護回路は、電池の側面に搭載され、幅 3mm 程度の基板の上に部品が実装されることが一般的です。そのため厳しい実装スペースの制約を受けます。双方向スイッチを MOSFET で構成するためにドレインコモン接続を採用している事は先に述べた通りですが、ふたつの MOSFET を使用する必要がある事から実装スペース制約の中で部品を選択せざるを得ず、できる限り小型かつ薄型パッケージの MOSFET を選択する必要があります。

3.3. 異常時検出精度向上のためのオン抵抗変化の最小化

図 2.2 で示したシャント抵抗を用いない保護回路では充電、過放電の監視を VSS 端子と V- 端子間の電圧をバッテリー保護 IC がモニターして過電流を検出する方式が使われています。この検出方式では MOSFET のオン抵抗変化が検出電圧の変化として現れるため検出精度向上には MOSFET のオン抵抗変化を最小とする必要があります。

MOSFET のオン抵抗はゲート駆動電圧によって変化しますが、電池セルの電圧をそのままゲート駆動に使用するこの回路方式の場合、電池セル電圧の変化により MOSFET のオン抵抗は変化します。さらには MOSFET の動作温度によるオン抵抗変化も考慮する必要があります。そのためこの検出方式においては、ゲート駆動電圧や動作温度によるオン抵抗変化を最小限に抑えた MOSFET の使用が望ましいと言えます。

次項ではこれらの要求性能に対する解決策について弊社の SSM6N951L を例に提案します。

4. 保護回路に最適な MOSFET の提案

4.1. 低オン抵抗性能を追求した CSP 構造

今まで述べたようにリチウムイオン 2 次電池の保護回路に使用される MOSFET では、スイッチ部の損失を最低限とするために低オン抵抗性能が求められます。SSM6N951L は CSP(Chip Scale Package)構造を採用することで、一般的なモールド樹脂パッケージを採用する MOSFET と比較して金属ワイヤーの抵抗分を排除することができました。またモールド樹脂パッケージよりも小さな製品サイズで大きな半導体チップが使用できることから、オン抵抗低減にはさらに有利な構造と言えます。さらに CSP 構造は熱源である半導体チップが直接 PCB に実装されていることから放熱性も優れています。

図 4.1 にモールド樹脂パッケージと CSP 構造の比較イメージを示します。

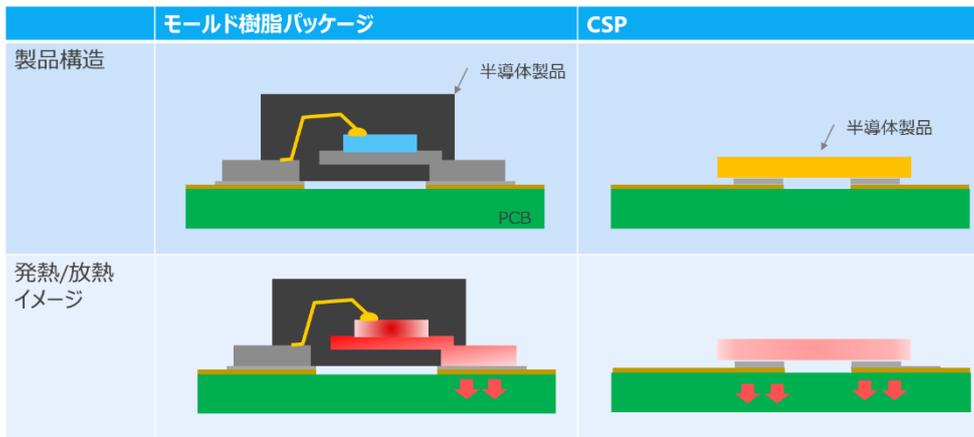


図 4.1 モールド樹脂パッケージと CSP パッケージの比較イメージ

4.2. 実装スペース削減に効果的な 1 チップ^oドレインコモン製品

SSM6N951L はオン抵抗低減のために CSP 構造を採用していますが、CSP 構造はパッケージサイズの小型化、薄型化にも貢献します。SSM6N951L は CSP パッケージの採用に加えてドレインコモン接続済みのふたつの MOSFET を 1 チップに搭載していますので、SSM6N951L ひとつでドレインコモン接続のスイッチを構成する事が可能となります。SSM6N951L の製品サイズは 2.14mm x 1.67mm x 0.11mm(すべて標準値)と極めて小さく薄く、実装スペースに制約を受けるリチウムイオン 2 次電池の保護回路用としては最適です。図 4.2 に単体 MOSFET を使用した場合と SSM6N951L を使用した場合の実装面積比較のイメージを示します。

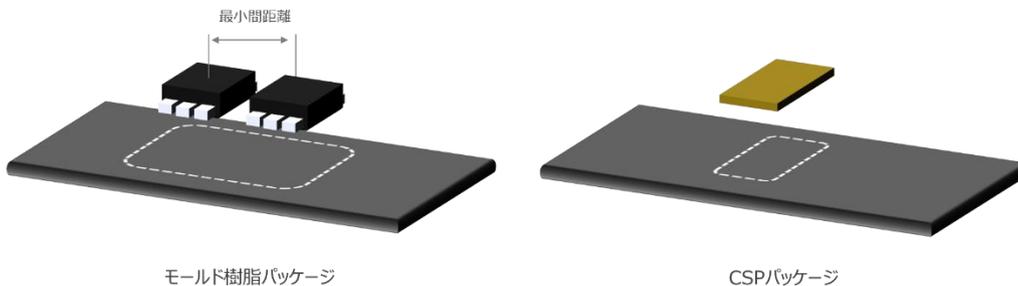
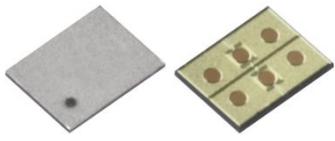
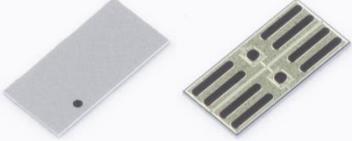
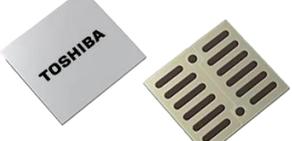


図 4.2 実装面積比較イメージ

4.3. 東芝ドレインコモン MOSFET の特性

表 4.1 に量産中の弊社のドレインコモン MOSFET : SSM6N951L, SSM10N954L, SSM14N956L の MOSFET の特性を示します。4.2 に述べた SSM6N951L と同様に SSM10N954L, SSM14N956L においても CSP 構造を用いているため、パッケージサイズが小型で高密度実装に対応できます。また、新規開発した微細プロセス技術を採用したことで、SSM6N951L では 4.6mΩ (Typ., $V_{GS}=3.8V$), SSM10N954L では 2.2mΩ (Typ., $V_{GS}=3.8V$)、SSM14N956L では 1.1mΩ (Typ., $V_{GS}=3.8V$) の低オン抵抗を実現しています。その他の特徴としては、ゲート・ソース間漏れ電流が $\pm 1\mu A$ (最大、 $V_{GS} = \pm 8V$) と極めて小さく、バッテリーの長時間動作を可能にしています。

表 4.1 東芝ドレインコモン MOSFET の特性

Part number	SSM6N951L	SSM10N954L	SSM14N956L
Package Size	2.14 x 1.67 x 0.11t mm 	2.98 x 1.49 x 0.11t mm 	3.0x2.74x0.085t mm 
$V_{(BR)SSS}$	12V		
V_{GSS}	$\pm 8.0 V$		
I_S	8A	13.5A	20.0A
$I_{SSS \max}$	1 μA @12V		
$I_{GSS \max}$	$\pm 1\mu A$ @ $\pm 8V$		
V_{th}	0.35 / 0.90 / 1.4V		
$R_{SS(on)}(4.5V)$ Min/Typ./Max	3 / 4.4 / 5.1mΩ @4A	1.55 / 2.1 / 2.75mΩ @6A	0.70 / 1.00 / 1.35mΩ @10A
$R_{SS(on)}(3.8V)$ Min/Typ./Max	3.2 / 4.6 / 5.5mΩ @4A	1.6 / 2.2 / 2.85mΩ @6A	0.75 / 1.10 / 1.50mΩ @10A
$R_{SS(on)}(3.1V)$ Min/Typ./Max	3.5 / 4.9 / 6.8mΩ @4A	1.65 / 2.4 / 3.95mΩ @6A	0.80 / 1.25 / 2.15mΩ @10A
$R_{SS(on)}(2.5V)$ Min/Typ./Max	3.8 / 5.5 / 10mΩ @4A	1.9 / 3.1 / 6.1mΩ @6A	0.9 / 1.60 / 3.20mΩ @10A
$V_{F(S-S)}$ Min/Typ./Max	- / 0.7 / 1.2V	- / 0.8 / 1.2V	- / 0.7 / 1.2V

5. ミツミ電機製バッテリー保護 IC 評価基板を用いたドレインコモン MOSFET 評価

ミツミ電機製のバッテリー保護 IC(MM3860)を用いたリチウムイオン 2 次電池の保護回路上で弊社の SSM6N951L, SSM10N954L, SSM14N956L の実際の動作について解説します。

5.1. 過充電、過放電電圧測定

・測定内容

保護 IC の各検出電圧、復帰電圧を表 5.1 に示します。測定には図 5.1 に示した回路を用いました。測定では電流を 1A 流しつつ、電池セル部の安定化電源の電圧を操作して行いました。

・過充電検出、過充電復帰電圧

VDD = 3.6V から徐々に上げ、過充電検出電圧で COUT の MOSFET が OFF し、充電電流が流れなくなるか測定します。

その後 VDD を徐々に下げ、過充電復帰電圧で COUT の MOSFET が ON し、充電電流が流れ始めるか測定します。

・過放電検出、過放電復帰電圧

VDD = 3.6V から徐々に上げ、過放電検出電圧で DOUT の MOSFET が OFF し、充電電流が流れなくなるか測定します。

その後 VDD を徐々に下げ、過放電復帰電圧で DOUT の MOSFET が ON し、充電電流が流れ始めるか測定します。

表 5.1 過充電、過放電の検出/復帰電圧

	Typ.値
過充電検出電圧	4.445 V
過充電復帰電圧	4.245 V
過放電検出電圧	2.500 V
過放電復帰電圧	2.900 V

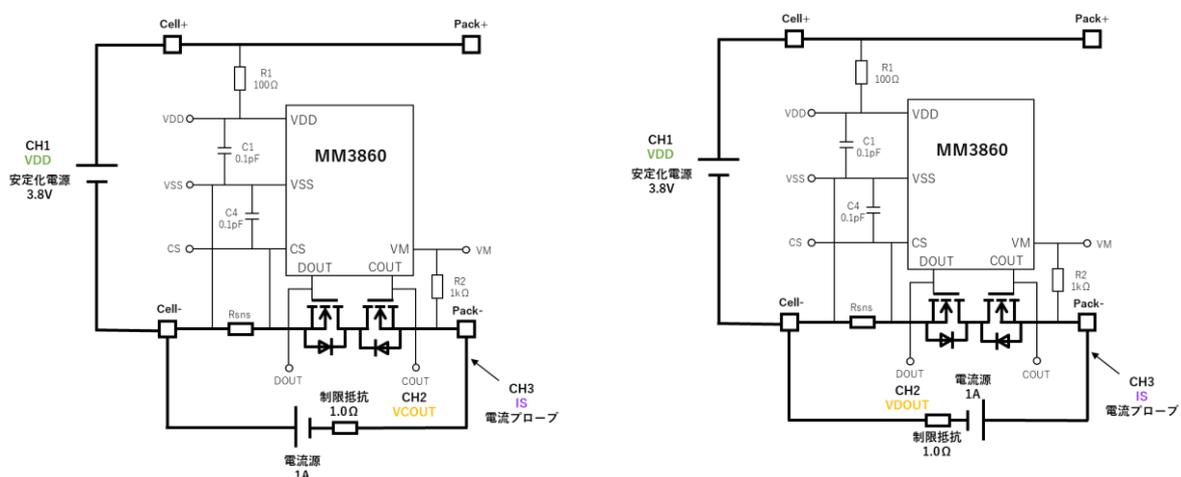


図 5.1 過充電電圧測定回路(左)と過放電電圧測定回路(右)

・測定結果

過充電測定：過充電測定の結果を下図 5.2 に示します。SSM6N951L, SSM10N954L, SSM14N956L のどの MOSFET においても、過充電電圧検出時に MOSFET が OFF し、復帰電圧検出時に MOSFET が ON していることがわかります。

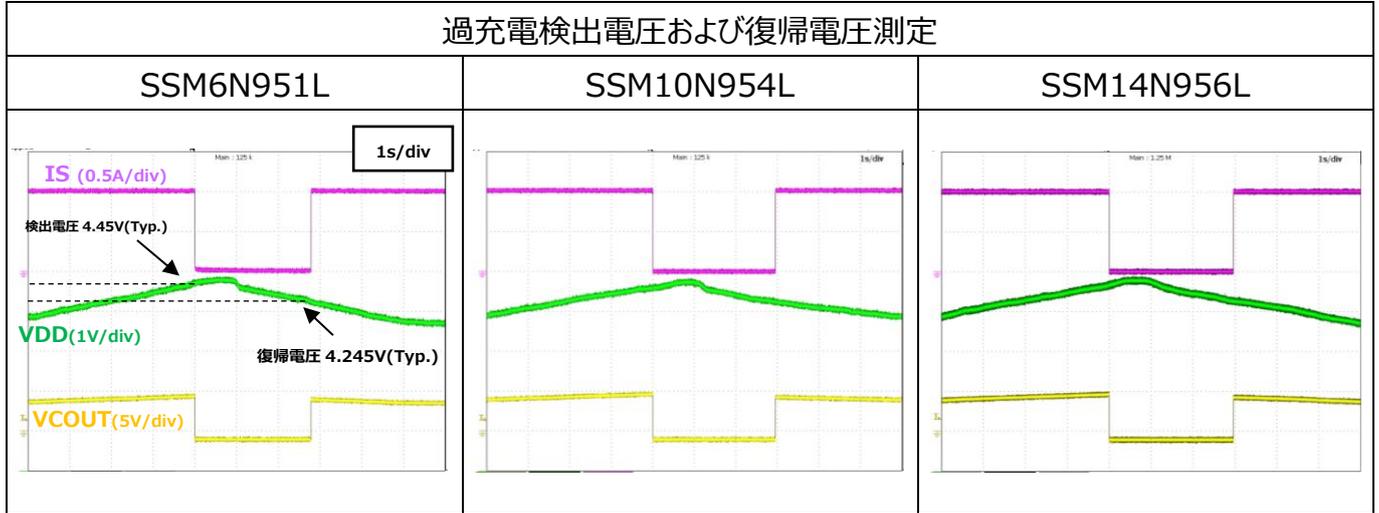


図 5.2 過充電電圧測定結果

過放電測定：過充電測定の結果を下図 5.3 に示します。過充電測定同様 SSM6N951L, SSM10N954L, SSM14N956L のどの MOSFET においても、過放電電圧検出時に MOSFET が OFF し、復帰電圧検出時に MOSFET が ON していることがわかります。

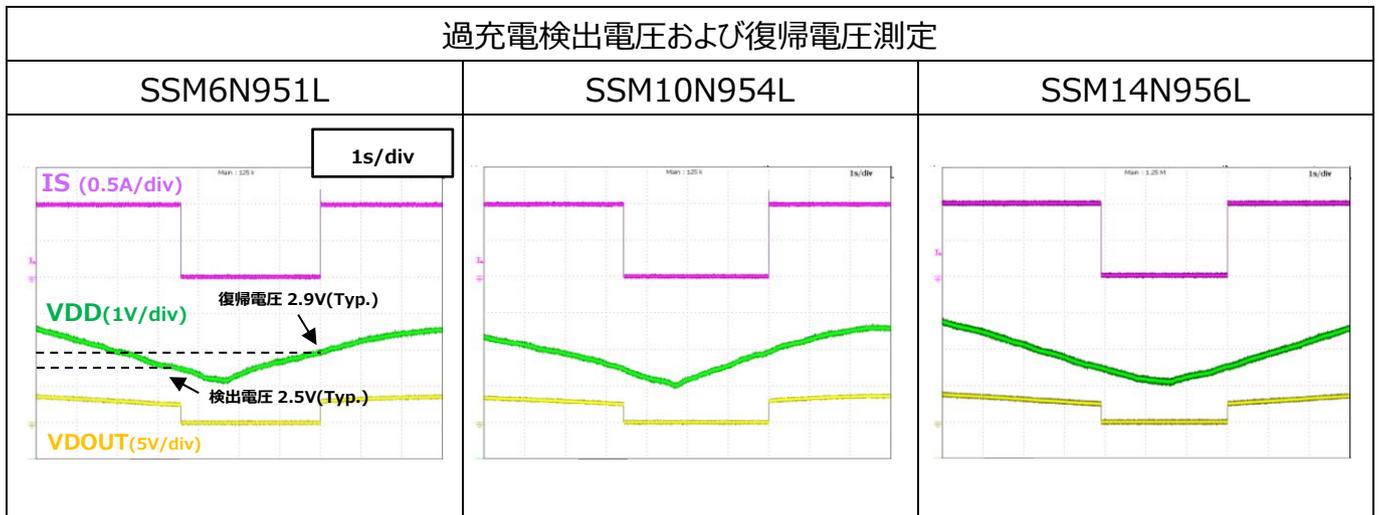


図 5.3 過放電電圧測定結果

5.2. 充電過電流、放電過電流測定

・測定内容

各検出電圧、電流を表 5.2、測定回路を図 5.4 に示します。本測定の回路は Cell+と Cell-間にバッテリーに見立てた電源を接続し、Pack+と Cell-間に電流を制御する電源を接続して行いました。また、測定電流としては DC 電流とパルス電流の 2 パターンを用い、パルス測定時には回路にスイッチ用の MOSFET を接続し、回路の ON、OFF を行い測定します。

・充電過電流

VDD = 3.8V、安定化電源の電圧を徐々に上げ、充電過電流値以上で COUT の MOSFET が OFF するか測定します。

・放電過電流測定

VDD = 3.8V、安定化電源の電圧を徐々に上げ、放電過電流値以上で DOUT の MOSFET が OFF するか測定します。

表 5.2 充電過電流、放電過電流の検出電圧

項目	検出電圧 Typ.値	電流換算 (Rsns=4mΩ)
充電過電流検出	22.0mV	5.50 A
放電過電流検出	21.0mV	5.25 A

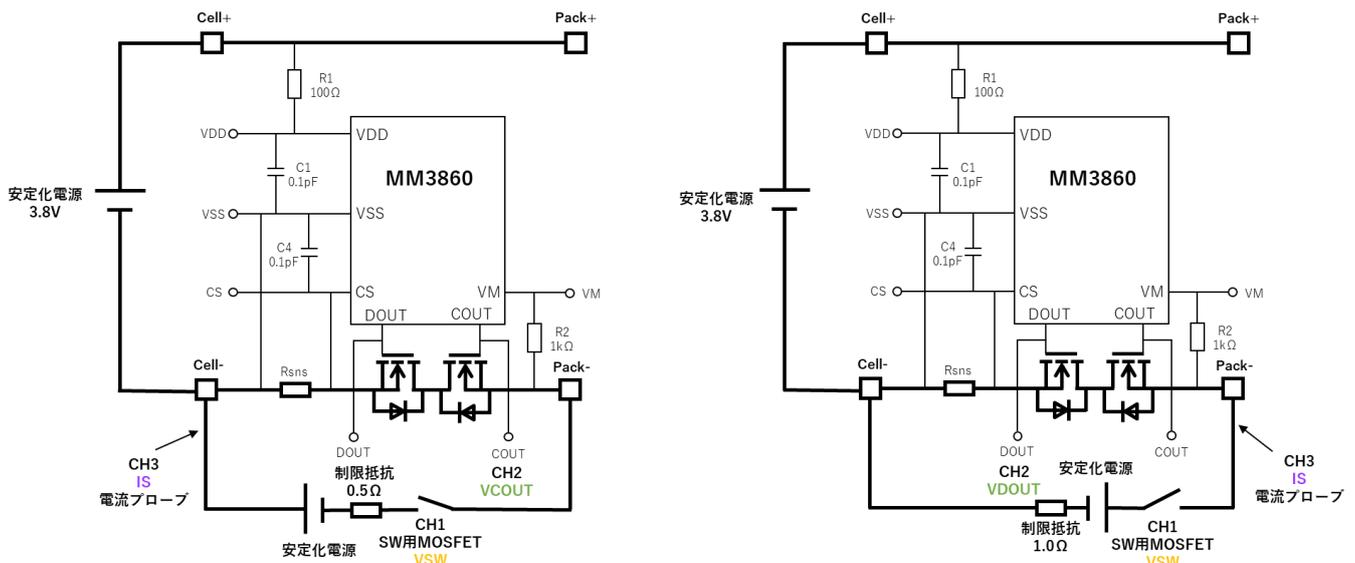


図 5.4 充電過電流測定回路(左)と放電過電流測定回路(右)

5.2.1. 充電過電流測定

DC 測定：充電過電流 DC 測定結果を図 5.5 に示します。IS を徐々に上げていき、約 5.50A を超えた後に放電過電流を検出し、MOSFET が OFF していることがわかります。この時の V_{COUT} の電圧は VM 端子の電圧が見えており、約 -4V でした。

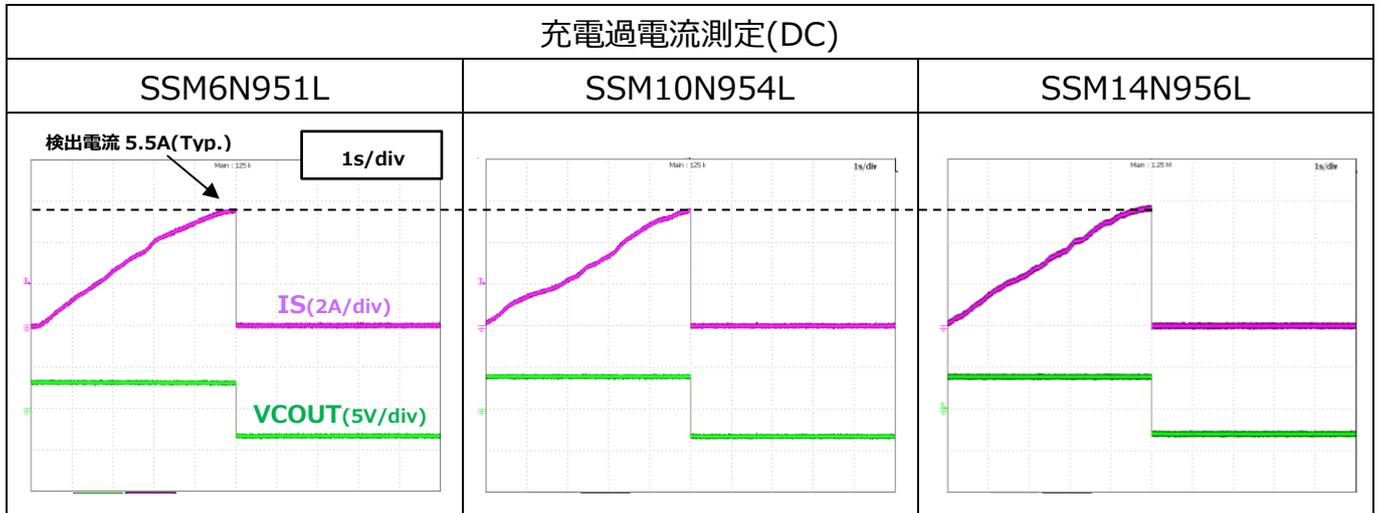


図 5.5 充電過電流 DC 測定結果

パルス測定：充電過電流パルス測定結果を図 5.6 に示します。パルス測定では回路開閉用の MOSFET に V_{SW} を加え一定時間のみ回路を繋げ、パルス測定を行いました。約 5.50A 以上の電流を流れると検出時の遅延時間である 8ms 経過後に MOSFET が OFF することがわかります。この時の復帰条件は $V_M > V_{relVM}$ (約 0.250V) であり、復帰条件を満たさないため、電流が流れなくなった後も MOSFET が OFF した状態を維持しました。V_{COUT} の値は DC 測定同様に VM 端子の電圧が見えていました。

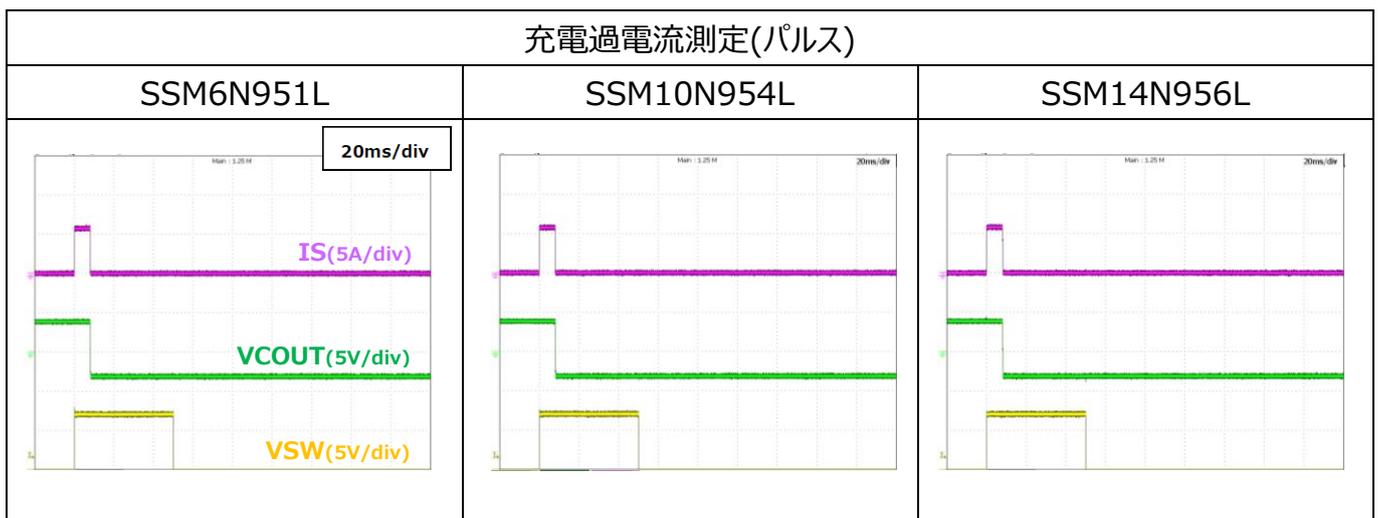


図 5.6 充電過電流 パルス 測定結果

5.2.2. 放電過電流測定

DC 測定：放電過電流 DC 測定を図 5.7 に示します。IS を徐々に上げていき、約 5.25A を超えた後に放電過電流を検出し、MOSFET が OFF していることがわかります。

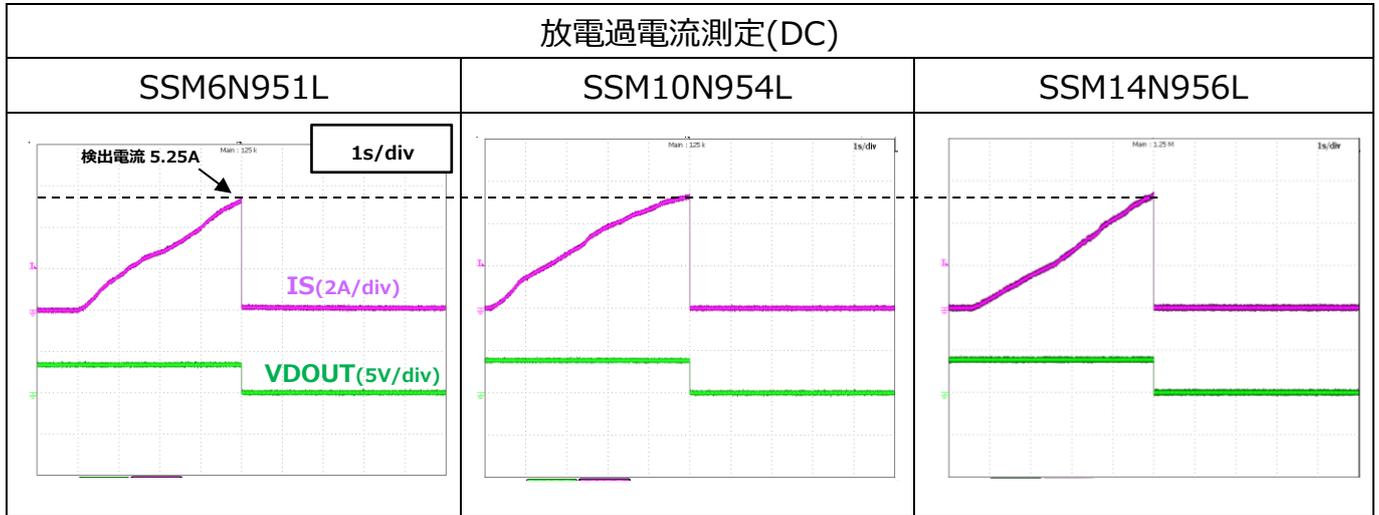


図 5.7 放電過電流 DC 測定結果

パルス測定：放電過電流パルス測定結果および拡大図を図 5.8 に示します。パルス測定は充電過電流と同様の方法で行いました。約 5.25A 以上の電流を流すと過電流を検出し、検出時の遅延時間である 16ms 経過後に MOSFET が OFF していることがわかります。この時の復帰条件は $VM < V_{rel}VM2$ (約 $VDD - 1.10V$) であり、復帰条件を満たしているため、回路が閉じた後に復帰状態となり、復帰時の遅延時間である 4ms 経過後 MOSFET を ON させていることがわかります。

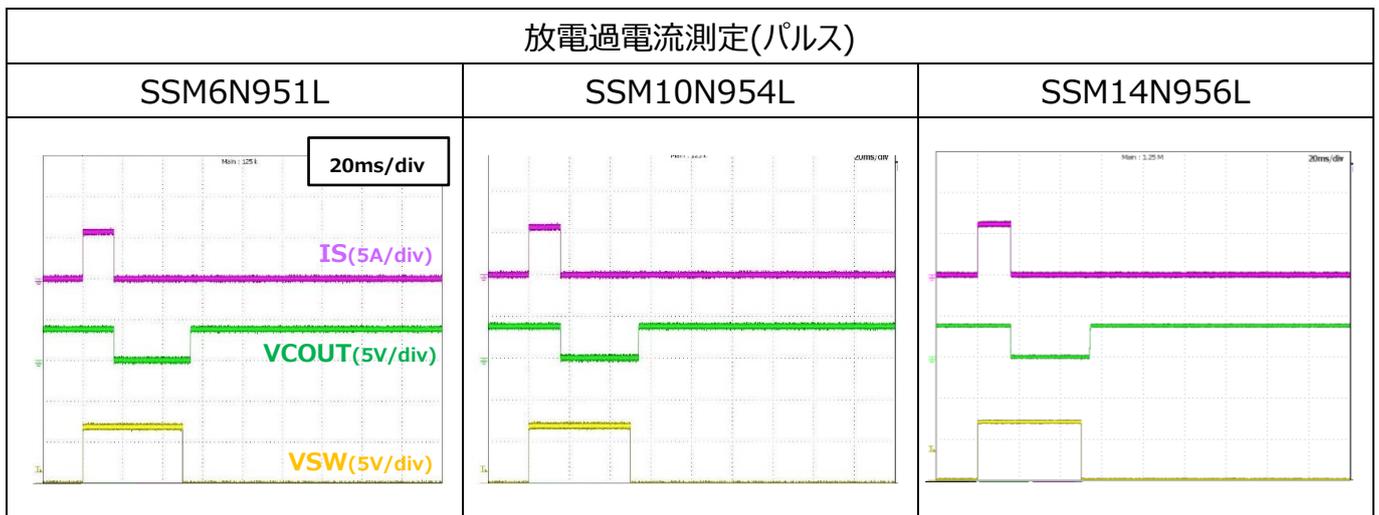


図 5.8 放電過電流 パルス 測定結果

5.3 短絡測定

・測定内容

短絡検出電圧、電流を表 5.3、測定回路を図 5.9 に示します。測定には Cell+と Cell-間に電池セルに見立てた安定化電源を繋げ、3.8V を印加し、Pack+と Pack-間を導線で短絡させ、測定を行います。また、安定化電源の電流リミットより電流が流れないようにするため 100mΩ の負荷を付けました。

表 5.3 短絡検出電圧

項目	検出電圧 Typ.値	電流換算 (Rsns=4mΩ)
短絡検出	60.0mV	15.0 A

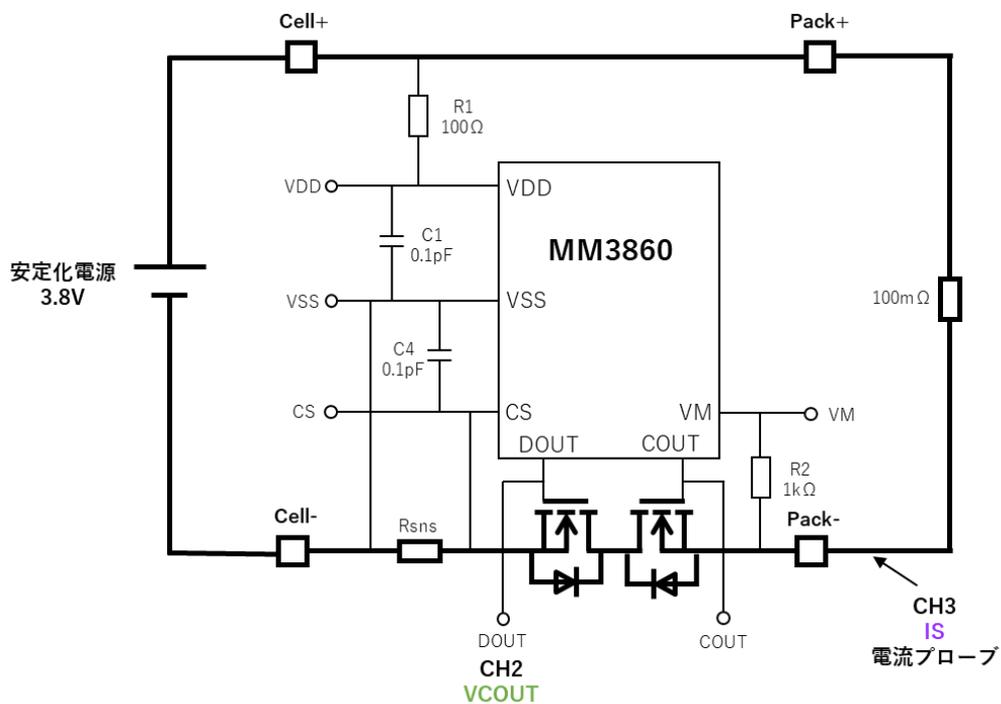


図 5.9 短絡測定時回路図

・測定結果

短絡測定の結果を図 5.10 に示します。SSM6N951L, SSM10N954L, SSM14N956L どの MOSFET においても短絡検出電流である 15A が流れると短絡を検出し、DOUT 端子側の MOSFET が OFF していることがわかります。

また、短絡電流の立ち上がり波形を見ると検出時の遅延時間である約 280 μ s 経過後に MOSFET が OFF していることがわかります。

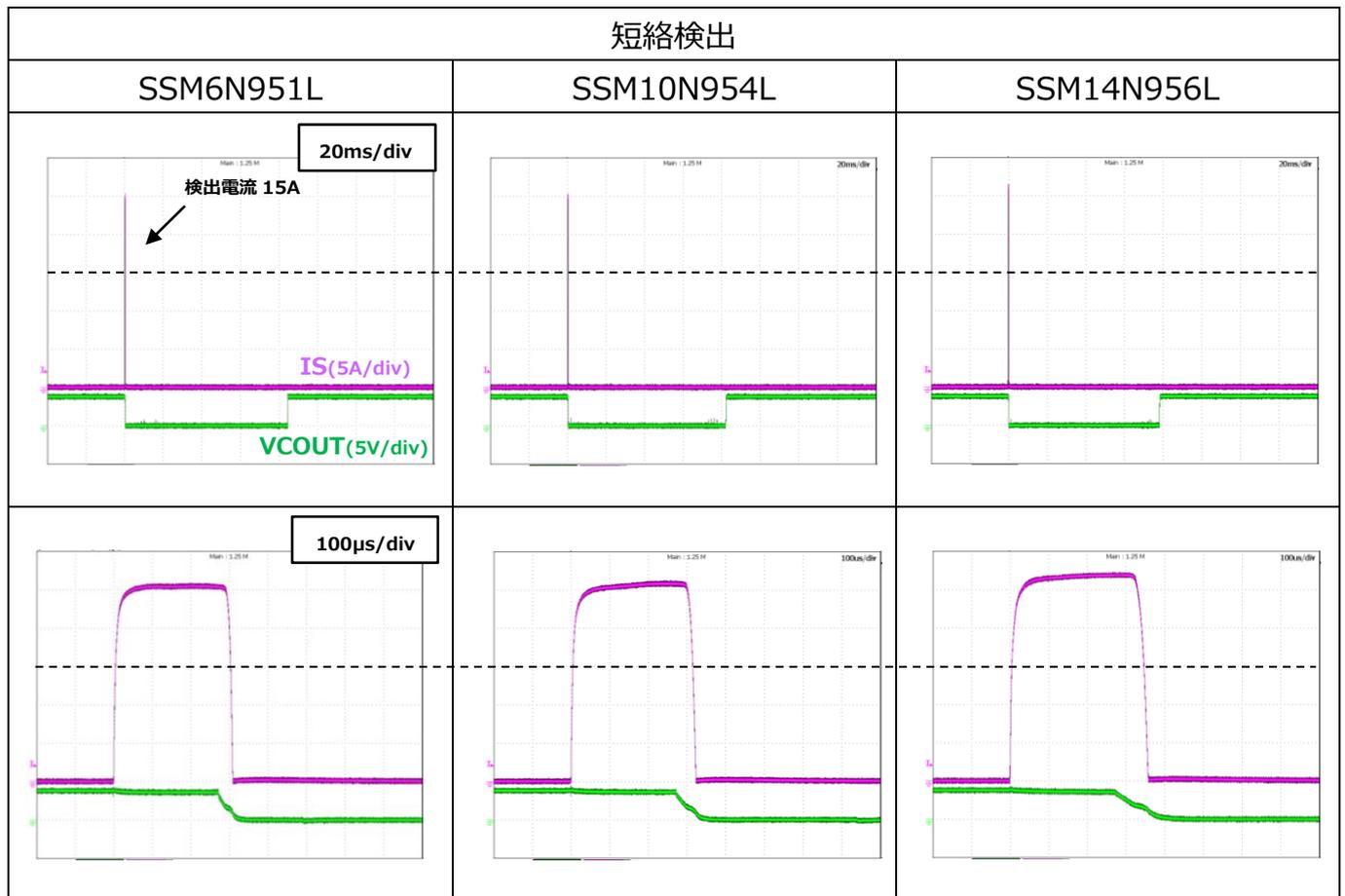


図 5.10 短絡測定結果

6 まとめ

モバイル機器向けリチウムイオン 2 次電池保護回路は、モバイル機器の長時間動作、電池自体の大容量化かつ小型化、薄型化に合わせて、低損失、実装スペース、安全性を向上させるための異常検出精度の向上を高次元でバランスさせる必要があり、保護回路設計の難易度はますます上がって来ています。弊社の SSM6N951L, SSM10N954L、SSM14N956L は CSP 構造、新微細化プロセスの採用により、モバイル機器向けリチウムイオン 2 次電池の保護回路に求められる要求性能を満たすべく開発されました。また、ミツミ電機製保護 IC (MM3860) を用いた保護回路上でも問題なく動作することを確認しました。モバイル機器向けリチウムイオン 2 次電池の保護回路に SSM6N951L, SSM10N954L および SSM14N956L をご検討ください。

モバイル機器向けリチウムイオン 2 次電池用保護回路に最適な MOSFET

SSM6N951L のデータシートダウンロードはこちら →

Click Here

SSM10N954L のデータシートダウンロードはこちら →

Click Here

SSM14N956L のデータシートダウンロードはこちら →

Click Here

購入はこちら

→

Click Here

製品取り扱い上のお願い

株式会社東芝およびその子会社ならびに関係会社を以下「当社」といいます。

本資料に掲載されているハードウェア、ソフトウェアおよびシステムを以下「本製品」といいます。

- 本製品に関する情報等、本資料の掲載内容は、技術の進歩などにより予告なしに変更されることがあります。
- 文書による当社の事前の承諾なしに本資料の転載複製を禁じます。また、文書による当社の事前の承諾を得て本資料を転載複製する場合でも、記載内容に一切変更を加えたり、削除したりしないでください。
- 当社は品質、信頼性の向上に努めていますが、半導体・ストレージ製品は一般に誤作動または故障する場合があります。本製品をご使用頂く場合は、本製品の誤作動や故障により生命・身体・財産が侵害されることのないように、お客様の責任において、お客様のハードウェア・ソフトウェア・システムに必要な安全設計を行うことをお願いします。なお、設計および使用に際しては、本製品に関する最新の情報（本資料、仕様書、データシート、アプリケーションノート、半導体信頼性ハンドブックなど）および本製品が使用される機器の取扱説明書、操作説明書などをご確認の上、これに従ってください。また、上記資料などに記載の製品データ、図、表などに示す技術的な内容、プログラム、アルゴリズムその他応用回路例などの情報を使用する場合は、お客様の製品単独およびシステム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断してください。
- 本製品は、特別に高い品質・信頼性が要求され、またはその故障や誤作動が生命・身体に危害を及ぼす恐れ、膨大な財産損害を引き起こす恐れ、もしくは社会に深刻な影響を及ぼす恐れのある機器（以下“特定用途”という）に使用されることは意図されていませんし、保証もされていません。特定用途には原子力関連機器、航空・宇宙機器、医療機器（ヘルスケア除く）、車載・輸送機器、列車・船舶機器、交通信号機器、燃焼・爆発制御機器、各種安全関連機器、昇降機器、発電関連機器などが含まれますが、本資料に個別に記載する用途は除きます。特定用途に使用された場合には、当社は一切の責任を負いません。なお、詳細は当社営業窓口まで、または当社 Web サイトのお問い合わせフォームからお問い合わせください。
- 本製品を分解、解析、リバースエンジニアリング、改造、改変、翻案、複製等しないでください。
- 本製品を、国内外の法令、規則及び命令により、製造、使用、販売を禁止されている製品に使用することはできません。
- 本資料に掲載してある技術情報は、製品の代表的動作・応用を説明するためのもので、その使用に際して当社及び第三者の知的財産権その他の権利に対する保証または実施権の許諾を行うものではありません。
- 別途、書面による契約またはお客様と当社が合意した仕様書がない限り、当社は、本製品および技術情報に関して、明示的にも黙示的にも一切の保証（機能動作の保証、商品性の保証、特定目的への合致の保証、情報の正確性の保証、第三者の権利の非侵害保証を含むがこれに限らない。）をしておりません。
- 本製品、または本資料に掲載されている技術情報を、大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的、あるいはその他軍事情報の目的で使用しないでください。また、輸出に際しては、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」等、適用ある輸出関連法令を遵守し、それらの定めるところにより必要な手続を行ってください。
- 本製品の RoHS 適合性など、詳細につきましては製品個別に必ず当社営業窓口までお問い合わせください。本製品のご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制する RoHS 指令等、適用ある環境関連法令を十分調査の上、かかる法令に適合するようご使用ください。お客様がかかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関して、当社は一切の責任を負いかねます。

東芝デバイス&ストレージ株式会社

<https://toshiba.semicon-storage.com/jp/>