

バルジ測定器 (薄膜ヤング率測定装置)

(HVB40)(HVB20)

薄膜に均一に応力を加え、その歪み量を計測することで薄膜のヤング率を測定する装置です。

< 特徴 >

- その1 **非接触かつ高精度に計測**
- その2 **全自動で測定し、繰り返し測定も簡単**
- その3 **薄膜固定部の取り替えで様々な薄膜に対応**

< 計測原理 >

被測定物である薄膜に均一な負圧を加え、その負圧に対する薄膜の歪み量をヘテロダイン変位計で時々刻々(時間の関数として)計測することで、負圧値(時間の関数)と歪み量(時間の関数)の計測結果を最大100万点(点数は調整可能)求めます。その負圧と歪み量の関係式よりヤング率を計算する方式が本装置の計測原理です。負圧は真空系を用いて実現しています。本装置は均一な応力を加えることで、薄膜に局所的な歪みを残さなくしています。また非接触計測とすることで、薄膜に傷をつけることはありません。

薄膜に負圧を加える領域を円形とし、薄膜の最大のたわみを示す部位(薄膜の中)での歪み量(たわみ量)とその負圧との関係式として次式が知られています。

$$\Delta p = \frac{Ath}{r^2} + \frac{BtEh^3}{r^4}$$

ここで、 p ; 大気圧との差の圧力(時間の関数)、 h ; たわみ量(時間の関数)、 E ; ヤング率、 r ; 負圧のかかる円形領域の半径、 t ; 薄膜厚、 A 、 B ; 定数です。この計算式に基づきヤング率 E を算出します。時間間隔が一定の測定点数を多くとりすることで、より精度高くヤング率を求めます。

また、薄膜に負圧を加える領域が四角の場合、式が修正されて、次式が提案されています。

$$\Delta p = C1 \frac{Ath}{r^2} + C2 \frac{BtEh^3}{r^4}$$

$C1$ 、 $C2$ 値は様々に示されています。

円形でも四角でも、圧力とたわみ量の関係よりヤング率を求めています。

そこで、本装置は、時間的変化としての圧力とたわみ量を複数点計測する作業を短時間に自動的に行うことで、精度高くヤング率を求めます。

第1図は被測定薄膜周辺の概略図(垂直方向の断面図)です。真空ポンプ(脈動防止のため、緩衝タンクを介して)で負圧を試料台上に固定された被測定薄膜に加え、その圧力変動による被測定薄膜が歪む様子をヘテロダイン変位計にて測定します。試料台はステージ上に固定され、そのステージを用いて測定点(測定ビームの当たる点)を移動させます。上式では歪みが最大となる測定点が必要ですので、その点を調べるためです。負圧は真空計によりモニターされます。試料台(負圧領域の大きさなどを含む)は被測定試料の大きさなどにより調整されると共に、自由に測定対象に合わせて設計出来ます。

(変位量の目安; 負圧の力は(予想される以上に)大きく、外気圧と1hPa異なるだけで、1cm²当たり、約1gの力が加わります。見掛けは、小さく感じます。仮に試料が直径1cm有していれば、分布荷重を中心への集中荷重で近似して、縦歪量は

$$\text{縦歪量} = \text{垂直応力} / \text{ヤング率}, \quad \text{縦歪量} = \text{中心での変位量} / \text{試料の半径}$$

と近似表現されるので、ヤング率10GPaの材料とすると、

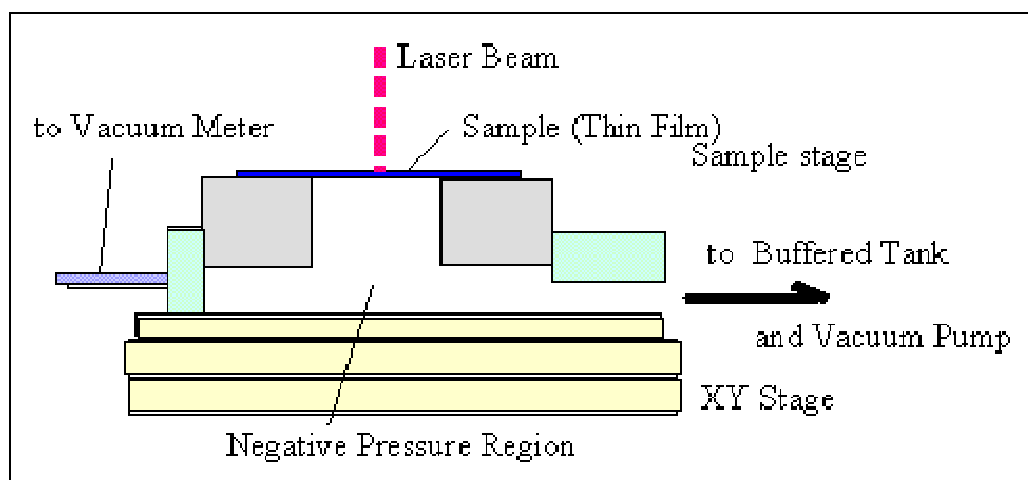
中心での変位量 = 試料の半径 * 1hPa / 10GPa = 0.05nm

となります。たった、1hPaの差圧でも、直径1cm材料(ヤング率10GPa)は、約0.05nm歪みます。)

(圧力制御; 標準大気圧が1013hPaであることから、1hPaの制御(いわゆる1012hPaを生み出す)は困難です。真空ポンプは、それこそ真空を目的にしていますので、ほとんど大気圧である環境を作り出すことは困難です。通常の真空計の計測精度は、大気圧近傍で0.1から1hPaです。真空ポンプの制御が重要な要素になります。緩衝タンクを導入してこれらの問題点を解決しています。)

真空計の圧力、ヘテロダイン変位計の変位量を時間の関数として連続して求め、計測原理の式(上式)にフィッティングして、ヤング率を求めます。

上式は変位量の2次式は含まれません。これに対して、弊社は実験を行い、2次項は無視できる結論を得ました。同一のデータを用いて、2次項を含む計算と含まない計算両者を行い、2次項を含んだ計算において、3次項係数は2次項係数に比し1000倍程度の値を有する結果を得た、両者の計算結果によるヤング率の差は2%程度の差であり、多数のデータを解析した場合の誤差、約3%、の範囲内に入った。これにより、2次項は無視できると判断できます。



第1図
被測定薄膜周辺概略図

<< 構成 >>

次に全体の構成を示します。光ヘテロダイン変位計のプロープが顕微鏡(必ずしも必要ではありません)の鏡筒上部に置かれ、対物レンズにより試料表面に測定レーザ光を集光させます。試料はXYステージ等置かれ、真空ポンプ系により負圧がかけられます。この負圧により試料歪みます。その歪み量をプロープから出射された測定レーザ光により測定します。負圧を変動させて、負圧に対する変位量の変動を、負圧(真空計で測定)の関数として求めます。この一連の測定による数多くのデータ点を上式に従い解析することでヤング率を求めます。

この測定を精度高く求めるための付随装置として、XYステージ、CCD、緩衝タンク等があります。XYステージは試料を支える試料台を移動させて、試料の中心を精度高く求めます(最大たわみ量を示す位置でないと誤差が発生します)。CCDは試料の表面状態等を観測します。真空ポンプ系における緩衝タンクは圧力の変動の脈動防止し、真空計の測定を安定させます。パソコンでの処理として、圧力対歪み量の曲線の表示を行い、ヤング率の測定値を算出します。

第2図では顕微鏡搭載型を使用していますが、ヘテロダイン変位計プロープと集光系で十分に測定できます。プロープやPCと接続されている白い箱は光ヘテロダイン変位計です。HV400とHV250から選択できます。

(測定時の注意事項)

負圧を試料に加えますが、負圧により、試料と試料台との間のわずかな隙間から、空気が漏れます。この漏れを防止する手段として、試料台表面は、研磨を行っています。試料台表面に傷をつけないようにして下さい

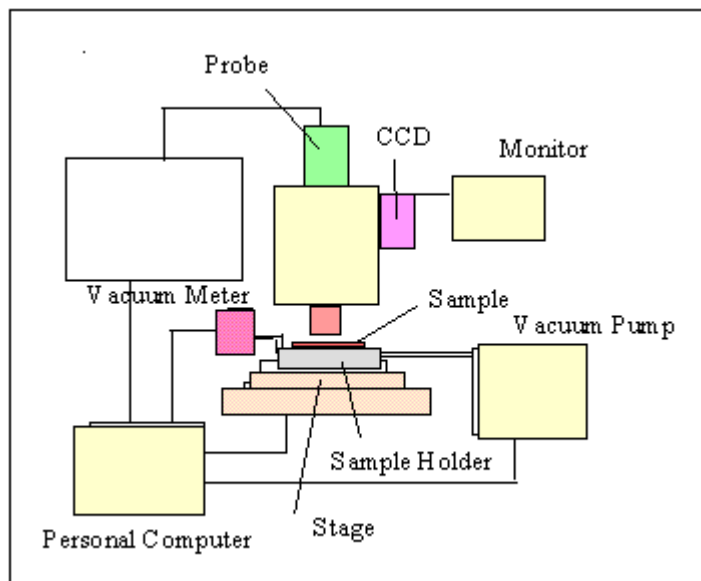
上記の隙間は試料の大きさや、歪みなどに依存します。試料台に接触する側の試料の研磨をお願いします。

負圧をかけすぎると、試料が破壊されて、負圧領域、緩衝タンク、真空ポンプに影響を与えます。必要以上の負圧を与えないでください。

真空ポンプの振動が測定結果に影響を与えます。測定時には、真空ポンプをOFFにして、緩衝タンクの負圧で制

御してください。

測定に影響を及ぼす要因として、試料付近の空気の流れ、温度変動、振動などがあります。これらの要因を打ち消す対策をお願いします。



第2図 バルジ測定器構成概略図

<< 仕様 >>

基本仕様(特注仕様も承ります)

変位量分解能	1 nm(HV400使用時)、10nm(HV250使用時)
圧力測定分解能	0.1 Torr
最大付加圧力	- 300 Torr
最大試料径	15 cm
測定領域試料最大径	50 mm
測定モード	全自動モードまたはマニュアルモード

上記仕様は基本仕様であり、真空系・ステージ系などの変更により自動制御性、応力範囲など仕様はユーザの要求に合わせて大きく変えることができます。

また、試料への応力の加え方は真空系のように負圧であっても、引張り力、押しつける力でも構成できます高分子の非常に柔らかい試料においても、数g程度の荷重を加える手段がありますのでご相談下さい。

<< PC上での解析 >>

PCでヘテロダイン変位計、ポンプ操作、弁操作を行い、データを取得します。取得したデータによりカーブフィット作業を行い、ヤング率および内部応力を求めます。このデータ収集や解析方法は、時々、入れ替えています

<< 用途 >>

ヤング率、粘性、剛性率等の材料特性評価
基盤材、有機材等の新材料開発

<< 応用・展開 >>

本装置はヘテロダイン変位計のヤング率測定装置への応用例として開発しましたが、特定の物理定数を得るための特定の計測装置、特に非接触計測装置、に展開できます。ヘテロダイン変位計の持つ特性をフルに活かした装置も設計できます。ご相談下さい。