

微小引張試験器の試作

高橋 伊三郎

小笠原 洋光*

1. ま え が き

金属単結晶の理論的臨界剪断応力は普通の金属の測定値に比べて数千倍も大きく、その違いについては結晶内に含まれている転位の存在が大きく影響していると考えられている。近年“ひげ結晶 (ホイスカー)”の力学的研究の多くが殆ど自作の引張試験器¹⁾²⁾を用いておこなわれるようになり、その結果やわかりやすい試験器によっても、いわゆる単結晶に比べて数倍から数十倍の強度を示すことが測定され、ホイスカーが転位を非常に少なく含むかあるいは殆ど含まない単結晶であることから、結晶の力学的強度が転位の存在に強く依存するとする考えが正しいものであることを示している。

しかしながら、ホイスカーの力学的強度の研究は、結晶が非常に小さいために、微小な力ならびに微小な変位の測定が必要なこと、やわらかい試験器よりは堅い試験器を使用して測定することが望ましいことなどの理由により、種々の困難を伴っている。

筆者等は、数年前からホイスカーの研究を行ってきたが、ホイスカー用の堅い引張試験器を試作し、よい結果をえたので、その微小引張試験器について報告する。

2. 微小引張試験器の構成

筆者等の作製した微小引張試験器の電気回路部分を除いた構成は

- (1) 応力測定用円環
- (2) 試料引張装置兼歪量測定装置
- (3) 引張速度可変装置

の3部分からなり立っている。

また電気回路までもを含む装置全体の構成は図1に示すように組立てられている。

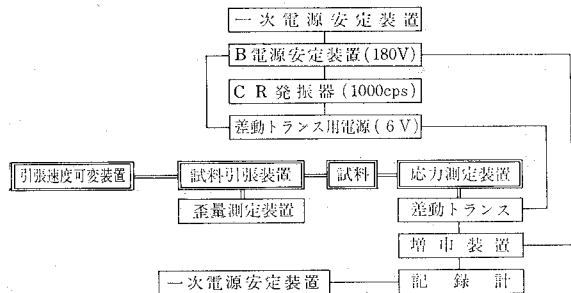


図1 微小引張試験器構成図

3. 機 械 部 分

(1) 応力測定用円環

応力測定用円環は、半径 3.2cm の円形をなしており、その一部を台に固定し、一部に差動トランスのコアを固定して円環の直径方向の変位を測定し、この変位によって応力を測定するようにした。

円環の材料は幅 19mm、厚さ 0.4mm の鋼帯で、強度の関係から2枚重ね合わせた。円環の荷重に対する変位量の関係は図2に示すような特性をもっている。100g の荷重に対する変位量が約 0.09mm であることは、この円環を使用した試験器が十分に堅いものであることを示す。

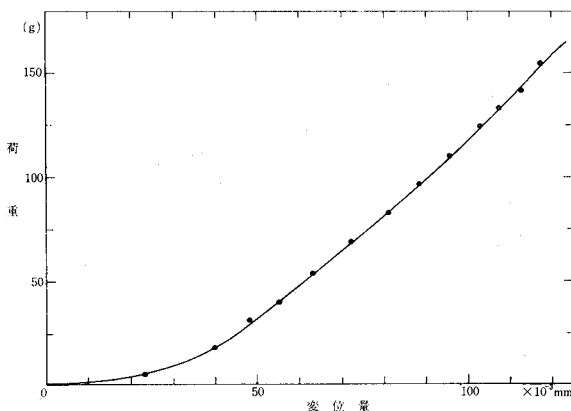


図2 円環の荷重対変位量

差動トランスのコアを固定している1部に試料を接着するようにしたが、接着部分を平板にしたので試料の接着を非常に容易にすることができた。

(2) 試料引張装置兼歪量測定装置

試料引張装置は、スクリーマイクロメーターを引張速度可変装置によって回転し、マイクロメーターに鋼球で接触している引張装置のつる巻ばね (250g/mm) の収縮によって試料に引張応力を与えるように構成した。この引張装置の先端に針金に接着した試料を固定し、試料の他端を応力測定用円環に接着して引張応力を測定するようにした。

試料の歪量はスクリーマイクロメーターの目盛を読むことによって測定するのであるが、応力の測定値を自記記録計に記録するようにしているので、記録紙の長さから 0.001mm の精度で測定することができる。

なお歪量は、差動トランスを利用して測定することも可能であるが現在は実施していない。

(3) 引張速度可変装置

引張速度の変更は、試料引張装置のマイクロメーターの回転速度を変化させておこなう。回転速度の変化は歯車の組換えによ

* 岩手大学工学部

- 1) S. S. Brenner, *J. Apply. Phys.*, **27**, 1484 (1956), **28**, 1023 (1957).
- 2) K. Yoshida, *Japan. J. Apply. Phys.*, **4**, 587 (1965), **6**, 840 (1967).

ておこなう。

試料引張装置と引張速度可変装置との連結は歯車によっておこなわれているが、引張速度は殆ど一定である。われわれの目的からすれば最大変位量は 0.4mm (歪率約 20%) で充分であるので、引張速度は 2.5×10^{-4} mm/sec で使用している。

4. 電気関係回路

一次電源は一応安定はしているものの、記録計ならびに増幅器用の電源はすべて定電圧電源装置を使用して安定化をはかった。

次に各回路図ならびにその特性を示す。

(1) B 電源用安定装置

B 電源用安定装置の回路図を図 3 に示す。

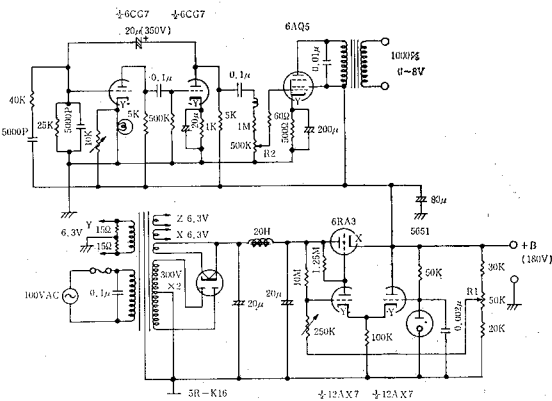


図 3 B 電源安定装置、CR 発振回路
差動トランス用電源発生回路

300V の二次電源より 180V の定電圧が得られるようにした。R1 を変えることにより 210V から 160V までは、一次電源の入力電圧が 100V のとき、±10V の電圧変動があったときには殆ど変化しないが、出力電圧が 180V のとき一番安定しており、一次電源の ±15V の変化に対して ±5mV 以内の変動を示す。リップル電圧は 5mV 以下である。又定電圧装置を用いた B 電源を利用することにより、増幅器のハムならびにノイズは殆ど完全に防ぐことが可能である。

(2) CR 発振器、差動トランス用電源ならびに差動トランス
差動トランスの定格は、励磁周波数が 1000cps、許容入力電圧、0~10V、負荷抵抗 50kΩ のとき出力電圧 0.49V/mm (入力電圧 5V) のものであるので、ウインブリッジ回路を用いた CR 発振器を作り、それを電力増幅して差動トランス用電源を作った。

回路を図 3 に示す。発振用コンデンサーとして 5000pF のステロールコンデンサーを使った。R2 を変えることにより出力電圧を 0V から 8V まで出力波形の歪なしでとり出すことができる。差動トランスの入力電圧は普通 5V を使用しているようであるが、筆者等のばあいには差動トランスに消去電圧を加えて出力が減少しているため 6V の出力電圧を出すようにしている。出力の安定度は ±2mV/hr 位で、比較的安定度の高い正しい正弦波のものが出た。

差動トランスは宮本測器の S-8 型を用いた。この差動トランスの出力は入力電圧 5V に対して 0.49V/mm であるが、残留電圧

が 10mV ある。差動トランスは変位量を出力電圧の大きさの変化に変えるものであるが、出力電圧が比較的大きくしかも直線性のよい出力がえられるので、大きさに関係のないような測定には便利なものである。

差動トランスには残留電圧の問題がある。残留電圧の消去には種々の方法³⁾があるが、われわれの差動トランスの残留電圧約 10mV は、図 4 の回路を用いることにより約 0.1~0.2mV 位まで減少できた。この回路は簡単な回路であるが新しい残留電圧消去回路である。出力電圧を減少させる欠点はあるが、残留電

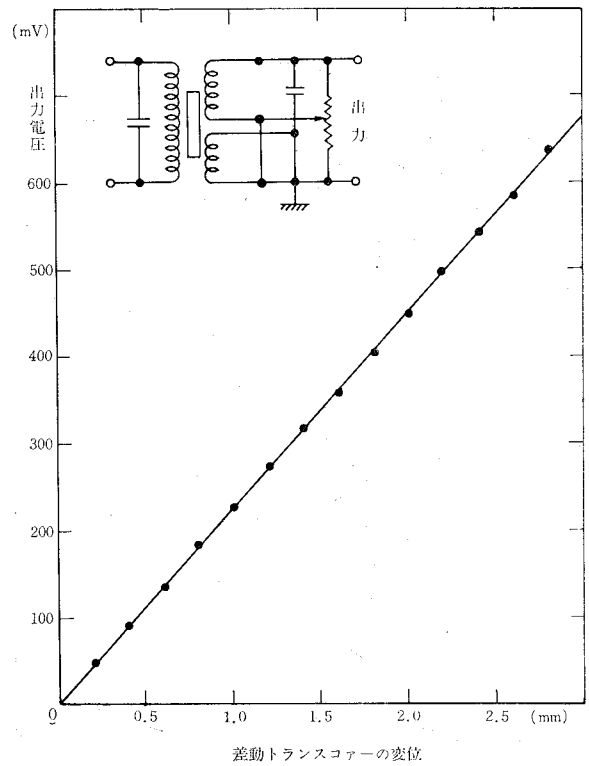


図 4 残留電圧回路ならびに出力電圧

圧を相当小さくすることができること、定安度が高いこと、回路が簡単であることなどを考えると、他の残留電圧消去回路に比べてもすぐれた回路であると思う。

差動トランスの出力端子の間に 0.1μF のリークコンデンサーを入れているが、差動トランスの出力が小さいばあい (10mV 以下) に入力波形とちがった雑音を含む波形を出すようになるのを防ぐためのものである。このリークコンデンサーは、結果的に出力電圧を減少させる原因となっている。

図 4 に入力電圧が 6V のときの残留電圧消去回路を通った出力電圧とコアの変位の関係を示すが、出力電圧が直線性的のものであることがわかる。どの位のリークコンデンサーを用いるかは、実際に使用する差動トランスと増幅回路の組み合わせによって適当に選ぶことが必要で、決まった値はないができるだけ小さいことが望ましい。

(3) 差動トランス増幅回路

3) 西口 讓：計測，制御誘導トランスとその応用，p. 16 (オーム社)。

差動トランスの出力増幅回路を図5に示す。

この増幅回路は差動トランスの変位が大きければあいにも使用できるように設計した。

減衰器をつけたのも、増幅管に6AQ5のようにバイアス電圧の大きいものを使用しているのもそのためである。

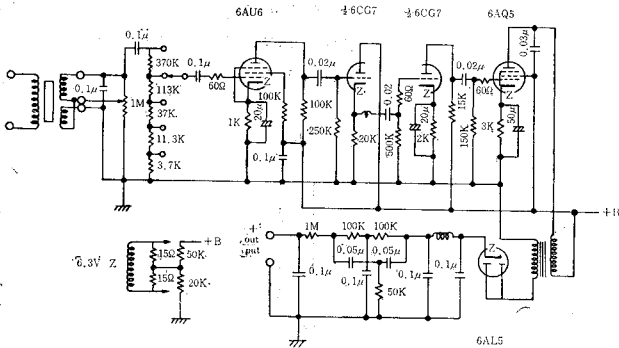


図5 差動トランス出力増幅回路

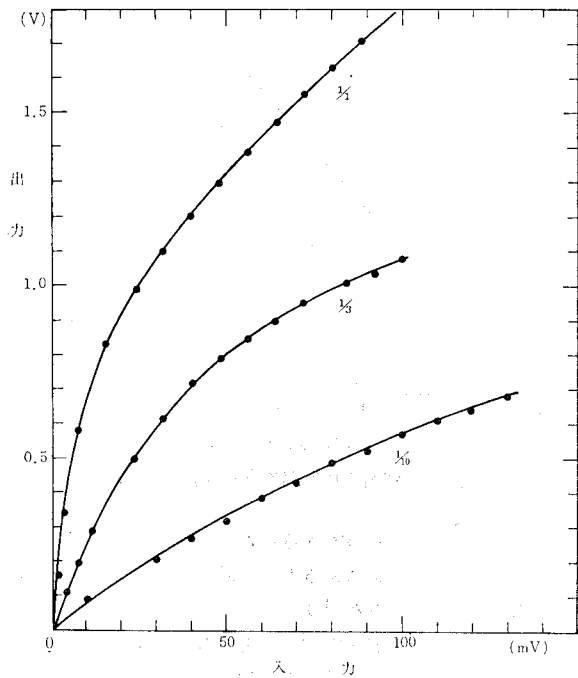


図6 入力-出力曲線

増幅度は6AQ5のところでは約5000位になっているが、整流後の出力は図6に示すように直線性をもった増幅器とはなっていない。しかし入力電圧が小さいときに大きい増幅度をもっており、又ノイズ及びハムを殆ど含まずに増幅しているので、正確に円環にかかっている応力を測定することができる。結果的には、温度変化による影響が全くないとしたときには0.1μ位までの変位を測定することが可能である。

交流増幅した出力電圧を整流する回路に選択増幅回路をつけている。この選択増幅回路の中心周波数は25cpsで、この回路をつけたために記録計の安定性は大きく増大した。なお、図6の出力

電圧と記録計の出力電圧には相違があるが、これは使用した電圧計と記録計の入力インピーダンスのちがいでによるものである。

なお増幅器を組立てるばあい、抵抗による熱ノイズが発生することがあるので、少し大き目の抵抗を使用することが大切である。

5. 微小引張試験器の性能

われわれの試験器は、増幅器のレンジの切換え、記録計のレンジの切換えによって広範囲の測定範囲をもつのが大きい特徴である。記録計のレンジの切換えだけによって、0~2.3g, 0~16g, 0~95g, 0~250g位までの間で、荷重すなわち応力の測定範囲を自由に選ぶことができる。このうちホイスキーの測定には0~16gのところを使用する。

写真1はナイロンテグスの引張記録であり、切漸前に複雑な応力変化をした例のものである。これはナイロンが引張応力によって構造的に変化することにもよると思う。又このように複雑な記録ができることは、この試験器が十分に堅い試験器であり、応力変化に対して素早い記録ができる試験器であることを示している。

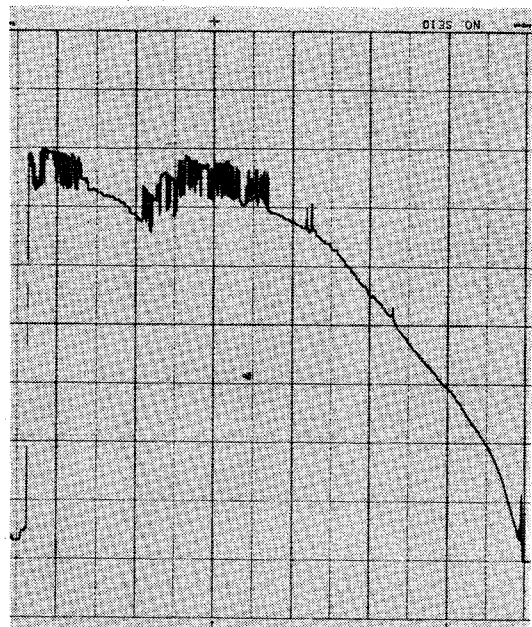


写真1 ナイロンテグスの引張試験例

写真2は直径14.3μの石英ガラス糸の記録で、 $5.5 \times 10^8 \text{g/cm}^2$ のヤング率をもっていることがわかる。この値はReinkober⁴⁾の石英ガラス糸の測定値を満足するものであり、試験器の測定値が正しいものであることを示す。写真3は直径20.8μの白金線の例で、ヤング率は $15.3 \times 10^8 \text{g/cm}^2$ で、 $3.5 \times 10^3 \text{g/cm}^2$ 位の力で降伏点のところの変形が起きていることがわかる。

図7は0~16gの測定範囲のばあいの出力電圧対荷重の関係を示すグラフであり、このグラフを用いて引張応力を求めることが

4) Von O. Reinkober, *Physik, Zit.*, **33**, 32 (1932).

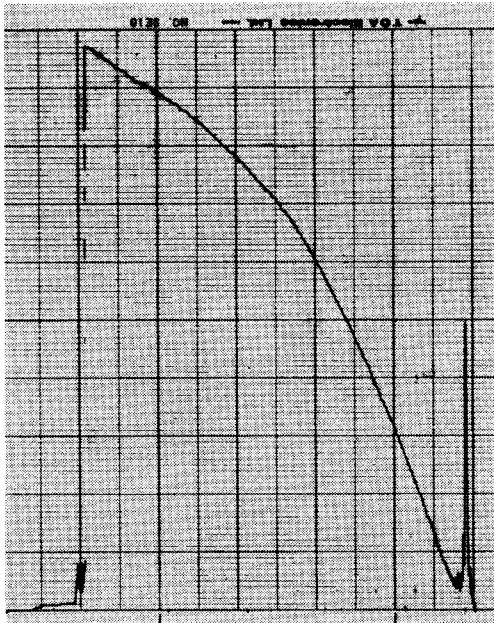


写真 2 石英ガラス系引張試験例

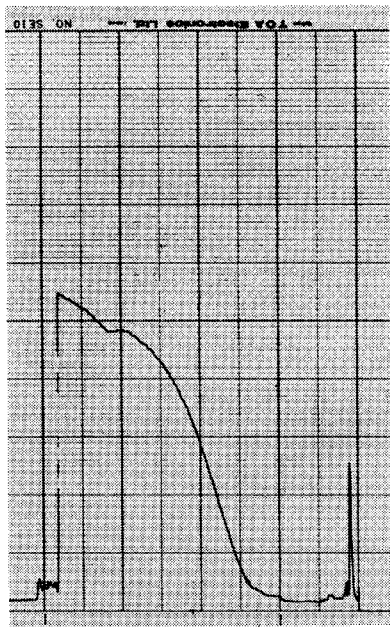


写真 3 白金線引張試験例

できる。このグラフから小さい荷重に対する出力電圧が大きいことがわかる。

この引張試験器は荷重を測定するために差動トランスを使用したこと、又ホイスターを測定する目的で作ったものであるため、試料は水平に接着するように設計した。このため、荷重と出力電

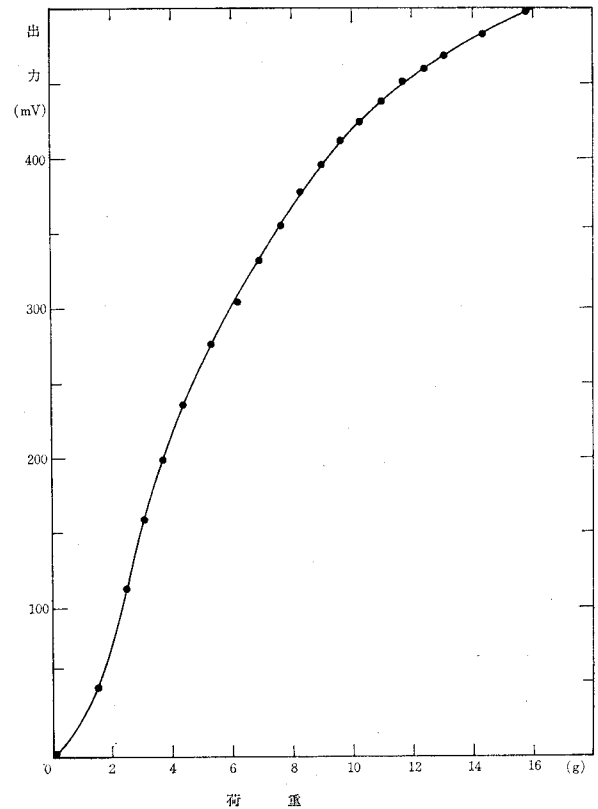


図 7 出力電圧—荷重曲線

圧の関係を求めるために鋼製のつる巻ばねを使用したが、この測定のばあい、測定用つる巻ばねに全く負荷をかけないで接着することが必要である。

すなわち鋼製のつるまきばねは、一般に微小な荷重のばあいにはフックの法則を満足せず、荷重とばねの伸びは直線関係とはならず、この点を過ぎるとフックの法則を満足するようになる。このため、測定用つるまきばねを接着するときには、ばねに全然変形を与えないようにして接着しないと、この変形が微小な荷重を与えたときの荷重と出力電圧との関係に大きい影響を与え、測定値が半分位になることもあるので、小さい荷重に相当する出力電圧の関係を求めるときには注意することが必要である。

この微小引張試験器の製作には多くの人々の協力をいただいた。特に差動トランスの電源ならびに増幅回路の製作に協力していただいた福島県坂本中学校片平昭夫教諭、器械部分の製作ならびに測定に協力していただいた岩手大学教育学部学生小林清隆君、石英ガラス系の製作に御指導をいただいた岩手大学教養部橋元鷹二教授に感謝の意を表す。