



MICROCHIP

ご注意: この日本語版ドキュメントは、参考資料としてご使用の上、最新情報につきましても、必ず英語版オリジナルをご参照いただきますようお願いいたします。

AN763

ラッチアップから MOSFET ドライバを保護する

著者: マイクロチップテクノロジ(株)

はじめに

あらかたの CMOS IC は適当な条件にさえなれば、あたかも SCR のように容易に "ラッチ" してしまい、正の電源電圧からグラウンドにかけて短絡回路を形成します。本応用ノートでは、このような事がどうやって生じるのかを説明するとともに、MOSFET ドライバを使用するに際し、どうやってそれを防ぐかについて説明します。

CMOS IC の構造

CMOS IC を製造する際、CMOS 製造プロセス上での副産物として、バイポーラトランジスタが寄生的に形成されてしまいます (図 1 を御参照ください)。これらのトランジスタが形成されてしまうことは CMOS IC の構造に特有の性質であり、防ぐことはできません。P チャネル MOS トランジスタ部には寄生 PNP が、そして N チャネル MOS トランジスタ部には寄生 NPN が、それぞれ形成されます。これらの 2 個の寄生トランジスタはシリコン内部で接続しており、PNPN4 層の SCR 構造を形成します (図 1 及び図 2 を御参照ください)。

もし、P チャネル MOS 側の出力 = ドレインの P+ 部が V_{S+} 以上の電圧になると、寄生 SCR は容易にターンオンします。つまり、ドレイン P+ 部の電位が上昇すると、すなわちそれは、寄生 PNP トランジスタ Q_1 のエミッタの電位を上げることになり、 Q_1 のベースを介して電流が流れ、 R_1 (シリコン内部に寄生した抵抗) を通して電流が V_{S+} に流れます。N チャネル MOS 側の出力 = ドレインの N+ 部 (すなわち Q_2 のエミッタ) が V_{S-} 以下の電圧になっても、同様の現象を生じます。

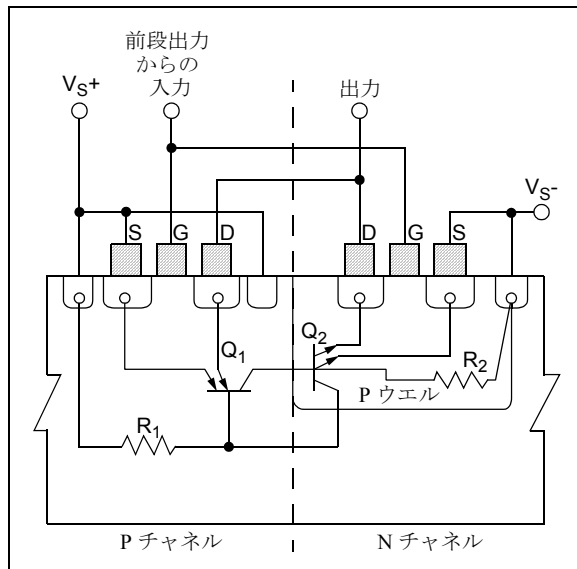


図1: CMOS IC 出力段

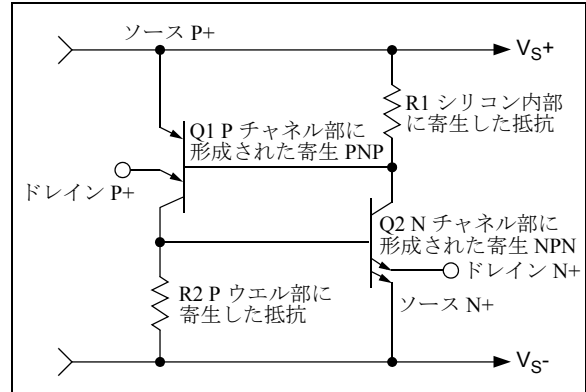


図2: 等価的な SCR 回路

寄生バイポーラトランジスタにおけるこのベース - エミッタ接合は寄生ダイオードですが、電力用 MOSFET トランジスタにも存在します。どんな CMOS 構造であれ、NMOS にも PMOS にもこれらの寄生ダイオードが存在します。IC においてはどの MOSFET にもバイポーラ構造が寄生します。入力トランジスタにおいても同様です。これらのダイオードの内のどれが導通しても SCR 動作を引き起こします。

大概の応用では寄生 SCR がトリガされると当該 IC は破壊してしまいます。破壊しない唯一の場合とは当該デバイスに供給される電流に制限がある場合です。この場合、供給電流が一旦ゼロとなり、その後再び通電されると、寄生 SCR のラッチは解除されており、当該デバイスは再び正常に動作し始めます。

SCR にトリガがかからないようにする

グラウンド

どんなシステムであれ、クリーンなグラウンドは非常に重要です。とりわけアナログ回路や電力回路において CMOS IC が使われている場合は、よりクリチカルになる場合があるため、大変重要となります。

グラウンドの設計が良くない場合にはデバイスのラッチアップを生じます。このような場合の一例を図 3 に挙げました。この例では、PWM 発生源は TC426 (ピーク電流 1.5A 型) に "Low" を与える事によりパワー MOSFET トランジスタを ON にしようとしています。ここで、もしグラウンド面のリターン抵抗 (R_1) が大変高い場合、TC426 のグラウンド電圧は PWM 信号源よりも上昇してしまいます。その結果、TC426 の入力は負電圧にバイアスされる事になるため、TC426 はラッチアップしてしまいます。

同様の事が回路内のインダクタンスによっても生じます。図 3 内の R_1 をインダクタンスに置き換えてみてください。MOSFET がオンになると信号ピン内の電流が非常に急激に増大していきます。一般的には立ち上がり時間は 30 ナノ秒から 60 ナノ秒だと考えられます。

この例では、ある MOSFET は 5A をスイッチし、回路のインダクタンスは 10 ナノ H だとします。 $V = L \cdot di/dt$ なので、立ち上がり時間にもよりますが、0.83V から 1.66V の電圧シフトがありました。この値は寄生 SCR をトリガするには充分すぎる値です。

この種の問題を解決するためのトラブルシュートとしては、一般的には 100 オーム程度の直列抵抗を TC426 出力と MOSFET のゲートとの間に挿入します。この直列抵抗のおかげで MOSFET のスイッチングが遅くなり、破壊せずに動作する様になりました。尚、このように直列抵抗を挿入する方法では MOSFET の電力損失が増加するため発熱する事に注意を払う必要があります。

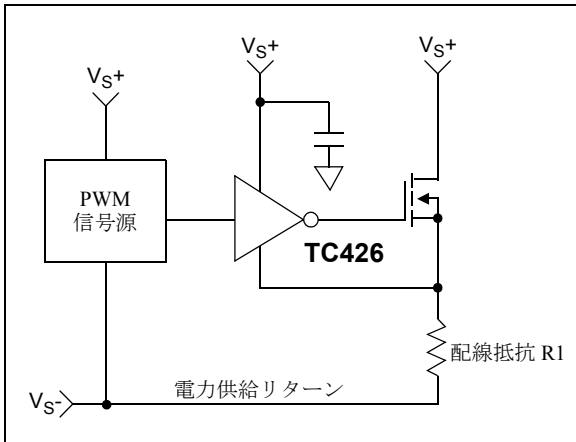


図3: 正しくないグラウンド

図4と図6は適切な"星型"グラウンドを施してラッチアップを防止した例です。尚、全てのグラウンドはただ1点でのみ接続されている事に注意してください(訳注:いわゆる一点アースの事)。プリント配線基板では全ての配線はただ1点でのみ接続されなければならないという事です。すなわち一本のトレースに全部を配線してはいけません。(その意味で、図3と図5とでは過ちをおかしています。)

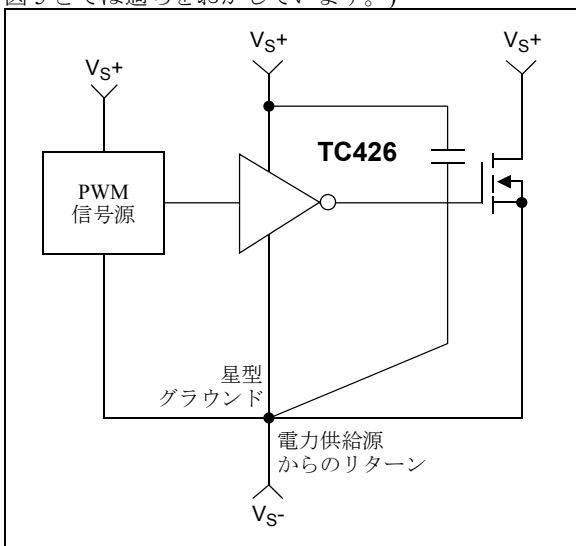


図4: 正しいグラウンド

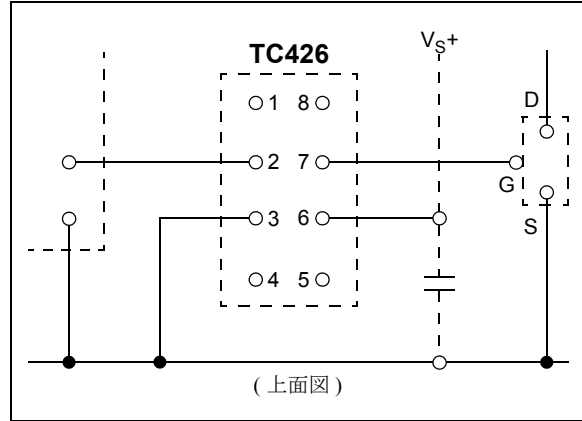


図5: 不適当なPCBレイアウト

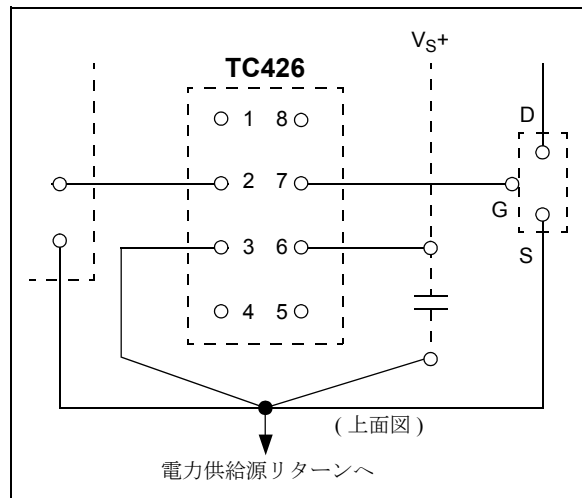


図6: 適切なPCBレイアウト

デカップリング

電力供給源の出力電圧に含まれるリップルとノイズもまたラッチアップの原因となります。 V_{S+} は電力供給源側ではきちんとデカップリングされていても、ICの電源ピンには電圧のトランジェントが発生します。これらのトランジェントは、ICに流れる最初のピーク電流と電力供給源の寄生インダクタンス及び寄生抵抗との複合作用によって引き起こされます(図7及び図8を御参照ください)。

この問題はICが重い負荷を駆動している場合に顕著に頭れ、TC426やTC429(ピーク電流6A型)がパワーMOSFETを駆動している場合がそれに相当します。スイッチングするため、電力供給源はTC429に数アンペアの電流を供給します。その結果、電源電圧には局部的に大きなトランジェントが発生します。もしTC429の入力がシステムの電力供給源に大変近い箇所に位置しているとするとCMOSロジックが動作している場合、電源電圧は局部的には非常に低下し、入力電圧以下となった場合には寄生SCRをトリガします。寄生SCRは非常に高速なので、このようなトランジェントがわずかに数ナノ秒の期間だけしか続かなくても、ラッチアップします。

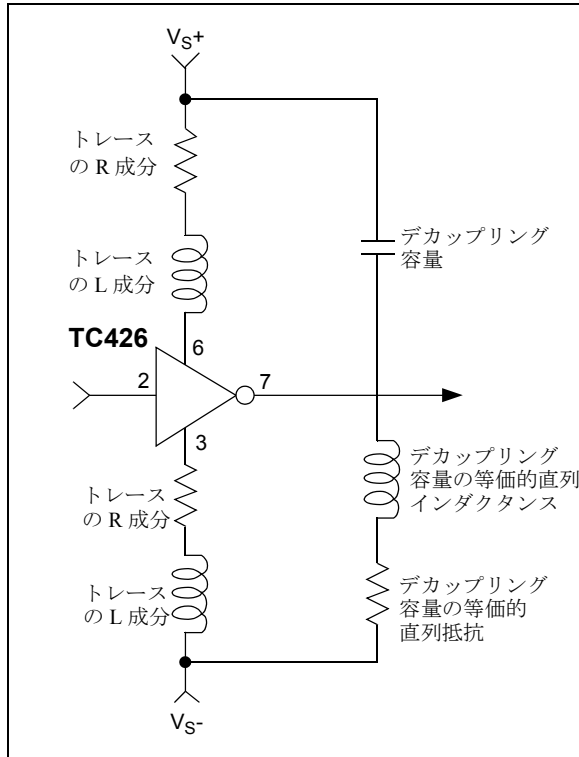


図7: プリント基板上では、2系統のトレースで電力供給されるTC426(等価回路)

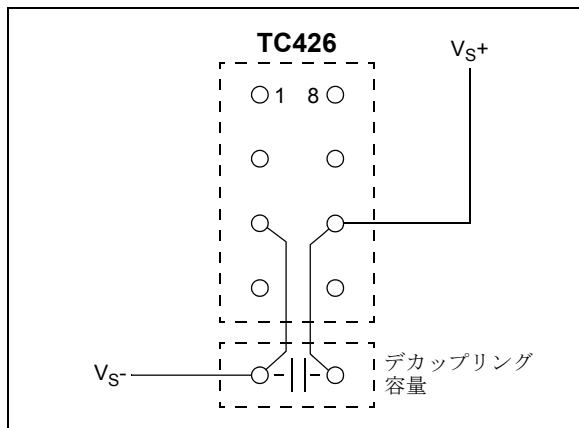


図8: 標準的なプリント基板レイアウト(TC426)

更にまずい事には寄生トランジスタの温度特性があります。ベース-エミッタ間の電圧は、温度が上昇する毎に2.2ミリV/°Cの割合で減少します。その結果、チップの温度が上がるとトランジスタに対してより敏感になるという事になります。多くの場合、実験的には非常に良く動作するシステムであっても、局所的なデカップリングがマージナブルな場合など、高温でトラブルに見舞われる事が多々あります。非常に効果のある解決法は、電力供給バスを適度にデカップリングしてV_{S+}が入力信号を下回らないようにすることです。2つ目にはそれほど明白ではありませんが、入力の論理レベルを下げることでです。

入力電圧を低くする事は発生スパイクを低くするのに効果があるのですが、同一電源から電力を供給されている他のICの対ノイズ特性にとっては当該MOSFETドライバが発生するノイズにより、あおりを受けます。

例えば携帯用電子機器などの応用では、総合的な消費電力を最小に抑え続ける事が好ましいとされているため、応用設計者は電池寿命を長くするのにシステム内の未使用箇所の電力を良く遮断させます。

V_{S+}が遮断された場合でも入力信号が常に与えられている場合には問題を起す場合があります。このような場合、CMOS ICの入力に抵抗を直列挿入する事によりピンに流入(もしくは流出)する電流値をデータシートに記載されている最大電流許容値以下に制限します。電源が"オン"になっても寄生SCRの動作は防止できるでしょう。

ダイオード

寄生SCRの動作を防止する確実で非常に信頼性の高い方法はICのピンの内、敏感なピンを全てステアリングダイオードで保護することです。この方法はMOSFETドライバの負荷が長い配線長の信号線路だったりパルストランスなどの誘導性の場合に最も良く使われている方法です。

逆バイアスされたダイオードを電源/グラウンドと入力/出力ピンとにそれぞれ接続します(図9や図10に示されているように)。この方法では信号振幅範囲を両電源間の電圧+クランプダイオードの順方向降下電圧以上にはならないように制限します。この理由により、この方法の場合、ショットキーダイオードが最適な部品選択となります。なぜならば、順方向降下電圧はどんな温度の時ですら寄生SCRのベース-エミッタ電圧よりもショットキーダイオードのそれは小さいからです。MOSFETドライバのような大電力用途には、例えば、Philips™ や Mullard™、Amperex™ のBYV10-30が合っています。OPアンプやAD変換器のような表面実装応用とか低電力ICの用途には、例えばBAT-54デュアルダイオードが合っています。

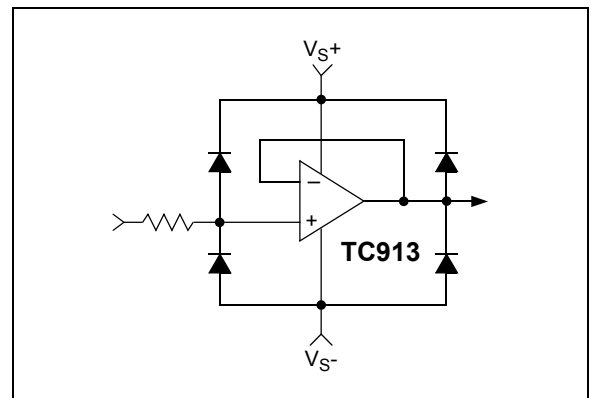


図9: ダイオードでクランプされた信号入力/信号出力のTC913 OPアンプ

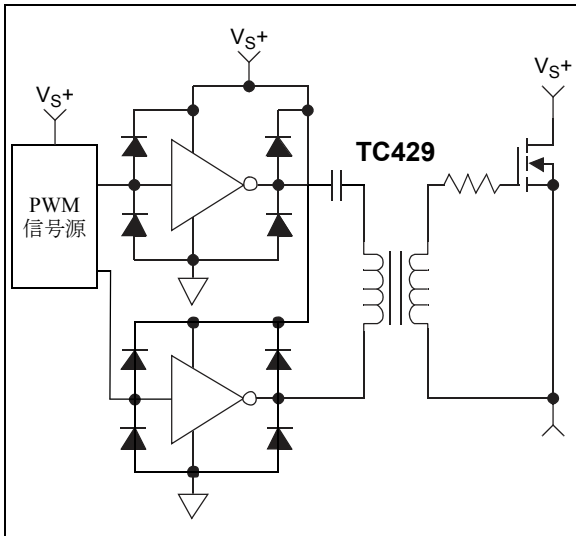


図 10: パルストランスを駆動している TC429

例えば 1N270 のようなゲルマニウム ダイオードを利用する事もまた有効でしょう。が、この場合、ある種の応用にとっては漏れ電流が大きすぎる場合があります。1N4148 や 1N914 などの標準的な小信号用ダイオードは良く利用されています。これらのダイオードの接合面積は大きく、ために、実効的な順方向降下電圧は当該 CMOS IC 内の寄生 PN 接合より小さくなっています。よって電圧値をクランプするのにより適しています。

標準的な PN 接合型ダイオードでは漏れ電流が大きすぎるような応用の場合 (例えば図 10 のような応用)、漏れの非常に小さい接合型 FET (JFET) をダイオードのように動作させるのも一案です。これらのデバイスでは数ピコアンペアという極小の漏れ電流しかありませんし、応答も極めて高速です。これらの応用についての詳細は弊社にお問い合わせ下さい。

抵抗

寄生 SCR がトリガされる事自体は問題ではなく、単に IC が破壊さえしなければ良いという応用の場合、電力供給用のピンに直列に抵抗を挿入するだけで破壊から免れることができます。一旦、SCR がトリガされてしまったら、非常に短期間に電源電圧をゼロにして SCR をリセットしなければなりません。電流を安全範囲まで制限する程度に十分に抵抗を大きくしないと効果がありません。が、このようにすると、IC には一切ダメージが加わりません。この方法は IC をダメージから守る最も低廉な方法です。

しかしながら、抵抗を使う場合には制約があります。抵抗はデカップリング用の容量に充電する電流も制限してしまいます。その結果、IC の動作周波数は $R \times C$ の時定数に基づく周波数に制限されます。

この方法は、直流動作だけをする OP アンプ回路には大変有効です。すなわち OP アンプ自体にはもともとピーク電流は大変少ないし、回路は直流しか増幅せず、交流要素がないため、 $R \times C$ の時定数問題がないからです。

結論

CMOS IC ではラッチアップしないように予防する事が可能です。実現容易な応用回路技法に加えシステム設計時に留意さえすれば、どんな動作環境においても確実に CMOS の能力を完全に活かす事が可能となります。応用設計者は、そう遠くはない将来には、こんな簡単な予防策さえ不要になるのでしょうか、その時までには予防策が必要です。

まとめ

ラッチアップしないようにするには、下記の方法があります。

1. IC をデカップルする事。
2. インダクタンスが負荷の場合、IC 出力をダイオードでクランプする事。
3. 入力信号振幅が過大で電源電圧より高くなりそうな場合、あるいはグラウンド電圧を下回りそうな場合、入力をダイオードでクランプする事。
4. 可能な限り、とりわけ大電流応用の場合、"スター"配線、すなわち、1点アースをする事。

マイクロチップテクノロジー社(以下、マイクロチップ社)デバイスのコード保護機能に関する以下の点にご留意ください。

- マイクロチップ社製品は、その該当するマイクロチップ社データシートに記載の仕様を満たしています。
- マイクロチップ社では、通常の条件ならびに仕様どおりの方法で使用した場合、マイクロチップ社製品は現在市場に流通している同種製品としては最もセキュリティの高い部類に入る製品であると考えております。
- コード保護機能を解除するための不正かつ違法な方法が存在します。マイクロチップ社の確認している範囲では、このような方法のいずれにおいても、マイクロチップ社製品をマイクロチップ社データシートの動作仕様外の方法で使用する必要があります。このような行為は、知的所有権の侵害に該当する可能性が非常に高いと言えます。
- マイクロチップ社は、コードの保全について懸念を抱いているお客様と連携し、対応策に取り組んでいきます。
- マイクロチップ社を含むすべての半導体メーカーの中で、自社のコードのセキュリティを完全に保証できる企業はありません。コード保護機能とは、マイクロチップ社が製品を「解読不能」として保証しているものではありません。

コード保護機能は常に進歩しています。マイクロチップ社では、製品のコード保護機能の改善に継続的に取り組んでいます。マイクロチップ社のコード保護機能を解除しようとする行為は、デジタルミレニアム著作権法に抵触する可能性があります。そのような行為によってソフトウェアまたはその他の著作物に不正なアクセスを受けた場合は、デジタルミレニアム著作権法の定めるところにより損害賠償訴訟を起こす権利があります。

本書に記載されているデバイス アプリケーションなどに関する情報は、ユーザーの便宜のためにのみ提供されているものであり、更新によって無効とされることがあります。アプリケーションと仕様の整合性を保証することは、お客様の責任において行ってください。マイクロチップ社は、明示的、暗黙的、書面、口頭、法定のいずれであるかを問わず、本書に記載されている情報に関して、状態、品質、性能、商品性、特定目的への適合性をはじめとする、いかなる類の表明も保証も行いません。マイクロチップ社は、本書の情報およびその使用に起因する一切の責任を否認します。マイクロチップ社デバイスを生命維持および/または保安のアプリケーションに使用することはデバイス購入者の全責任において行うものとし、デバイス購入者は、デバイスの使用に起因するすべての損害、請求、訴訟、および出費に関してマイクロチップ社を弁護、免責し、同社に不利益が及ばないようにすることに同意するものとし、暗黙的あるいは明示的を問わず、マイクロチップ社が知的財産権を保有しているライセンスは一切譲渡されません。

商標

Microchip の社名とロゴ、Microchip ロゴ、dsPIC、KEELOQ、KEELOQ ロゴ、MPLAB、PIC、PICmicro、PICSTART、rPIC、UNI/O は、米国およびその他の国における Microchip Technology Incorporated の登録商標です。


FilterLab、Hampshire、HI-TECH C、Linear Active Thermistor、MXDEV、MXLAB、SEEVAL、The Embedded Control Solutions Company は、米国における Microchip Technology Incorporated の登録商標です。

Analog-for-the-Digital Age、Application Maestro、CodeGuard、dsPICDEM、dsPICDEM.net、dsPICworks、dsSPEAK、ECAN、ECONOMONITOR、FanSense、HI-TIDE、In-Circuit Serial Programming、ICSP、Mindi、MiWi、MPASM、MPLAB Certified ロゴ、MPLIB、MPLINK、mTouch、Octopus、Omniscient Code Generation、PICC、PICC-18、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PIC³² ロゴ、Real ICE、rLAB、Select Mode、Total Endurance、TSHARC、UniWinDriver、WiperLock、ZENA は、米国およびその他の国における Microchip Technology Incorporated の商標です。

SQTP は米国における Microchip Technology Incorporated のサービスマークです。

その他、本書に記載されている商標は、各社に帰属します。

© 2009, Microchip Technology Incorporated, Printed in the U.S.A., All Rights Reserved.

 再生紙を使用しています。

QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
== ISO/TS 16949:2002 ==

マイクロチップ社では、Chandler および Tempe (アリゾナ州)、Gresham (オレゴン州) の本部、設計部およびウエハ製造工場としてカリフォルニア州とインドのデザインセンターが ISO/TS-16949:2002 認証を取得しています。マイクロチップ社の品質システムプロセスおよび手順は、PIC[®] MCU および dsPIC[®] DSC、KEELOQ[®] コードホッピングデバイス、シリアルEEPROM、マイクロペリフェラル、不揮発性メモリ、アナログ製品に採用されています。また、マイクロチップ社の開発システムの設計および製造に関する品質システムは、



MICROCHIP

世界各国での販売およびサービス

北米

本社
2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 480-792-7200
Fax: 480-792-7277
テクニカルサポート:
<http://support.microchip.com>
ウェブアドレス:
www.microchip.com

アトランタ

Duluth, GA
Tel: 678-957-9614
Fax: 678-957-1455

ボストン

Westborough, MA
Tel: 774-760-0087
Fax: 774-760-0088

シカゴ

Itasca, IL
Tel: 630-285-0071
Fax: 630-285-0075

クリーブランド

Independence, OH
Tel: 216-447-0464
Fax: 216-447-0643

ダラス

Addison, TX
Tel: 972-818-7423
Fax: 972-818-2924

デトロイト

Farmington Hills, MI
Tel: 248-538-2250
Fax: 248-538-2260

ココモ

Kokomo, IN
Tel: 765-864-8360
Fax: 765-864-8387

ロサンゼルス

Mission Viejo, CA
Tel: 949-462-9523
Fax: 949-462-9608

サンタクララ

Santa Clara, CA
Tel: 408-961-6444
Fax: 408-961-6445

トロント

Mississauga, Ontario,
Canada
Tel: 905-673-0699
Fax: 905-673-6509

アジア / 太平洋

アジア太平洋支社
Suites 3707-14, 37th Floor
Tower 6, The Gateway
Harbour City, Kowloon
Hong Kong
Tel: 852-2401-1200
Fax: 852-2401-3431

オーストラリア - シドニー

Tel: 61-2-9868-6733
Fax: 61-2-9868-6755

中国 - 北京

Tel: 86-10-8528-2100
Fax: 86-10-8528-2104

中国 - 成都

Tel: 86-28-8665-5511
Fax: 86-28-8665-7889

中国 - 香港 SAR

Tel: 852-2401-1200
Fax: 852-2401-3431

中国 - 南京

Tel: 86-25-8473-2460
Fax: 86-25-8473-2470

中国 - 青島

Tel: 86-532-8502-7355
Fax: 86-532-8502-7205

中国 - 上海

Tel: 86-21-5407-5533
Fax: 86-21-5407-5066

中国 - 瀋陽

Tel: 86-24-2334-2829
Fax: 86-24-2334-2393

中国 - 深川

Tel: 86-755-8203-2660
Fax: 86-755-8203-1760

中国 - 武漢

Tel: 86-27-5980-5300
Fax: 86-27-5980-5118

中国 - 厦門

Tel: 86-592-2388138
Fax: 86-592-2388130

中国 - 西安

Tel: 86-29-8833-7252
Fax: 86-29-8833-7256

中国 - 珠海

Tel: 86-756-3210040
Fax: 86-756-3210049

アジア / 太平洋

インド - バンガロール
Tel: 91-80-3090-4444
Fax: 91-80-3090-4080

インド - ニューデリー
Tel: 91-11-4160-8631
Fax: 91-11-4160-8632

インド - プネ

Tel: 91-20-2566-1512
Fax: 91-20-2566-1513

日本 - 横浜

Tel: 81-45-471- 6166
Fax: 81-45-471-6122

韓国 - 大邱

Tel: 82-53-744-4301
Fax: 82-53-744-4302

韓国 - ソウル

Tel: 82-2-554-7200
Fax: 82-2-558-5932 または
82-2-558-5934

マレーシア - クアラルンプール

Tel: 60-3-6201-9857
Fax: 60-3-6201-9859

マレーシア - ペナン

Tel: 60-4-227-8870
Fax: 60-4-227-4068

フィリピン - マニラ

Tel: 63-2-634-9065
Fax: 63-2-634-9069

シンガポール

Tel: 65-6334-8870
Fax: 65-6334-8850

台湾 - 新竹

Tel: 886-3-6578-300
Fax: 886-3-6578-370

台湾 - 高雄

Tel: 886-7-536-4818
Fax: 886-7-536-4803

台湾 - 台北

Tel: 886-2-2500-6610
Fax: 886-2-2508-0102

タイ - バンコク

Tel: 66-2-694-1351
Fax: 66-2-694-1350

ヨーロッパ

オーストリア - ヴェルス
Tel: 43-7242-2244-39
Fax: 43-7242-2244-393

デンマーク - コペンハーゲン

Tel: 45-4450-2828
Fax: 45-4485-2829

フランス - パリ

Tel: 33-1-69-53-63-20
Fax: 33-1-69-30-90-79

ドイツ - ミュンヘン

Tel: 49-89-627-144-0
Fax: 49-89-627-144-44

イタリア - ミラノ

Tel: 39-0331-742611
Fax: 39-0331-466781

オランダ - ドリューネン

Tel: 31-416-690399
Fax: 31-416-690340

スペイン - マドリッド

Tel: 34-91-708-08-90
Fax: 34-91-708-08-91

英国 - ウォーキンガム

Tel: 44-118-921-5869
Fax: 44-118-921-5820

03/26/09