

# I-V / C-V特性を簡単に評価するための ヒント、ツール、テクニック

A GREATER MEASURE OF CONFIDENCE

**KEITHLEY**  
A Tektronix Company

# I-V / C-V特性を簡単に評価するためのヒント、ツール、テクニック



## はじめに

半導体の特性評価には、テストに関する数多くの問題点があります。このEガイドでは、最新の半導体の材料、デバイス、プロセスの評価に欠かせないI-V測定、C-V測定を簡単に実行するための、最新のツール、ヒント、テクニックの概要について説明します。

## 目次

正確なI-V測定とC-V測定.....	3
C-V測定の整合性.....	4-5
C-V測定エラーを防ぎ、テスト時間を短縮.....	6
ハイ・インピーダンスのための新しいC-V測定テクニック.....	7
サブピコアンペア電流の正確な測定.....	8
I-V、C-V、パルスI-V測定機能を1台に統合.....	9
パワー・デバイスのI-V、C-V特性評価ソリューション.....	10

# 半導体の研究、設計、開発、テストのための正確なI-V測定とC-V測定

## I-V測定

低電流を正確に測定するには、さまざまな測定問題があります。リーク電流、ノイズ、オフセット電流、圧電電流、環境条件などのエラー要因は、測定精度に大きな影響を及ぼすことがあります。DC I-V特性の正確な測定は、最新のデバイス、材料、半導体の電気特性を知るうえで欠かせません。適切な測定テクニックとその実践により、これらの測定問題が解決できます。

## 超速パルスI-V測定

現在、多くのパラメータ測定で高速のパルスI-V測定が必要になっています。DC信号でなく、パルスI-V信号でデバイス进行评估することにより自己発熱（ジュール熱）が低減でき、測定における電流ドリフト／低下を最小限に抑えることができます。多くのアプリケーションで、パルスI-V測定、C-V測定、DC I-V測定が必要になっています。この3種類の測定を一度に、1つのテスト・システムで実行しながら、測定性能を維持する方法について考察します。

## 容量－電圧（C-V）測定

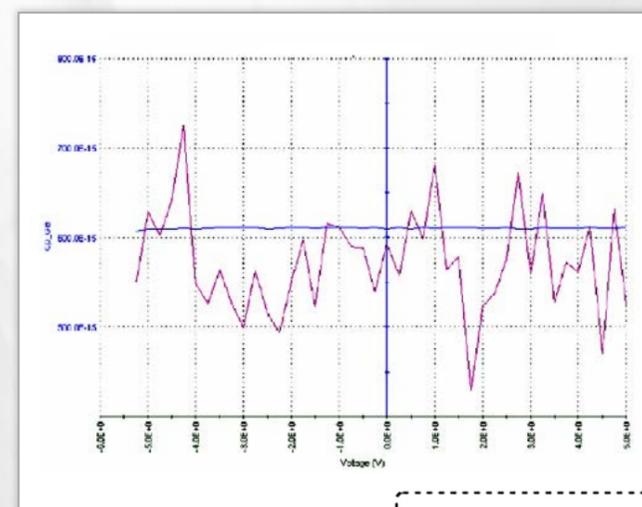
容量測定は、さまざまなデバイス、ストラクチャにおける数多くの半導体パラメータを知るために行われてきました。数多くの新しい材料、プロセス、デバイスの重要なパラメータを導き出すために、3種類の測定テクニックがあります。マルチ周波数容量では、容量対電圧（C-V）、容量対周波数（C-f）、容量対時間（C-t）の測定により、10MHzから1kHzまでの周波数範囲を検証します。薄膜トランジスタ、MEMS構造、その他のハイ・インピーダンス・デバイスのテスト・パラメータの検証では、より低い周波数での容量測定が必要になる場合もあります。超低周波（VLF）C-V測定では、10mHzから10Hzまでの範囲でC-V測定を行います。材料のスロー・トラッピング現象やデトラッピング現象を評価する場合は、準静的（ほとんどDCに近い）測定と呼ばれる方法で容量を測定することがあります。



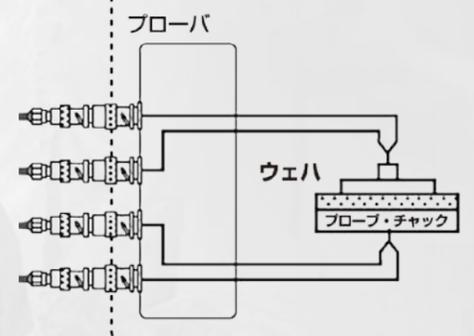
**ケースレーの特性評価ソリューション：**  
アプリケーション・ガイドのダウンロード(英語版)：  
**DC I-Vテスト、パルスI-Vテスト、C-Vテスト**

## C-V測定の実践性

ウェハ・レベルの容量測定では、回避可能な測定誤差に悩まされることがあります。正確な容量測定に対しては、ケーブル、スイッチ・マトリクス、フィクスチャの寄生容量と、ピコファラッドまたはフェムトファラッド・レンジにもなる小さな容量の組合せが問題になります。これらの測定値は一般的に、ほとんどのLCRメータの測定分解能よりもはるかに小さなレベルです。さらに、半導体ウェハの容量測定は、プローブ・ステーションのチャックの影響のため、パッケージ・デバイスの測定とは大きく異なったものになります。

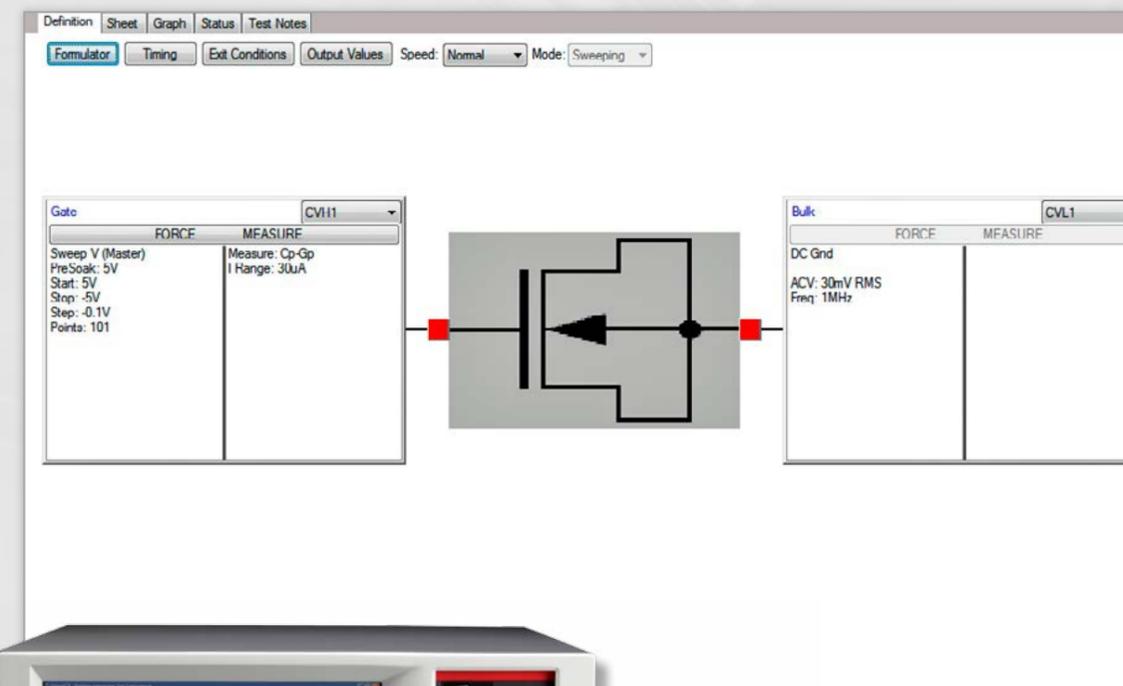


インターコネク容量



測定に整合性を持たせるためには、容量の測定方法を理解することが重要になります。一般的な容量メータは、被測定デバイスにDCバイアス電圧を印加し、1kHz~10MHzの周波数範囲でAC信号を測定します。MOSCap構造ではDC電圧を掃引します。これにより、被測定デバイスは空乏領域から反転領域に移行します。

ケースレーの4200-SCS型パラメータ・アナライザには、C-V測定を容易に実行するための、数多くのサンプル・プログラム、テスト・ライブラリ、内蔵のパラメータ抽出例を含んでいます。

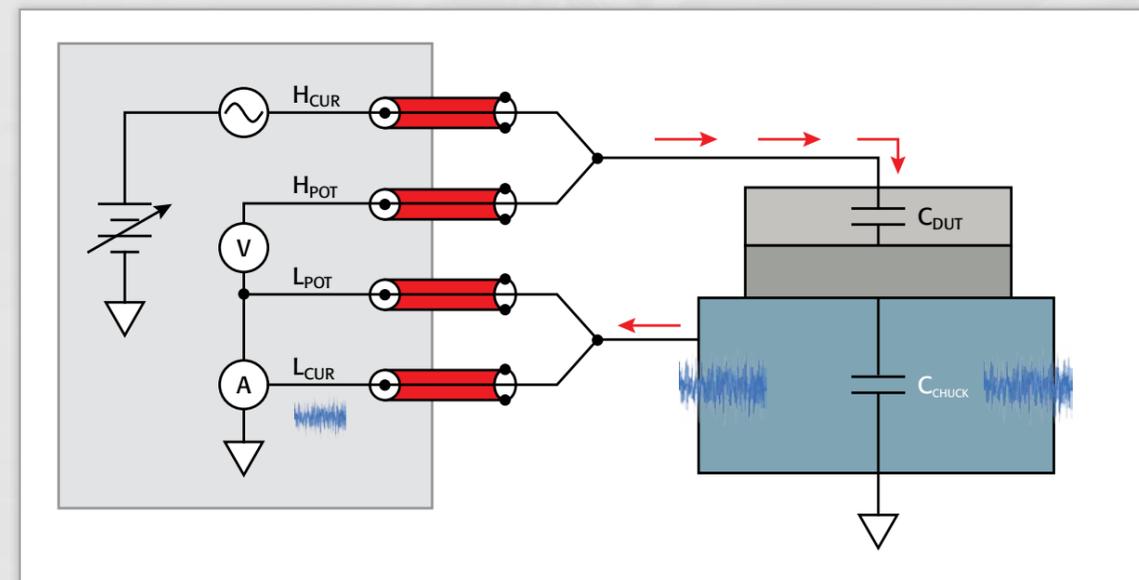


オプションの4210-CVU型C-Vメータは、4200-SCS型のシャーシに直接プラグインすることにより、1kHz~10MHzの周波数でフェムトファラッド (fF) からマイクロファラッド ( $\mu$ F) までの容量が測定できる。リニアまたはカスタムのC-V、C-f、C-tのスイープを、最大4096のデータ・ポイントですばやく設定できる

## C-V測定の整合性

ほとんどの容量測定はプローブ・ステーションで行いますが、これが多くの誤差の原因になります。プローブ・ステーションのチャックは、ランダム・ノイズを集める大きなアンテナとして機能します。ウェハのサブストレートはノイズの多いプローブ・グランドに電気的に接続されるため、容量メータで使用されるAC電流計回路はこのノイズを拾うことがあり、測定誤差が加わります。したがって、容量メータの端子は、ノイズの少ないDUT端子（一般的に、グランドに対して最も容量の小さな端子）と接続することが重要です。残念なことに、テストを中断し、セットアップを変更してこれを実行するのは時間のかかる作業であり、接続エラーの原因にもなります。C-V測定の整合性をとるため、4200-SCS型パラメータ・アナライザのソフトウェアは、テスト・セットアップ変更の必要なしに、マウス・クリック操作でAC電流計を切り替えることができます。

C-V測定のDCバイアスにより、DUTの酸化膜層に近づいたり遠ざかる移動キャリアを押したり引いたりする電界を生成します。電界を正確に制御するためには、DCバイアスを1つのデバイス端子から別の端子に切り替えることが必要になります。4200-SCS型を使用すると、DCバイアスを希望のDUT端子にすばやく、簡単に切り替えることができます。テスト・セットアップを変更する必要があるため時間が短縮でき、エラーの原因になったり、さらなるトラブルシュートに要する時間がなくなるような、間違った接続を防ぐことができます。



ウェハとプローブ・ステーションの容量測定では、AC電流計回路と最もノイズの少ないDUT端子を接続することが重要



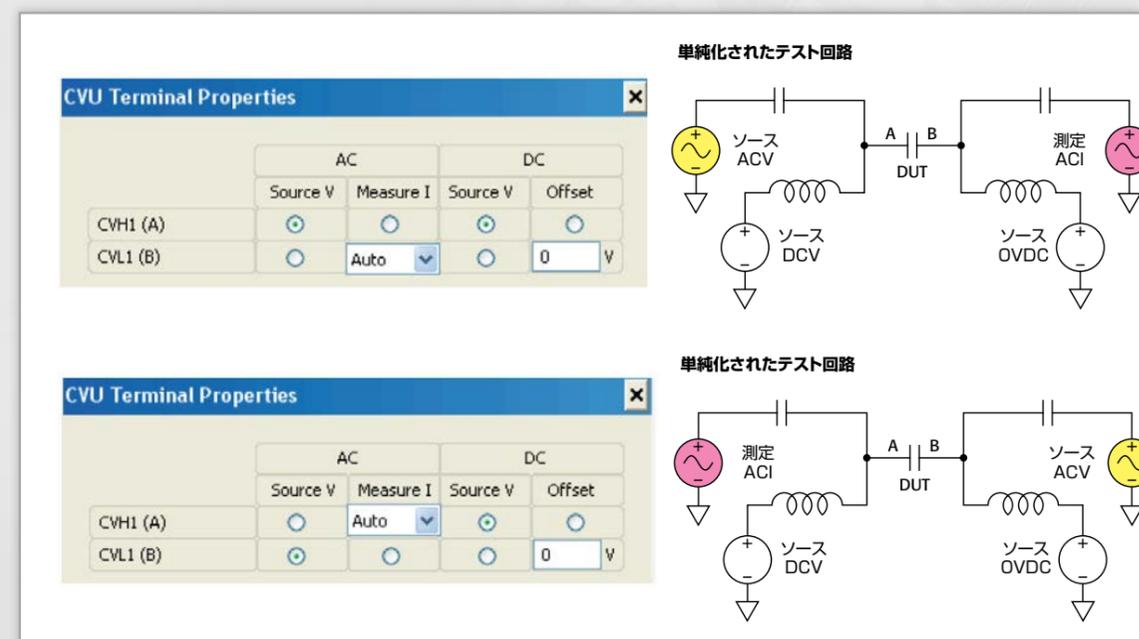
### 4 Things You Might Not Know About Making C-V Measurements

Katie Wright, Semiconductor Product Line Manager



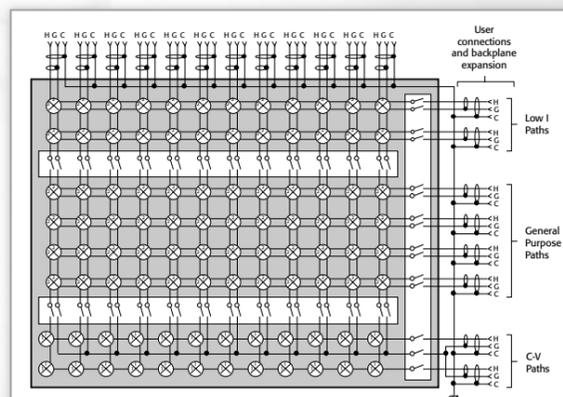
### より正確なC-V測定の詳細情報：

ウェブ・セミナー(英語版)：C-V測定に必要な4項目  
ホワイト・ペーパーのダウンロード(英語版)：  
C-V測定のためのヒント、トリック、罠



4200-SCS型パラメータ・アナライザのソフトウェアは、AC電流計とDCバイアスを簡単に切り替えてDUT端子に接続可能

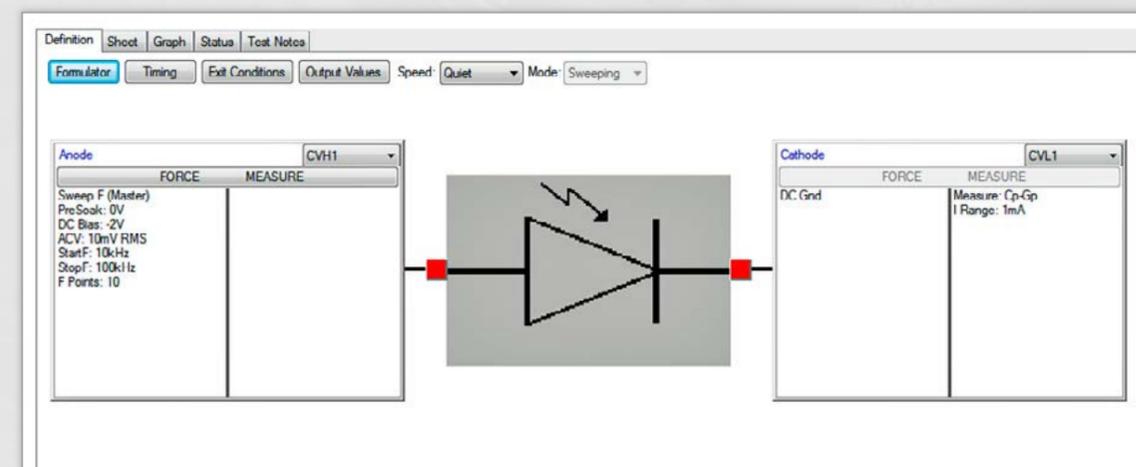
## C-V測定エラーを防ぎ、テスト時間を短縮



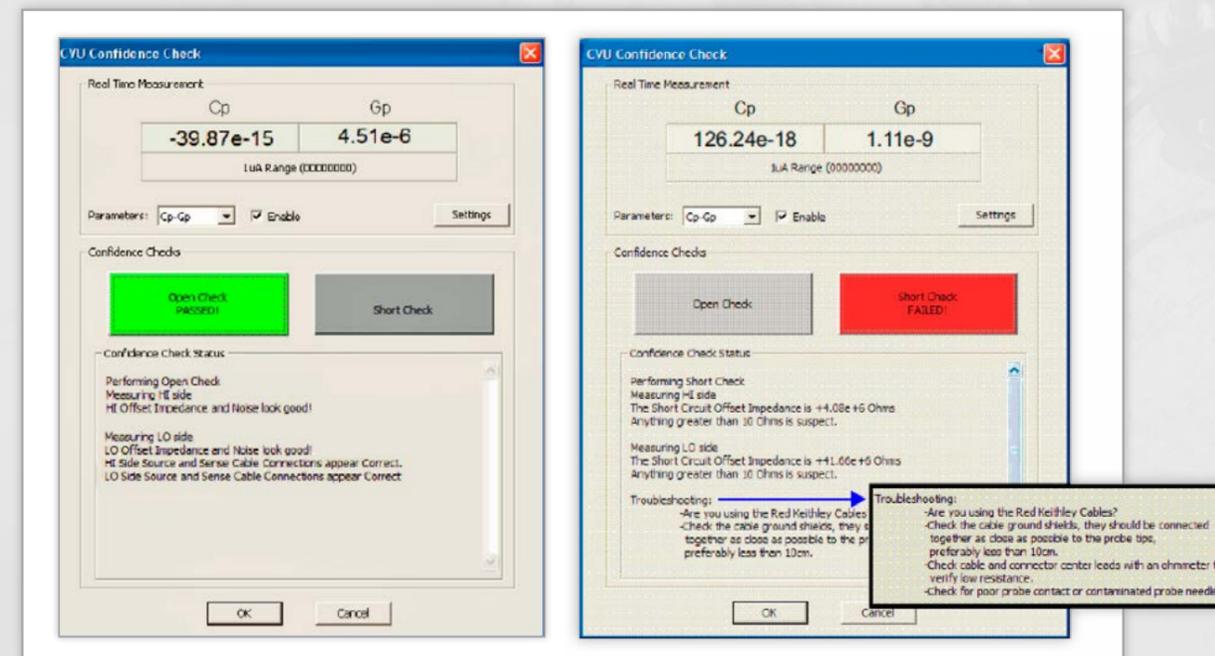
C-V測定では、オフセット補正や正しい接続などの手順を含む、浮遊容量の影響を最小限に抑えることが重要です。C-V計測器は接続ケーブルやアダプタでプローバと接続したり、スイッチ・マトリクスで接続したりするように設計されており、測定に浮遊容量が加わることがあります。

ケースレーの4200-SCS型パラメータ・アナライザには独自のConfidence Check機能があり、オープン/ショートの確認、DUTへのオープン/ショートが確認できます。4210-CVU型をDUTに接続すると、Confidence Check機能により測定値がリアルタイムに表示できるため、プリプログラム・テストの必要なしに、すばやく、正確なC-V測定が行えます。

4210-CVU型のConfidence Checkツールは、ケースレーの707B型6スロット・スイッチ・メインフレームまたは708B型シングルスロット・スイッチ・メインフレームとの使用のために設計されたスイッチ・マトリクスであり、テスト信号を接続する場合に、テストの整合性に影響を及ぼす浮遊容量の補正に役立ちます。スイッチ・マトリクスの接続を検証するには、Confidence Checkツールを使用してリアルタイムの容量測定を行います。4210-CVU型とDUTを接続すると、Confidence Checkツールは測定値をリアルタイムに表示します。



4200-SCS型パラメータ・アナライザでただちに使用できるC-Vアプリケーション・テスト



ケースレーのConfidence Check機能によるDUTへの接続の整合性確認



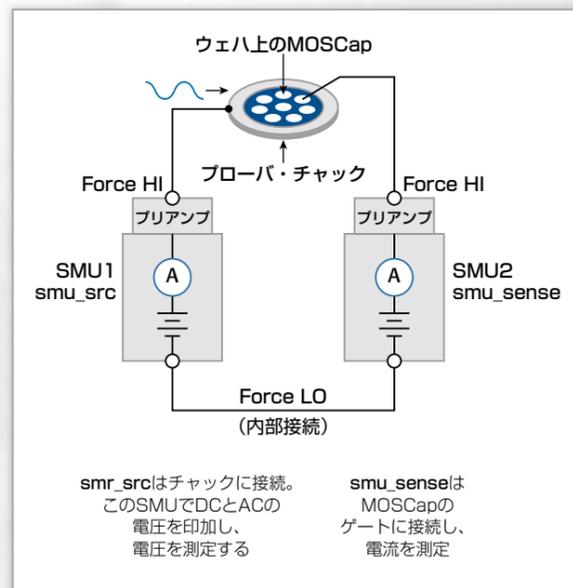
### C-V測定の整合性に関する詳細情報：

ウェブ・セミナー(英語版)：  
半導体のC-Vテストのためのヒント、トリック、罠  
カタログのダウンロード：4200-SCS型

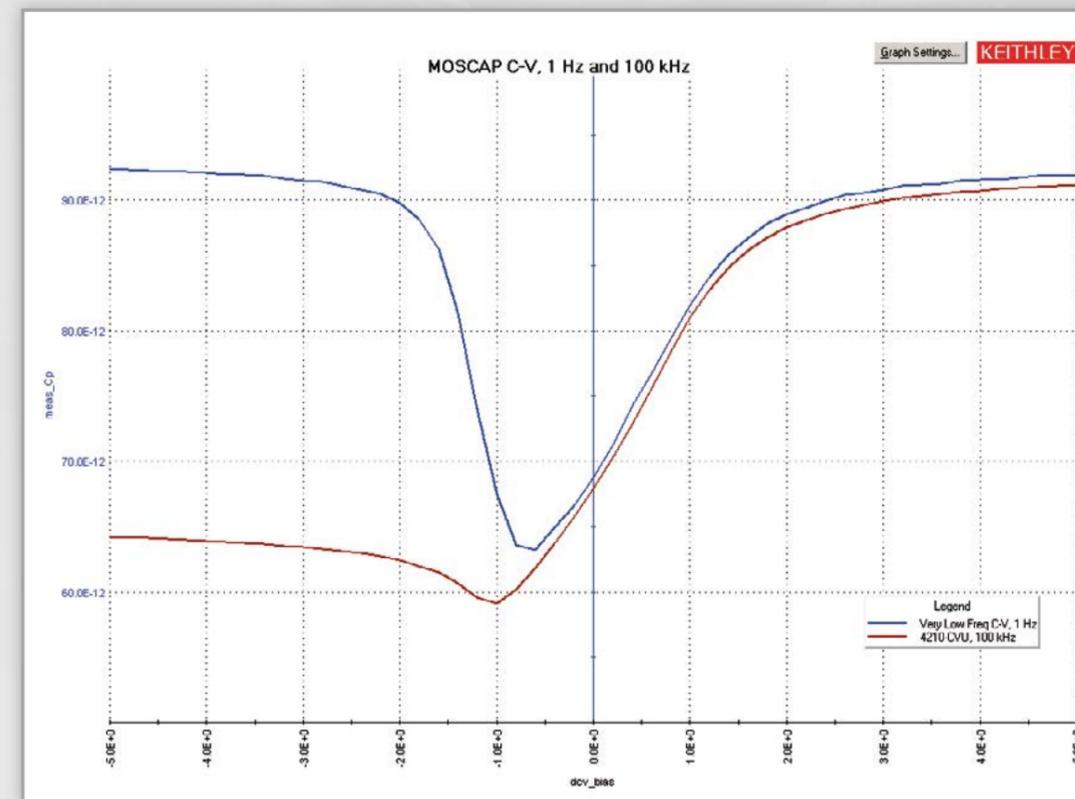
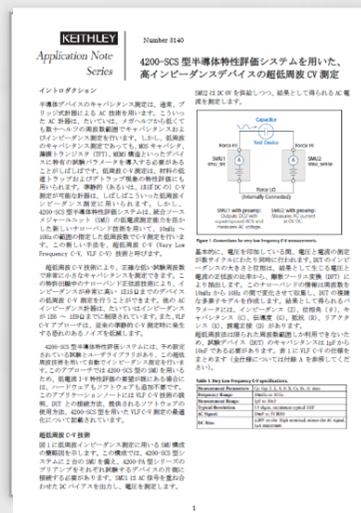
# ハイ・インピーダンスのための新しいC-V測定テクニック

C-V測定機器は通常、MHzから数十Hzの周波数における容量とインピーダンスを測定します。しかし、MOSCap、薄膜トランジスタ、MEMS構造などのデバイスの独自のテスト・パラメータのためには、より低い周波数での容量測定が必要になる場合があります。特定の材料のスロー・トラッピング、デトラッピング現象の特性評価では、低い周波数におけるC-V測定が欠かせません。

ケースレーのVLF (Very Low Frequency、超低周波数) C-Vテクニックを使用すると、正確な低周波数における非常に小さな容量が測定できます。当社特許の狭帯域正弦波手法により、 $1E15\Omega$ という非常に大きなインピーダンス・デバイスの低周波数C-V測定が行えます。通常のインピーダンス計測器では、通常 $1E6\sim 1E9\Omega$ 程度のインピーダンスしか測定できません。さらにVLF C-Vは、従来の準静的C-V測定で生ずるノイズを抑えることもできます。



VLF C-Vテクニックでは、4200-SCS型、2台のSMU、2台のリモート・プリアンプをDUTの両サイドに接続して使用する



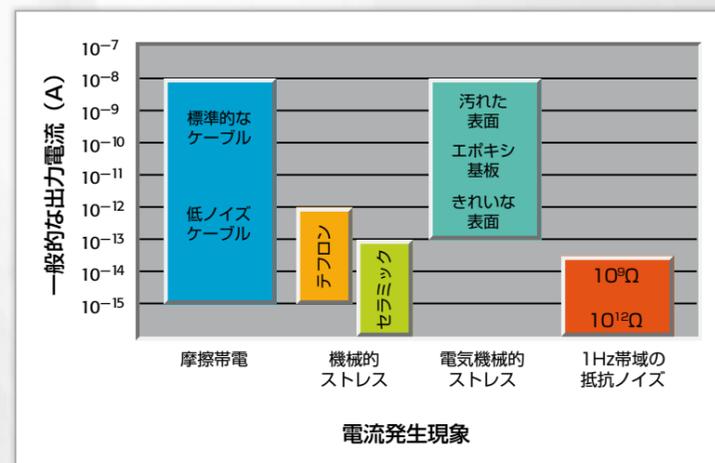
VLF C-V手法は、MOSデバイスのアプリケーション、有機LED、有機FET、有機太陽電池セル、薄膜トランジスタ、マイクロマシン・システム (MEMS) などの有機エレクトロニクスの最新技術に最適

## 詳細情報

アプリケーション・ノートダウンロード：  
ハイ・インピーダンス・デバイスの低周波C-V測定

# サブピコアンペア電流の正確な測定

FETのゲート・リーク電流測定、高感度のナノ電子デバイスのテスト、インシュレータ/キャパシタのリーク電流測定には、ピコアンペア以下の電流測定が必要になります。また、このような低電流を正確に測定するためには、高感度の電流計を備えたテスト・システムを選ぶだけでなく、システムのソフトウェアを正しく設定し、ノイズの少ないフィクスチャやケーブルを使用し、セトリング時間を十分にとり、測定精度を低下させるような不要な電流を抑える必要があります。



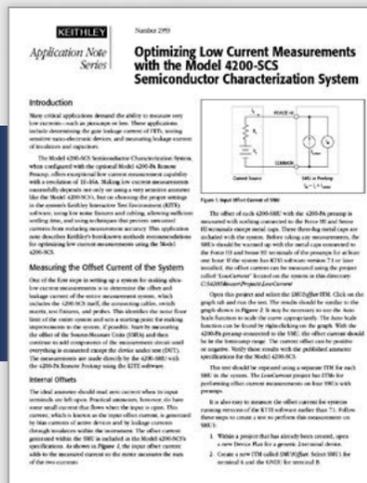
テスト・セットアップの不要な電流は、測定精度を悪化させます。測定エラーの原因には、摩擦帯電、圧電効果、汚染、湿度、グラウンド・ループ、明かり、ソース・インピーダンスがあります。このような測定エラーは、シールド、ガード、機器の適切な接地、4200-SCS型パラメータ・アナライザのソフトウェアの適切な設定などによって低減できます。



4200-SCS型のDCプリアンプは、パラメータ・アナライザの後部またはプローブ・ステーションに取り付けられます。DUTとプリアンプ間の信号パスを低減することで、4200-SCS型は寄生容量やリーク電流などの影響を抑えることができ、より正確な低電流測定が可能になります。

## 詳細情報

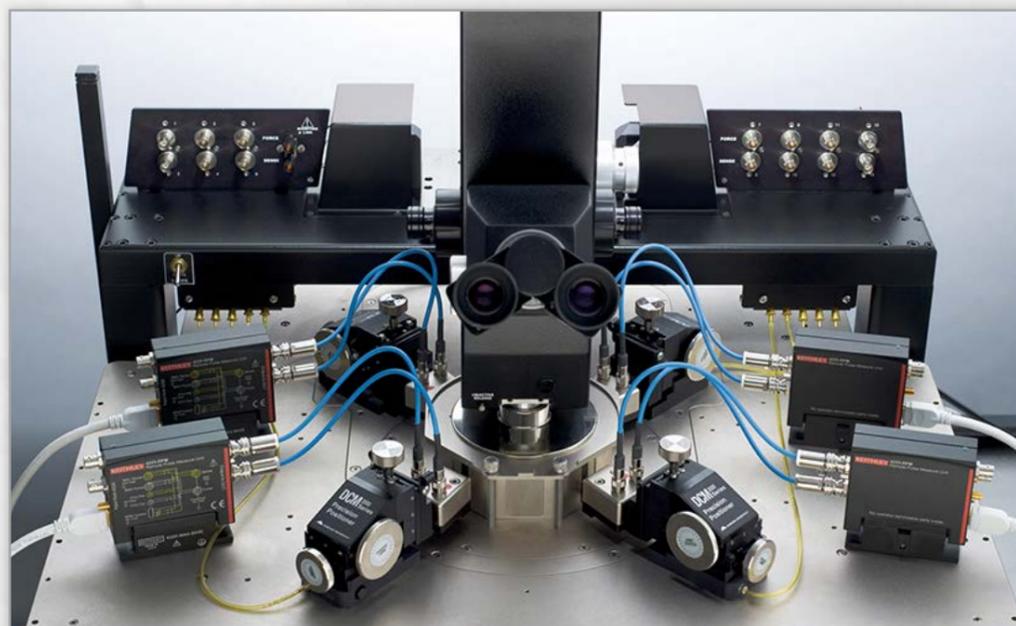
アプリケーション・ノートのダウンロード(英語版)：  
4200-SCS型半導体特性システムによる低電流測定



# I-V、C-V、パルスI-V測定機能を1台に統合

電気特性評価には、正確なDC I-V測定、ACインピーダンス（容量）測定、超速I-V（またはトランジェントI-V）測定の3種類の測定が必要になります。それぞれの測定で必要になるケーブルは基本的に異なるため、3種類の測定機能を1台のテスト・システムに統合することは難しいことです。非常に強力で洗練されたテスト・システムであっても、DUTとの接続品質が良くないと、測定精度で妥協しなければなりません。それぞれの測定でマッチングのとれたケーブルを使用し、正しくグランドをとることにより、測定精度は上がります。しかし、測定ごとにケーブルを交換することは非常に時間のかかる作業であるため、多くのユーザは測定結果に妥協することが多々あります。

この課題に対応するため、ケースレーは4225-RPM型リモート・アンプ・スイッチ、4210-MMPC型高性能マルチ測定ケーブル・システムを開発しました。リモート・アンプ・スイッチとケーブル・キットでテスト・セットアップを統合することにより、3種類の測定の信号精度が維持でき、ケーブルによる測定エラーが低減でき、作業に要する時間も短縮できます。



4225-RPM型リモート・アンプ・スイッチとマルチ測定パフォーマンス・ケーブル・システム

## 1つの特性評価システムによる複数測定の統合の詳細：

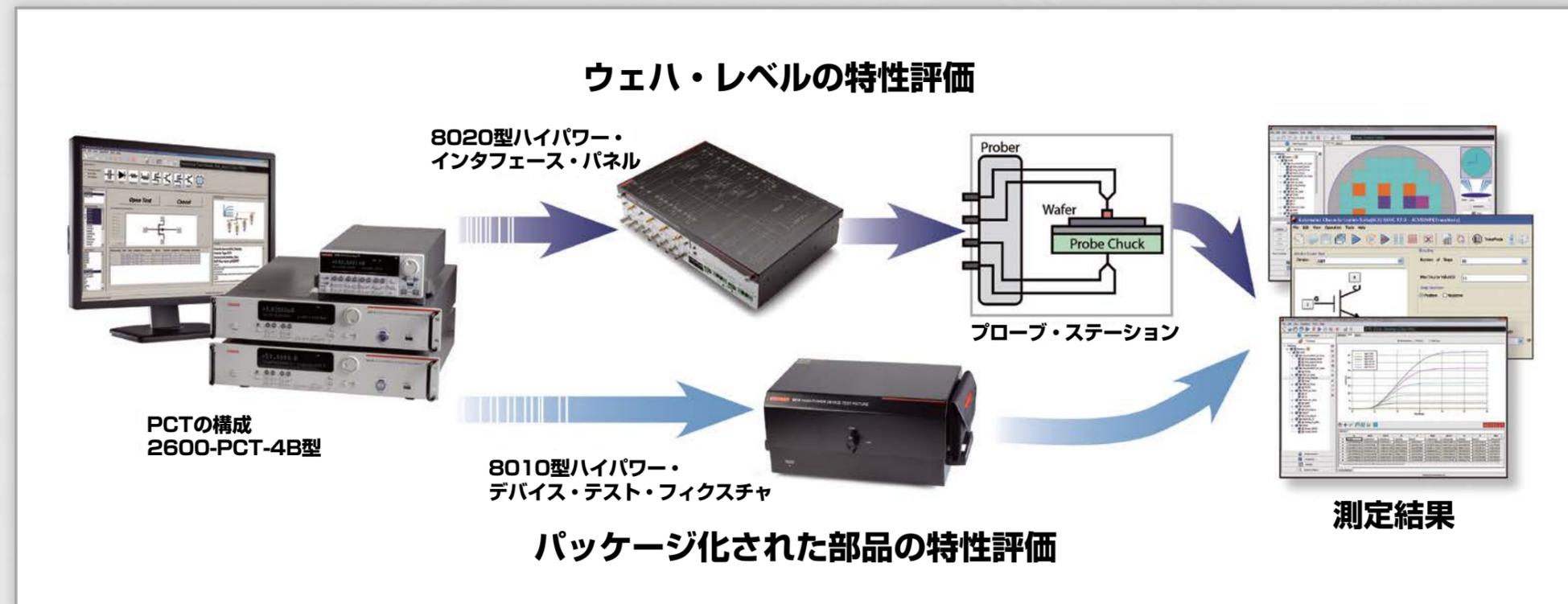
ホワイト・ペーパーのダウンロード(英語版)：

- **さまざまな種類の測定で使用する、柔軟性に優れたケーブル・システムに求められる要求**
- **3種類の半導体測定機能を1台に統合する問題点について**



# パワー・デバイスのI-V、C-V特性評価ソリューション

ケースレーのパラメトリック・カーブトレーサ・シリーズは、最大3kV (I-V、C-V)、100Aの特性評価に対応するコスト・パフォーマンスに優れたソリューションです。8010型テスト・フィクスチャ (パッケージ部品用)、8020型インタフェース・パネル (ウェハ・プローバ用) により、配線の変更を最小限にすることができます。また、特性評価に使用するACS-BASICソフトウェアでは、パワーMOSFETやIGBTなどのサンプル・ライブラリを豊富に備え、設定から測定そして簡単なパラメータの解析までを行えます。



パワー・デバイス特性評価ソリューションの詳細：  
 データシートのダウンロード：  
 パラメトリック・カーブトレーサ





---

A Greater Measure of Confidence



[www.keithley.jp](http://www.keithley.jp)

テクトロニクス／ケースレーインストルメンツお客様コールセンター

TEL : 0120-441-046 電話受付時間／9:00~12:00・13:00~18:00(土・日・祝・弊社休業日を除く)

〒108-6106 東京都港区港南2-15-2 品川インターシティ B棟6階

記載内容は予告なく変更することがありますので、あらかじめご了承ください。

Copyright © Keithley Instruments. All rights reserved. 記載された製品名はすべて各社の商標あるいは登録商標です。

Number 3266 2014年10月