

AMC130x に対する 高電圧絶縁の 品質と信頼性



Tom Bonifield

HV 絶縁チーム
アナログ・テクノロジー開発部

テキサス・インスツルメンツ

www.tij.co.jp/isolation

概要

絶縁製品は、システムの2つの領域間に信号および電力を伝達しながら、DC電流や不要なAC電流が流れるのを防ぎます。TIのAMC130x製品ファミリーは、強化絶縁の定格を備えた最初の世代の製品で、2レベルの基本絶縁に相当する信頼性、電撃保護、および絶縁を1つのパッケージで提供します。

高電圧絶縁技術

高電圧 (HV) 絶縁は、2個の厚いSiO₂コンデンサを直列に、絶縁障壁の各側に1個ずつ使用することで実現されます。SiO₂は、一般的に使用される高電圧絶縁部材の中で最大の絶縁耐力を持つ優れた誘電体です。ポリイミドや他のポリマー・ベースの絶縁体とは異なり、SiO₂はボイドが無く、湿度環境によってもSiO₂絶縁コンデンサは劣化しません。

絶縁体材質	絶縁耐力
絶縁耐力	~1 Vrms/μm
エポキシ樹脂	~20 Vrms/μm
シリカ充填モールド・コンパウンド	~100 Vrms/μm
ポリイミド	~300 Vrms/μm
SiO ₂	~500 Vrms/μm

表 1: HV 絶縁に使用される一般的な絶縁体

HVコンデンサは、高性能アナログCMOSプロセスで製造され、マルチチップSOICモジュールにパッケージされます。ウエハの製造プロセスは、図1に示すように、2枚の金属間にHVコンデンサを形成するマルチレベル・メタル・プロセスです。この構造により、HV絶縁に必要な厚さのSiO₂を、標準的な層間誘電体層として使用することで実現できます。この多層構造により、HV性能に関して単一層への依存性が減少し、品質と信頼性が向上します。

HVコンデンサの製造には、量産アナログ製品やCMOS製品の生産に使用されるのと同じプロセスおよび装置が使用されます。SiO₂膜は非晶質で均質な特性を持ち、プラズマCVDによって成膜されます。各SiO₂層は、化学機械研磨を使用して平坦化します。最終的なSiO₂膜の厚さは、プロセス中に測定され制御されます。複数の層を使用することにより、誘電体の厚さバラツキの少ない適切に制御された総合膜厚を実現し、これは組み立て前にウエハ・レベルの容量測定によって確認されます。

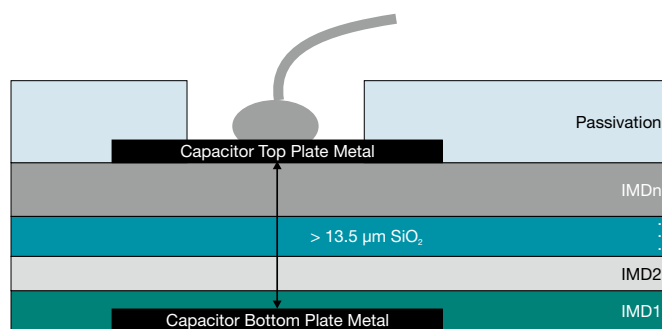


図 1: HVコンデンサの構造

次頁の図2に、この絶縁コンデンサ技術と高性能アナログ回路とを組み合わせたAMC130xマルチチップ・モジュールを示します。トランスミッタとレシーバ双方に絶縁コンデンサを持たせることで、単一コンデンサの場合と比べて2倍の高電圧特性を得ています。ダイ間のボンディング・ワイヤのループ高さは、HVに対応するよう制御されます。平坦化されたSiO₂、SiON、およびポリイミドの非常に厚い多層パッシベーションによって、ダイの周囲のモールド・コンパウンドで生じる可能性のある絶縁破壊からHV絶縁ダイが保護されます。

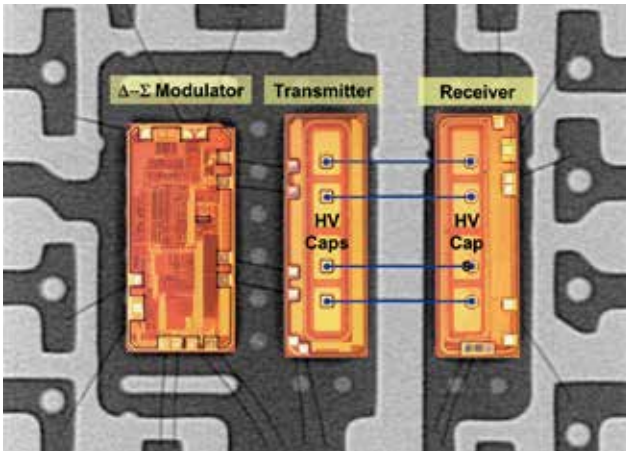


図2：トランスミッタとレシーバ上のHVコンデンサを直列に接続したAMC1305高電圧絶縁マルチチップ・モジュール

この構成を使用した製品は、以下のような強化絶縁に対する業界要求条件を満たしています。

- $V_{IOTM} = 5.0kV_{rms}$ の過渡過電圧
- $V_{IORM} = 1.0kV_{rms}$ 、20年間の強化絶縁動作電圧
- サージ > 10kV ピーク

高電圧絶縁試験

絶縁製品は、複数の部品レベルの規格と、システムおよび最終機器レベルの規格によって、管理され認定されます。絶縁製品がそのHV絶縁性能について認定を受けるためには、実際の動作条件に基づき、各種の電圧ストレス・プロファイルを示すことが必須とされます^[1]。これらのコンポーネント・レベルのパラメータには、動作電圧 (V_{IOWM})、最大過渡絶縁電圧 (V_{IOTM})、絶縁耐圧 (V_{ISO})、最大反復ピーク電圧 (V_{IORM})、最大サージ絶縁電圧 (V_{IOSM}) があります。これらのパラメータと、各能力を確認するために使用される試験の一覧を表2に示します。

パラメータ	HV 試験
V_{IOTM} , V_{ISO}	Method-B1 production screen, Ramp-to-breakdown, Method-A, TDDB
V_{IORM} , V_{IOWM}	Method-B1 production screen, TDDB
V_{IOSM}	サージ、サージ破壊点

表2：HV試験

すべての部品に対するMethod-B1に従ったHigh-voltage productionルーチンテストは、IEC 60747-5-5に規定されています。図3に、Method-B1の試験条件を示します。この試験は、絶縁試験と部分放電試験の2つから構成されます。絶縁試験は、ストレス電圧 $V_{ini,b}$ を V_{IOTM} または V_{ISO} の120%以上に設定した、1秒間 (t_{st1}) にわたるHVリーク試験です。この試験では、HVコンデンサに不具合のあるHVコンデンサを分別します。Method-B1の2つ目の試験は、強化絶縁に対して $1.875 \times V_{IORM}$ の " V_m " を使用して1秒間にわたり行われる部分放電試験です。この部分放電試験では、モールド・コンパウンド中に電氣的に活性なボイドを含む製品が分別されます。

RTB (Ramp-to-Breakdown：絶縁破壊まで電圧を上昇) 試験は、図4に示すような、サンプル・ベースで実施される破壊的試験です。これらのRTBデータは、絶縁破壊電圧の緊密な分布を示し、6kVrmsで1秒間のMethod-B1リーク試験に対して大きなマージンがあります。

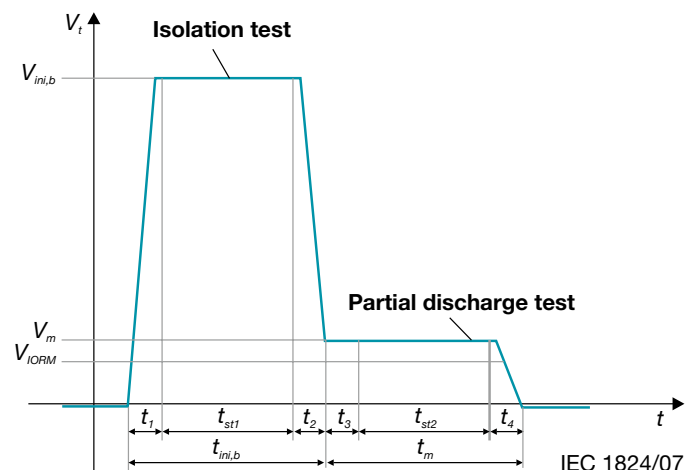


図3：すべての部品に対して実施されたMethod-B1のHigh-voltage production試験

ヒストグラム – RTB_kVrms

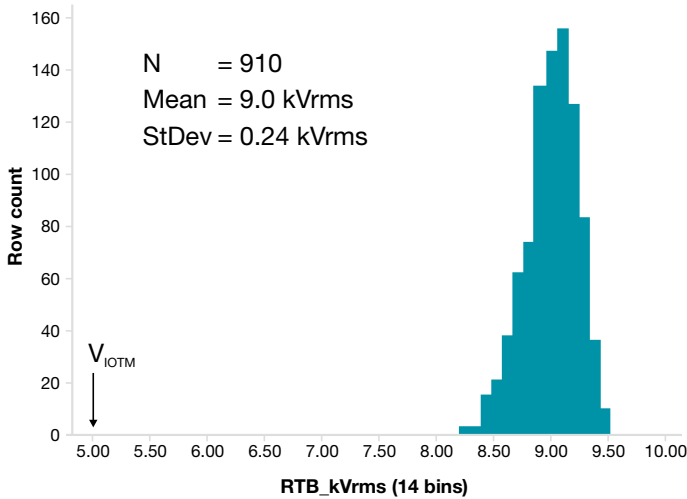


図4：RTB 電圧の分布、1kVrms/秒の上昇レート

経時絶縁破壊 (TDDB) は、任意の誘電体の寿命を検証するための標準試験方法です^{[2], [3], [4]}。これは、高電圧絶縁障壁に対する重要な試験の1つです。TDDBは、最終的にパッケージされた製品に対して実施することができます。これは2つの絶縁された電圧領域間を試験する際に、絶縁体に直接アクセスできるためです。TDDBは、絶縁体が摩滅して短絡障害が発生するまでの間、一定の高いACまたはDC電圧を部品に印加することで実施します。TDDB試験を複数の電圧で実施することにより、図5に示すように外挿を行って、動作電圧における製品寿命を決定できます。

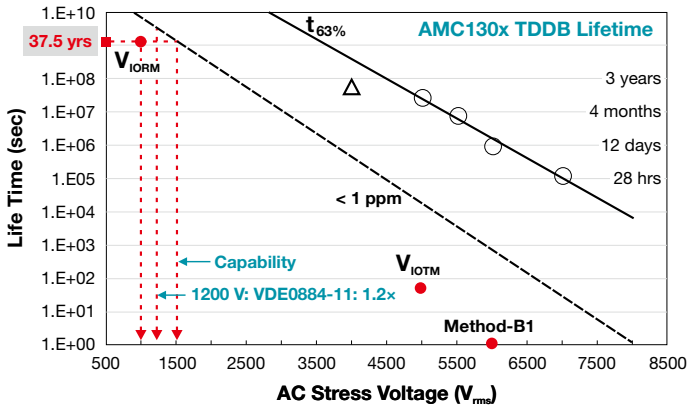


図5：経時絶縁破壊 (TDDB)。丸印は、63%の製品が絶縁破壊に至るまでの時間です。三角は、4kVrmsでのTDDB試験の継続中に、17,000時間の経過時点でのどの製品も絶縁破壊に至っていない状態を示しています。

各TDDB試験電圧での絶縁破壊時間をワイブル解析によって分析し、平均破壊時間 $t_{63\%}$ を決定して、1ppm破壊確率への外挿を行います。TDDB絶縁破壊時間は、一般的に使用される次のモデルに従います。

$$\text{破壊までの時間} = A * \exp(-\gamma * E)$$

ここで γ は電界加速係数、Eは電界です。

AMC130xなどのHVコンデンサを使用した強化絶縁製品の寿命を決定するためのマージンは、VDE884-11規格に規定されています。これには、動作電圧の20%のマージンと、寿命の87.5%のマージンが含まれます。つまり、1kVrmsの動作電圧で20年の寿命を保証するには、1.2kVrmsおよび37.5年で1ppmの破壊確率を下回る必要があります。図5では、最大の使用状況または1.0kVrmsの動作電圧 (V_{IORM} , V_{IOWM}) で、このテクノロジーがモデルに対して良好に適合し、絶縁障壁寿命が非常に長いことが示されています。

Method-Aの試験は、IECによって、サンプル・ベースで V_{IOTM} を直接確認するよう規定されています。Method-Aの試験には、 V_{IOTM} での60秒間のリーク試験が含まれ、これはこのテクノロジーに対しては5.0kVrmsです。TDDBは、 V_{IOTM} 仕様に対する実際の分布の質を決定するための最良の方法です。図5では、破壊までの平均時間が V_{IOTM} よりも5桁以上大きいことが示されています。

サージは、非常に高電圧で非常に短時間の事象 (落雷など) に対する耐性を確認するためのIECサンプル試験です。サージ・パルス波形は、IEC 61000-4-5によって、図6のように規定されています。強化絶縁では、ピーク電圧10kVで50パルス以上のサージ試験に合格する必要があります。

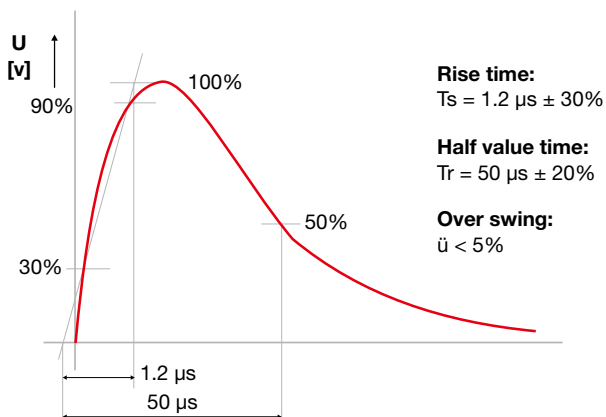


図6：サージ試験波形

サージ試験は、生産中のサンプルに対して定期的を実施され、強化絶縁の要件を満たしていることを確認します。

実際のサージ能力を評価するために、サージ破壊率をサージ・ピーク電圧の関数として測定します。各電圧で多数の製品を試験します。異なる2つのサージ試験方法で評価を行います。1つは“ユニポーラ”であり、すべてのパルスと同じ極性で印加します。もう1つは“バイポーラ”であり、半分のパルスを1つの極性、もう半分のパルスを逆の極性で印加します。

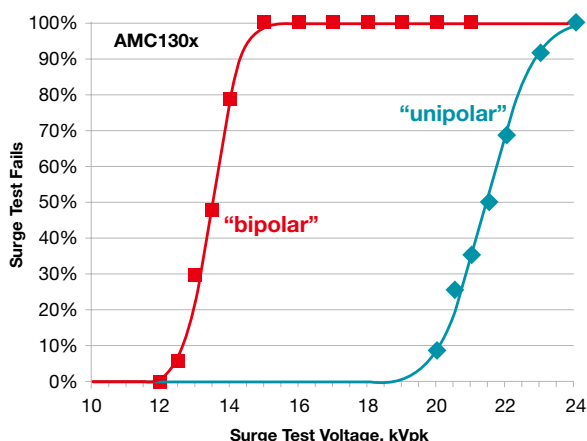


図7：“ユニポーラ”と“バイポーラ”の両方のサージ試験方法によるサージ破壊点の統計評価

実際のサージ破壊点の分布を図7に示します。

“ユニポーラ”と“バイポーラ”の両方のサージ破壊点が、強化絶縁に対する10kVのサージ要件を上回っています。“バイポーラ”のサージ破壊点の方が低いのは、一時的なヒステリシス効果によるものです。“ユニポーラ”のサージ分布は、単一のサージ事象を表しています。

結論

AMC130xファミリの製品は、強化絶縁の要件を上回る高電圧能力を備えています。HV絶縁の品質は、統計的試験方法を使用したときの大きなマージンによって示されています。AMC130xのHV絶縁システムの信頼性は、TDDBでの大きなマージンによって証明されています。これは、使用状態での寿命を証明する業界標準の方法です。

参考文献

- [1] High-voltage reinforced isolation: Definitions and test methodologies: <http://www.ti.com/lit/wp/slyy063/slyy063.pdf>.
- [2] J. W. McPherson, “Time dependent dielectric breakdown physics—Models revisited,” in *Microelectronics Reliability* 52, 2012, p. 1753–1760.
- [3] I. C. Chen, E. Holland, and C. A. Hu, “A quantitative physical model for time-dependent breakdown in SiO₂,” in *Proc. Int. Reliab. Phys. Symp.*, 1985, p. 24.
- [4] J. W. McPherson, V. Reddy, K. Banerjee, and L. Huy, “Comparison of E and 1/E TDDB models for SiO₂ under long-term/low-field test conditions,” in *IEDM Tech. Dig.*, 1998, p. 171.

S-0107

ご注意：

本資料に記載された製品・サービスにつきましては予告なしにご提供の中止または仕様の変更をする場合がありますので、本資料に記載された情報が最新のものであることをご確認の上ご注文下さいようお願い致します。

TIは製品の使用用途に関する援助、お客様の製品もしくはその設計、ソフトウェアの性能、または特許侵害に対して責任を負うものではありません。また、他社の製品・サービスに関する情報を記載していても、TIがその他社製品を承認あるいは保証することにはなりません。



ご注意

Texas Instruments Incorporated 及びその関連会社 (以下総称して TI といいます) は、最新の JESD46 に従いその半導体製品及びサービスを修正し、改善、改良、その他の変更をし、又は最新の JESD48 に従い製品の製造中止またはサービスの提供を中止する権利を留保します。お客様は、発注される前に、関連する最新の情報を取得して頂き、その情報が現在有効かつ完全なものであるかどうかをご確認下さい。全ての半導体製品は、ご注文の受諾の際に提示される TI の標準販売契約約款に従って販売されます。

TI は、その製品が、半導体製品に関する TI の標準販売契約約款に記載された保証条件に従い、販売時の仕様に対応した性能を有していることを保証します。検査及びその他の品質管理技法は、TI が当該保証を支援するのに必要とみなす範囲で行なわれております。各デバイスの全てのパラメーターに関する固有の検査は、適用される法令によってそれ等の実行が義務づけられている場合を除き、必ずしも行なわれておりません。

TI は、製品のアプリケーションに関する支援又はお客様の製品の設計について責任を負うことはありません。TI 製部品を使用しているお客様の製品及びそのアプリケーションについての責任はお客様にあります。TI 製部品を使用したお客様の製品及びアプリケーションに関連する危険を最小のものとするため、適切な設計上及び操作上の安全対策は、お客様にてお取り下さい。

TI は、TI の製品又はサービスが使用されている組み合わせ、機械装置、又は方法に関連している TI の特許権、著作権、回路配置利用権、その他の TI の知的財産権に基づいて何らかのライセンスを許諾するということは明示的にも黙示的にも保証も表明もしておりません。TI が第三者の製品もしくはサービスについて情報を提供することは、TI が当該製品又はサービスを使用することについてライセンスを与えるとか、保証又は是認するということを意味しません。そのような情報を使用するには第三者の特許その他の知的財産権に基づき当該第三者からライセンスを得なければならない、又は TI の特許その他の知的財産権に基づき TI からライセンスを得て頂かなければならない場合もあります。

TI のデータ・ブック又はデータ・シートの中にある情報の重要な部分の複製は、その情報に一切の変更を加えること無く、且つその情報と関連する全ての保証、条件、制限及び通知と共になされる限りにおいてのみ許されるものとします。TI は、変更が加えられて文書化されたものについては一切責任を負いません。第三者の情報については、追加的な制約に服する可能性があります。

TI の製品又はサービスについて TI が提示したパラメーターと異なる、又は、それを超えてなされた説明で当該 TI 製品又はサービスを再販売することは、関連する TI 製品又はサービスに対する全ての明示的保証、及び何らかの黙示的保証を無効にし、且つ不公正で誤認を生じさせる行為です。TI は、そのような説明については何の義務も責任も負いません。

TI からのアプリケーションに関する情報提供又は支援の一切に拘わらず、お客様は、ご自身の製品及びご自身のアプリケーションにおける TI 製品の使用に関する法的責任、規制、及び安全に関する要求事項の全てにつき、これをご自身で遵守する責任があることを認め、且つそのことに同意します。お客様は、想定される不具合がもたらす危険な結果に対する安全対策を立案し実行し、不具合及びその帰結を監視し、害を及ぼす可能性のある不具合の可能性を低減し、及び、適切な治癒措置を講じるために必要な専門的知識の一切を自ら有することを表明し、保証します。お客様は、TI 製品を安全でないことが致命的となるアプリケーションに使用したことから生じる損害の一切につき、TI 及びその代表者にその全額の補償をするものとします。

TI 製品につき、安全に関連するアプリケーションを促進するために特に宣伝される場合があります。そのような製品については、TI が目的とするところは、適用される機能上の安全標準及び要求事項を満たしたお客様の最終製品につき、お客様が設計及び製造ができるようお手伝いすることにあります。それにも拘わらず、当該 TI 製品については、前のパラグラフ記載の条件の適用を受けるものとします。

FDA クラス III (又は同様に安全でないことが致命的となるような医療機器) への TI 製品の使用は、TI とお客様双方の権限ある役員の間で、そのような使用を行う際について規定した特殊な契約書を締結した場合を除き、一切認められていません。

TI が軍需対応グレード品又は「強化プラスチック」製品として特に指定した製品のみが軍事用又は宇宙航空用アプリケーション、若しくは、軍事的環境又は航空宇宙環境にて使用されるように設計され、かつ使用されることを意図しています。お客様は、TI がそのように指定していない製品を軍事用又は航空宇宙用に使う場合は全てご自身の危険負担において行うこと、及び、そのような使用に関して必要とされるすべての法的要求事項及び規制上の要求事項につきご自身のみの責任により満足させることを認め、且つ同意します。

TI には、主に自動車用に使われることを目的として、ISO/TS 16949 の要求事項を満たしていると特別に指定した製品があります。当該指定を受けていない製品については、自動車用に使われるようには設計されてもいませんし、使用されることを意図しておりません。従いまして、前記指定品以外の TI 製品が当該要求事項を満たしていなかったことについては、TI はいかなる責任も負いません。

Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated
日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

弊社半導体製品の取り扱い・保管について

半導体製品は、取り扱い、保管・輸送環境、基板実装条件によっては、お客様での実装前後に破壊/劣化、または故障を起こすことがあります。

弊社半導体製品のお取り扱い、ご使用にあたっては下記の点を遵守して下さい。

1. 静電気

- 素手で半導体製品単体を触らないこと。どうしても触る必要がある場合は、リストストラップ等で人体からアースをとり、導電性手袋等をして取り扱うこと。
- 弊社出荷梱包単位 (外装から取り出された内装及び個装) 又は製品単品で取り扱いを行う場合は、接地された導電性のテーブル上で (導電性マットにアースをとったもの等)、アースをした作業者が行うこと。また、コンテナ等も、導電性のものを使うこと。
- マウンタやはんだ付け設備等、半導体の実装に関わる全ての装置類は、静電気の帯電を防止する措置を施すこと。
- 前記のリストストラップ・導電性手袋・テーブル表面及び実装装置類の接地等の静電気帯電防止措置は、常に管理されその機能が確認されていること。

2. 温・湿度環境

- 温度：0～40℃、相対湿度：40～85%で保管・輸送及び取り扱いを行うこと。(但し、結露しないこと。)

- 直射日光が当たる状態で保管・輸送しないこと。

3. 防湿梱包

- 防湿梱包品は、開封後は個別推奨保管環境及び期間に従い基板実装すること。

4. 機械的衝撃

- 梱包品 (外装、内装、個装) 及び製品単品を落下させたり、衝撃を与えないこと。

5. 熱衝撃

- はんだ付け時は、最低限 260℃ 以上の高温状態に、10 秒以上さらさないこと。(個別推奨条件がある時はそれに従うこと。)

6. 汚染

- はんだ付け性を損なう、又はアルミ配線腐食の原因となるような汚染物質 (硫黄、塩素等ハロゲン) のある環境で保管・輸送しないこと。
- はんだ付け後は十分にフラックスの洗浄を行うこと。(不純物含有率が一定以下に保証された無洗浄タイプのフラックスは除く。)

以上