

炭化ケイ素ウエファー
金属コート剤の機械特性

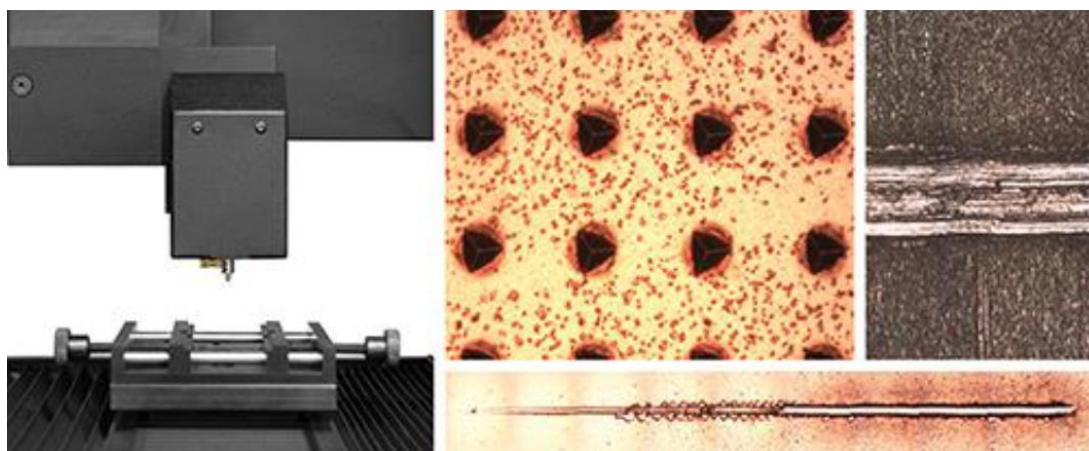


はじめに

単結晶炭化ケイ素 (c-SiC) ウェハは、集積回路 (IC) や太陽電池 (PV) セルなどのマイクロ・エレクトロニクス・デバイスの製造に広く使用されています。ほとんどのウェハは高純度単結晶から形成され、サイズは25.4mmから300mmまで様々です。このウェハは、その内部および表面に形成されるマイクロデバイスの基板として機能します。ドーピングやイオン注入、フォトリソグラフィーによるパターニング、各種材料の堆積、エッチングなどは、ウェハが経る数多くの微細加工プロセスの一例です。

■ウェハコーティングの硬度、付着性／耐スクラッチ性およびトライボロジー特性における機械的試験の重要性

マイクロエレクトロニクスデバイスの製造プロセスは、300を超える異なる工程を含み、6週間から8週間に要する場合があります。このプロセス中、ウェハ基板は製造時の過酷な条件に耐えられなければなりません。なぜなら、いずれかの工程で損傷が発生すれば、時間と資金の損失につながるからです。製造および応用プロセスで課される条件に耐え、損傷が発生しないことを保証するためには、ウェハの硬度、密着性／耐擦傷性、ならびに摩擦係数 (COF) / 摩耗率が特定の要件を満たす必要があります。



測定項目

本アプリケーションでは、ナノピアマイクロインデンターを用いて、炭化ケイ素ウェハ上のコーティングの硬度 (GPa) / ヤング率 (E)、接着/凝集破壊、および摩擦係数 (COF) / 摩耗率を測定します。ウェハは炭化ケイ素基板上に約 $4.5\mu\text{m}$ のコーティングを有しています。これらの被膜の硬度とヤング率を測定することで、基板がこれらの特性に及ぼす影響を検証できます。被膜の接着/凝集抵抗を測定することで、破壊が始まる力を確認できます。最後に、被膜の摩擦係数 (COF) と摩耗率を測定することで、材料損失の速度と摩擦特性を把握できます。

被膜は金合金と対照金属のコーティングのものをサンプルとしています。

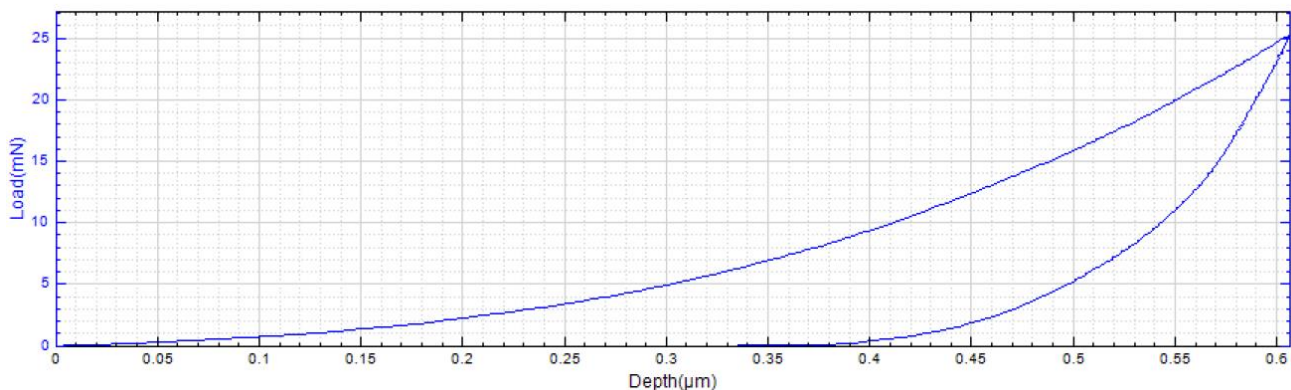
測定1

| インデントー圧痕試験パラメータ | |
|-----------------|-------------------------|
| 試験パラメータ | 値 |
| 最大負荷 | 25mN |
| 負荷上昇率 | 50mN/min |
| 負荷下降率 | 50nN/min |
| 計算方法 | ASTM E-2546 及び オリバーファー法 |
| インデントー形状 | バーコピッチ |

結果と考察.1

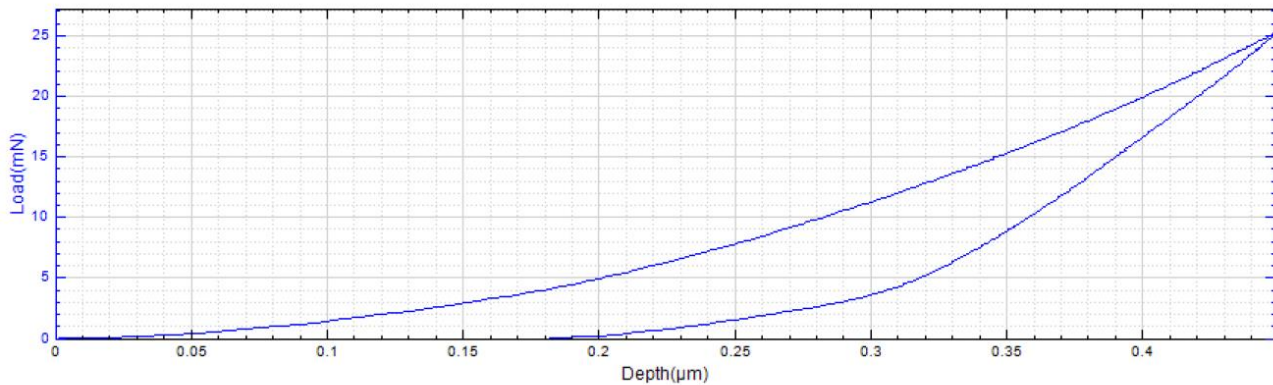
平均ヴィッカーズ硬度、硬度 (GPa) 、およびヤング率を算出するために、サンプルごとに 5 箇所の圧痕を作りました。適切な接触開始点と荷重除去曲線の傾きを確認するために、各圧痕の荷重対深さ曲線を分析しました。以下のデータは、対照コーティングよりも金合金コーティングの方が平均硬度が低く、また対照コーティングよりも金合金コーティングの方がヤング率が高いことを明確に示しています。

| 金合金コーティング | | | | |
|-----------|--------------------|----------------|-----------------|--------------|
| 試験 | ビッカース硬度 | 硬度 | ヤング率 | 最大深度 |
| 1 | 366 Vickers | 3.87GPa | 113.1GPa | 571nm |
| 2 | 318 Vickers | 3.37GPa | 103.4GPa | 609nm |
| 3 | 325 Vickers | 3.44GPa | 106.8GPa | 602nm |
| 4 | 316 Vickers | 3.34GPa | 103.0GPa | 611nm |
| 5 | 321 Vickers | 3.40GPa | 107.6GPa | 604nm |
| 平均値 | 329 Vickers | 3.48GPa | 106.8GPa | 599nm |
| 標準偏差 | 21 Vickers | 0.22GPa | 4.1GPa | 16nm |



対照コーティング

| 試験 | ビッカース硬度 | 硬度 | ヤング率 | 最大深度 |
|------|--------------------|----------------|----------------|--------------|
| 1 | 854 Vickers | 9.04GPa | 87.8GPa | 448nm |
| 2 | 798 Vickers | 8.44GPa | 92.9GPa | 450nm |
| 3 | 821 Vickers | 8.69GPa | 91.4GPa | 448nm |
| 4 | 877 Vickers | 9.28GPa | 94.6GPa | 437nm |
| 5 | 845 Vickers | 8.94GPa | 90.7GPa | 446nm |
| 平均値 | 839 Vickers | 8.88GPa | 91.5GPa | 446nm |
| 標準偏差 | 30 Vickers | 0.32GPa | 2.5GPa | 5nm |



ナノビアマикроインデントー・モジュールは、低荷重レベルにおいて再現性と精密な圧痕ができることを実証しました。そして、厳密に制御・監視された環境下では、硬度測定値を定量的な指標として多様な試料の比較に活用できます。本試験はさらに、ヤング率や最大深度といった他の特性も測定可能であることを示しています。ここでは、炭化ケイ素ウエハー表面の薄膜コーティングを試験するために、特定の荷重を制御する能力を示しました。

測定2

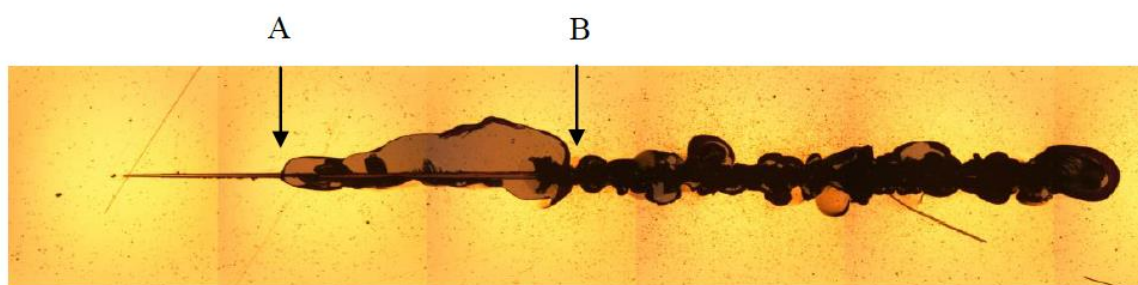
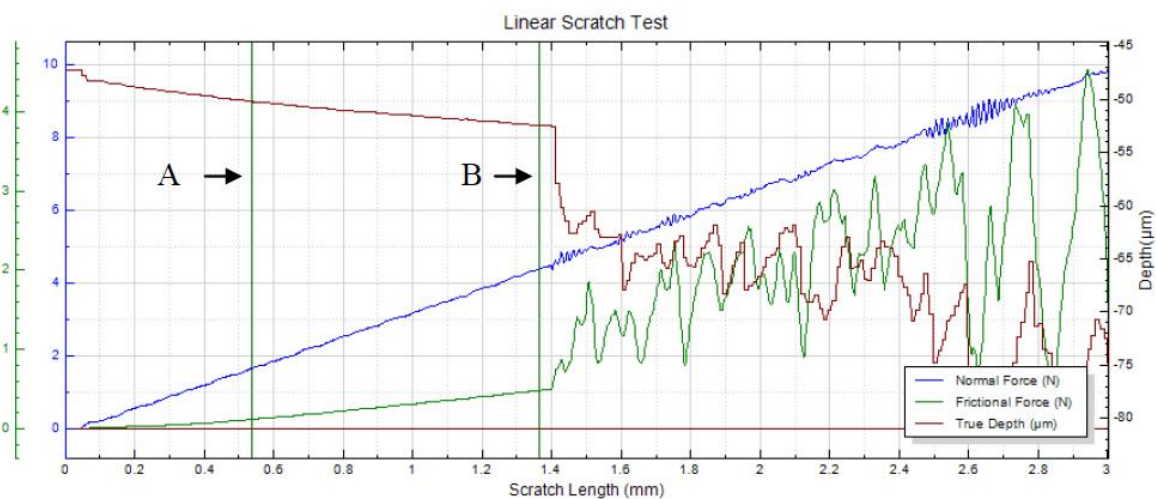
| インデンタースクラッチ試験パラメータ | |
|--------------------|------------|
| インデンター圧痕試験パラメータ | 値 |
| 負荷タイプ | 漸増 |
| 初期負荷及び最終負荷 | 0.1N - 10N |
| 負荷上昇率 | 20N/min |
| スクラッチ長 | 3mm |
| スクラッチ速度 | 6mm/min |
| インデンター形状 | 90° コーン型 |
| インデンター先端材料 | ダイヤモンド |
| インデンター先端直径 | 20 μ m |

結果と考察2

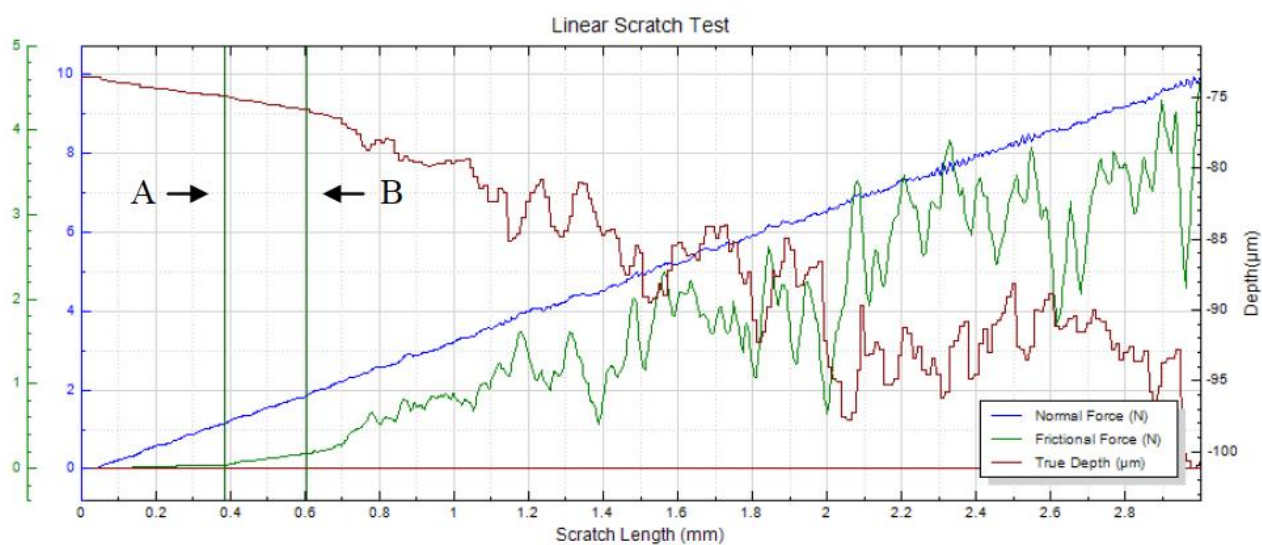
試料に対して3回のスクラッチ試験を実施し、荷重・深さ・摩擦力を示すグラフと、破壊状態を視覚的に示すために一つのスクラッチ試験の全長画像を示しました。コーティングと基材の均一性によりスクラッチ試験の再現性が変動し得る点に留意する必要があります。

コーティングの凝集破壊 (A) および接着破壊 (B) は、これらの現象が発生する荷重として報告されます。データは、金合金コーティングが対照コーティングよりも高い凝集強度および接着強度を有することを示しています。

| 金合金コーティング | | |
|-----------|---------------|---------------|
| スクラッチ試験 | 凝集破壊 | 接着破壊 |
| 1 | 4.258N | 1.860N |
| 2 | 4.399N | 1.666N |
| 3 | 4.455N | 2.214N |
| 平均値 | 4.371N | 1.913N |
| 標準偏差 | 0.102N | 0.278N |



| 対照コーティング | | |
|----------|---------------|---------------|
| スクラッチ試験 | 凝集破壊 | 接着破壊 |
| 1 | 1.860N | 1.150N |
| 2 | 1.851N | 1.171N |
| 3 | 1.793N | 1.154N |
| 平均値 | 1.835N | 1.158N |
| 標準偏差 | 0.036N | 0.011N |



A B



ナノビインデントは広範囲の荷重を適用できるため、ユーザーは材料に再現性のある低荷重から高荷重までのスクラッチを生成できます。この能力はウェハー業界にとって価値があります。なぜなら、ウェハーメーカーはどの荷重でコーティングが破損するかを確認できるからです。

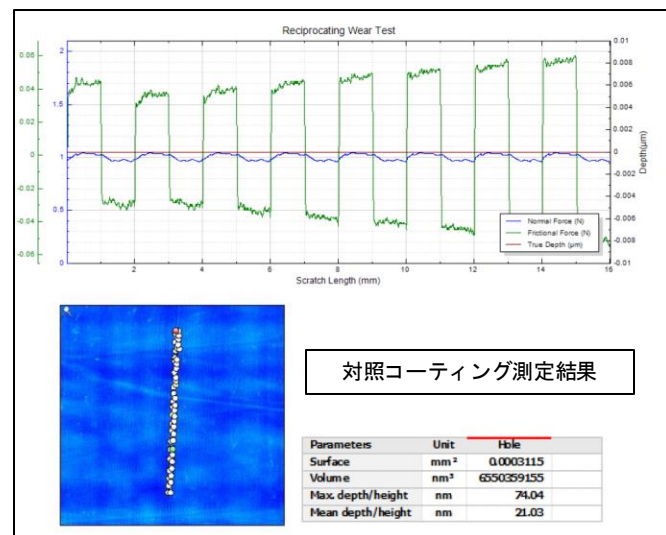
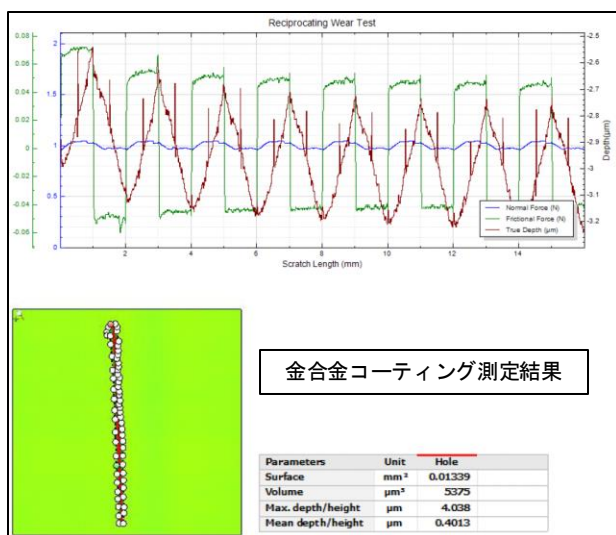
測定3

| インデントー往復直線運動でのスクラッチ試験パラメータ | |
|----------------------------|----------|
| 試験パラメーター | 値 |
| 負荷タイプ | 一定荷重 |
| 負荷 | 1N |
| スクラッチ長 | 1mm |
| スクラッチ速度 | 8mm/min |
| 移動距離 | 16mm |
| インデントー形状 | 90° コーン型 |
| インデントー先端材料 | ダイヤモンド |
| インデントー先端直径 | 20μm |

結果と考察3

両コーティングに対し同一試験条件で直線往復スクラッチ試験を実施し、それぞれの摩擦係数（COF）と摩耗率を比較しました。これはナノピアインデントーを用いて金合金コーティングと対照コーティングのトライボロジー研究および試験結果となります。金合金コーティングの摩耗率は対照コーティングの摩耗率よりも大きい結果となりました。しかし、両コーティングの平均摩擦係数は同じでした。摩耗率は、ナノピアリアル3Dプロファイラで摩耗後の領域を走査し、体積損失を算出することで計算しました。

| サンプル | 最大摩擦係数 | 最小摩擦係数 | 平均摩擦係数 | 摩耗率 $\times 10^{-9}$ |
|-----------|--------|--------|--------|----------------------------|
| 金合金コーティング | 0.0659 | 0.0397 | 0.0470 | 335.938mm ³ /Nm |
| 対照コーティング | 0.0578 | 0.0277 | 0.0422 | 0.411mm ³ /Nm |



おわりに

ナノビアインデンターのマイクロモジュールは、薄膜ウェハーコーティングのトライボロジー研究を行うため、漸増荷重だけでなく定荷重も適用可能です。同一試験パラメータを用いることで、ユーザーは各種材料の性能比較が可能です。本装置の精密な制御により、最小の摩擦係数値や摩耗率も可視化可能です。

ナノビアインデンターのマイクロモジュールは、比類のない荷重範囲（0.003～20Nおよび0.03～200N）により、ナノインデントーションからマイクロスクラッチ・摩耗レベルに至るコーティング試験を完全に実施できることが実証されました。制御された破壊靱性や降伏強度の測定など、その他多くの試験も単一システム上で実施可能です。



〒274-0812 千葉県船橋市三咲7-22-7
TEL:047-449-2961 FAX:047-449-2926