

JAERI-M

6723

熱流束計の開発とダイバータ熱流束の測定

1976年10月

上田 憲照<sup>\*</sup>・関 昌弘・安納 勝人  
河村 洋・前田 彦祐

この報告書は、日本原子力研究所がJAERI-Mレポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

熱流束計の開発とダイバータ熱流束の測定

日本原子力研究所東海研究所核融合研究部

上田憲照\*・関 昌弘<sup>+</sup>・安納勝人・

河村 洋<sup>+</sup>・前田彦祐

( 1976年9月7日 受理 )

D I V A のダイバータへ流入する熱量の値を評価する目的で、これまで時定数 5 ms の熱電対を用いて実験を行ってきたが、今回放電持続時間中の熱流の時間変化を求める目的で時定数 200  $\mu$ s 以下の蒸着膜感温素子を製作し測定を行なった。

本報では、蒸着膜感温素子の製作法、熱電対、蒸着膜素子による熱流束測定法および D I V A での測定結果について述べる。

---

\* ) 外来研究員，三菱原子力核融合開発課

+ ) 日本原子力研究所東海研究所原子炉工学部

Development of a Heat Flux Meter and Measurement of  
the Heat Flux to the Divertor in DIVA

Noriaki UEDA\*, Masahiro SEKI<sup>+</sup>, Katsuto ANNO,

Hiroshi KAWAMURA and Hikosuke MAEDA

Thermonuclear Fusion Laboratory, Tokai, JAERI

(Received September 7, 1976)

In evaluating the quantity of heat flowing to the divertor, the heat flux has so far been measured with a thermocouple probe of resolving time 5 ms.

To examine time variation of the heat flux to the divertor, a Ni-evaporated thin film sensor of resolving time below 200  $\mu$ s has been developed this time.

Construction of the sensor and the results of measurements in DIVA with the conventional thermocouple and the new sensor are described.

---

\* On leave from Mitsubishi Atomic Power Industry, Saitama, Japan

+ Division of Reactor Engineering, Tokai, JAERI

目 次 な し

## 1 はじめに

ダイバータ付きトカマク装置の基本的実験の一つは、主プラズマで発生する粒子や熱がどのような機構で、どの程度バイバータへ流入するかを解明することである。

D I V Aはダイバータを有し、ダイバータフープコイルにプラズマ電流に比例した電流を流すことにより、セパトリックス付きの磁気平衡配位をつくり、主プラズマで発生する粒子や熱をバイバータへ導くことができる<sup>(1)</sup>。そこで我々はダイバータへ流入する熱流の問題に興味をもち、ダイバータ領域での熱測定を行なってきた。

熱流束の測定法としては、実験的容易さから通常熱電対を使用して行なう。しかし、熱電対はセンサー部の肉厚が $100\mu\text{m}$ 以上あり、そのため時定数が $\text{ms}$ 以上かかり、時間分解能の良い測定は困難である。一方、粒子束、その他の物理量と熱流束との相関などを調べる際には時間分解能 $200\mu\text{s}$ 程度の測定が必要であり、熱電対以外の測定手段を必要とした。そこで、今回蒸着膜を利用した感温素子を開発した。蒸着膜を利用した感温素子（以下、蒸着膜素子）とは、金属基板の上に適当な金属の薄膜を蒸着して抵抗体としたものである。この抵抗体の温度上昇による抵抗変化から逆に温度を測定することができる。この蒸着膜方式の特徴は抵抗部が薄膜（肉厚 $0.1\mu\text{m}$ 以下）のため熱容量が非常に小さく、従って時定数が良いことである。また、素子の温度上昇は金属基板により決まるので、素子の熱容量が正確である。

本報では蒸着膜素子の製作、蒸着膜素子および熱電対によるD I V Aの熱測定について述べる。尚、熱電対を用いたD I V Aの熱測定は文献<sup>(2)</sup>に詳細が書かれている。

## 2 蒸着膜プローブの開発

### 2.1 設計方針

プラズマ中での測定であるので、素子のプラズマによる損傷を第一に考慮する必要がある。D I V Aのダイバータ付近では、センサーは最高100 keV程度的高速粒子を受けるから、蒸着膜を直接プラズマに当てることは適当でない。そこで金属基板でプラズマを受け、その裏面に蒸着膜をつける構造とした。従ってこの素子の時定数は金属基板の厚さで決定される。

前述したとおり、蒸着膜素子の主目的は熱流束 $q$ の放電時間中の時間変化を測定することであるから、素子の時定数が問題となる。この点については、ダイバータ付近での磁場や電場などの振動周期が1 ms程度以下であること、変調電源を使用した場合の磁場などの時間変化には200  $\mu$ s程度かかることから、時定数としては0.1~0.2 msが必要であると考えた。

表1に基板の候補として考えられる金属の各種物性値、熱拡散時間を示す。基板は薄いほど応答性は良くなるが実際には0.1 mm程度以上の厚さでないと製作が困難である。また、高エネルギー粒子を熱に変換するにはこの程度の厚さが必要である。

表1から金属基板としてMo, Al, Cuが適当と考えられるが、Moは他の金属にくらべ、線膨張率、融点、スパッター比の点から有利であり、また蒸着膜も安定につくという定説もあるのでMoを採用した。

次に素子を最終的にプラズマ中に挿入するプローブの形にセットした場合にプラズマが素子の金属基板にのみ当たるよう、金属のケースに納める構造とした。また、基板のサイズは製作上可能なかぎり小さい方が良い。

以上の結果、素子の形状、性能等を下記のように決めた。

基板材質：Mo

寸法：8 mm  $\times$  12 mm  $\times$  0.1 mm t

応答速度：0.2 ms 以下

構造：プラズマが直接蒸着膜に当たらないように裏返しの構造とする。

### 2.2 製作方法

#### 2.2.1 蒸着膜素子の製作

蒸着膜素子は、SiOおよびNiを蒸着したMo基板と、それを支持、固定するセラミックの台よりなる(図1参照)。

以下、製作方法をその手順に従って説明する。

##### (1) Mo基板の前処理

真空蒸着の際、基板表面が清浄でなければならない。そこで、Mo基板を紙ヤスリで研磨し、アセトンを使用して超音波洗浄を行ない、その後純水で洗浄した。

##### (2) 絶縁膜SiOおよびNi膜の蒸着

Mo基板とNi膜との間の絶縁をとるため、SiOを基板に蒸着した。その場合、ピンホールが無く、しかも機械的に強い絶縁膜を作るには蒸着時の基板温度が重要な因子となる。我々は基板温度を300℃に保持して蒸着した(この温度以下では、SiOがハク離してしまう傾向

がある)。次に図2に示すマスクをSiO膜の上に重ね、その上方10 cmの距離からタングステン線(0.5 mmφ)に巻いたニッケル線(0.2 mmφ)を電流で加熱して蒸着した。

Ni膜とMo基板との間の絶縁抵抗がNi抵抗膜の抵抗値にくらべて十分大きければ良い。このようにして、Ni抵抗膜の抵抗値97Ω、絶縁抵抗1 MΩ以上の蒸着膜を製作することができた。

#### (3) セラミック支持部の電極との接合

Ni蒸着膜の端子に導電性接着剤を微量塗り、セラミック支持部のコバール電極と一致させて重ね、ビスでとめる。従って蒸着面はプラズマに直接には当たらない(図1参照)。次に導電性接着剤固化および膜の安定化のため、真空中400℃に1時間加熱した。この加熱冷却のサイクルを高温迄、回数多く行なう程、膜の安定化は進む。

#### (4) 測定用プローブとしての組み立て

このようにして出来た蒸着膜素子をステンレスのパイプ(15 mmφ)に収納する。ステンレスパイプの先端は、ハーメチックシールで、このハーメチックシールを介して素子のコバール電極と引き出し用の電極とをハンダ付けした。さらに、この素子をステンレス製のケース中に収納する。これは、プローブ挿入時の素子部の破損防止とプラズマをMo基板にのみ当てるためである。



### 3 蒸着膜素子の性能試験

#### 3.1 熱流束の計算の検討

本実験の目的は熱流束の分布および時間変化を求めることにある。したがって、測定した過渡温度変化から熱流束を計算する必要がある。このため、素子の構造から考えて、平板の非定常熱伝導の式を解かねばならない。計算の対象とする系を図3に示す。測定の対象であるプラズマの条件から、熱流束はz方向(図3参照)に一様と考えてよいので、2次元の非定常熱伝導の式を考えれば十分である。境界条件として熱流束分布あるいは温度分布を与えねばならないが、一般に温度分布を予測するのは難しいので熱流束分布を与える。

まず、基板の厚み方向の温度分布を無視して最も単純な熱バランスを考えると、温度変化は

$$\rho d C_p \frac{dT}{dt} = q_0(t) \dots\dots\dots (1)$$

で与えられる。

つぎに、基板内の温度分布を考慮した熱伝導方程式を解く。計算にあたり、以下の基本的な仮定を設ける。

- (1) モリブデン基板の物性値は温度によらず一定である。
- (2) 絶縁膜およびニッケルの厚さ、熱容量を無視する。
- (3) 蒸着膜の付いている面は断熱されている。
- (4) 基板の上, 下端 ( $y=0, b$ ) は断熱されている。

(2)の仮定についてはモリブデン基板の厚さ(100 $\mu$ m)にくらべて蒸着膜の厚さは1 $\mu$ m以下であり充分妥当な仮定である。

基礎式および境界条件はつぎのとうりである。

$$\partial T / \partial t = a \nabla^2 T \dots\dots\dots (2)$$

$$\left. \begin{array}{l} t=0 ; T=0 \\ x=0 ; -\lambda \partial T / \partial x = q(y, t) \\ x=d ; \partial T / \partial x = 0 \\ y=0, b ; \partial T / \partial y = 0 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

熱流束  $q(y, t)$  が  $y$  に依存せず、 $x=d$  で一様であるとすれば、温度変化は

$$T(t) = \left[ \frac{2\sqrt{a}}{\lambda\sqrt{\pi}} \sum_{n=0}^{\infty} \int_0^t \frac{q(\tau)}{\sqrt{t-\tau}} \exp \left[ -\frac{(2n+1)^2 d^2}{4a(t-\tau)} \right] d\tau \right] \dots\dots\dots (4)$$

で与えられる。

$$\text{また, } q(y, t) = \left\{ \begin{array}{ll} q(t) & y_1 \leq y \leq y_2 \\ 0 & 0 \leq y \leq y_1, y_2 < y \leq b \end{array} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

という熱流束分布を仮定すると、温度変化は

$$\begin{aligned} T(t) = & \frac{1}{b\lambda} \sum_m (-1)^m \frac{1}{\alpha_{2m}} \left[ \sin \frac{2m\pi}{b} y_2 - \sin \frac{2m\pi}{b} y_1 \right] \\ & \times \int_0^t q(\tau) e^{-\alpha_{2m}^2 at} \frac{\partial}{\partial t} \left[ 4\sqrt{at} \sum_{n=0}^{\infty} \text{ierfc} \frac{(2n+1)d}{2\sqrt{at}} \right]_{t=t-\tau} d\tau \\ & \alpha_{2m} = 2m\pi/b, \quad m=0, \pm 1, \pm 2, \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

となる。

本素子を空間的に移動させて得られた結果によると、熱流束の分布はおよそ(5)式で与えられるような形状をしている。したがって、(6)式から  $q(t)$  を求めれば良い。

ところで、本実験では、約 40 msec 以内というきわめて短時間の現象を対象としている。熱の拡散距離  $\delta$  は、およそ  $\delta \sim \sqrt{at}$  のオーダーであり、モリブデン内では  $t = 40 \text{ msec}$  として  $\delta \sim 1.5 \text{ mm}$  である。それゆえ、熱流束の中が、ニッケル膜を中心に  $\pm \delta$  程度の巾があれば、中心温度(測定した温度)に対し、熱流束の一様性を仮定して得られた(4)式を適用しても大きな誤差を生じることはないと考えられる。また、モリブデン基盤は 0.1 mm ときわめて薄いため、熱流束の時間変化がさほどきびしくない場合には(1)式を適用する。本報では、とりあえず(1)式により熱流束を算出したが、今後(6)式を適用しより正確な値を求める予定である。

### 3.2 較正実験

ベルジャー内で、素子の Mo 基板に熱電対を接触させた状態で、ヒータで加熱し、温度と抵抗値を同時に測定して較正曲線を得た(図4)。この較正曲線の直線性は良いのでこれを直線で近似した。この直線の勾配から温度係数 ( $\Delta R/\Delta T$ ) として  $0.17\% \Omega/\text{C}$  を得た。

### 3.3 時定数の測定

パルス半値巾が数十ナノセックの Q スイッチレーザーを用いて、蒸着膜素子および熱電対の時定数を測定した(図5)。その結果、熱電対の立ち上がりの時定数は約 5 msec、立ち下がりの時定数は数秒であった。蒸着膜では、それぞれ 0.18 msec および数秒である。従って両素子とも入熱量を積分値として測定していることがわかる。また、放電休止時間中(120秒)に元の温度に戻る。

これらのデータから期待したとおり、蒸着膜素子の時定数は熱電対にくらべて大幅に改善されたことがわかる。

## 4 JFT-2aのダイバータにおける熱測定

DIVAのダイバータにおける熱測定は図6に示す $R=40\text{ cm}$ の位置で $z$ 方向上, 下にスキャンすることにより行なう。

### 4.1.1 熱電対プローブによる熱測定

我々が使用している熱電対は $0.25\text{ mm}\phi$ シース型熱電対である。熱電対のシースの部分は、先端のセンサー部から $5\text{ mm}$ を残して、 $6\text{ mm}\phi$ のベリリアパイプ中に挿入されている。このパイプ中で熱電対を銅片に機械的に接触させ固定する。銅片はヒートレザバーとしての役目ももつ。さらにそのパイプを $15\text{ mm}\phi$ のステンレスパイプ中に挿入し、固定する。ステンレスパイプの後端は、ハーメチックとなっており、トルシールを用いて真空を保つ。このステンレスパイプをベローズつきの駆動装置を用いて $z$ 方向上下に移動させて測定する。

熱電対の温度上昇と入熱 $q$ の熱バランスは

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\kappa}{\rho c} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{2}{\pi r \rho c} q$$

で与えられる。

この式を数値計算した結果、熱電対の $z$ 方向長さ $2\text{ mm}$ 程度の巾に一定の熱流束 $q$ を受けると温度は断熱的に上昇し、与式の第1項は無視できることがわかった。一方、プラズマは $2\text{ mm}$ の巾については、ほぼ一定と考えられる。そこで $q$ を求める際には第1項を無視し、

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{2}{\pi \rho c r} q$$

を用いた。

また、 $\rho$ 、 $c$ の評価については、熱電対のセンサー部の寸法、形状が仕様書どおりであると評価した(表2参照)。

次に、図5に示すとおり熱電対の時定数は $5\text{ ms}$ であるから、時刻 $t$ における $\Delta T/\Delta t$ を

$$\Delta T/\Delta t = [T(t+5) - T(t)]/\Delta t$$

として評価した。測定は差動増巾により、放電による熱電対の出力増分を検出する方法をとった。

### 4.1.2 蒸着膜プローブによる熱流束測定

ダイバータに流入する熱流束を測定するため、 $R=40\text{ cm}$ の位置で蒸着膜プローブを $z$ 方向にスキャンした。

測定回路を図7に示す。乾電池を定電圧電源として使い、2コの抵抗(各 $127\ \Omega$ )の両端の電流変化分を差動増巾で検出した。この測定方法では、入熱による蒸着膜の抵抗変化分 $\Delta R$ は、

$$\Delta R = \frac{V_0}{I^2} \cdot \frac{E}{R_0 - \frac{E}{I}}$$

と表わされる。この抵抗変化から、任意の時刻の熱流束は、

$$Q(t) = \rho C_p \ell \left( \frac{dT}{dt} \right)_{t=t} = (\rho C_p \ell / A) \cdot \frac{V_0}{I^2} \left( \frac{E}{R_0 - \frac{E}{I^2}} \right) / dt$$

と表わされる。

但し、

- $\rho$  : Mo の比重量 (10.2 g/cm<sup>3</sup>)
- $C_p$  : 定圧比熱 (0.255 J/g·°C)
- $\ell$  : Mo の板厚 (0.01 cm)
- $A$  : 温度係数 (0.17%Ω/°C)
- $V_0$  : 乾電池の起電力 (3.226 V)
- $R_0$  : 2 コの挿入抵抗値 (254 Ω)
- $I$  : 定常時に回路に流れている電流値
- $E$  : 差動増巾による検出電圧

#### 4.2 測定結果

図8、図9にD I V Aのダイバータにおける熱電対および蒸着膜プローブによる生データの一例を示す。

この測定では、ダイバータフープ電流とプラズマ電流の比は約1.1である。

$z$ が正の位置では電子はトロイダル電場により加速され、磁気面に沿ってプローブのセンサー部に入射する。蒸着膜のデータから、 $z = +40$  mmの位置で、時刻16 msec付近から急激に温度が上昇していることがわかる。これは逃走電子によるものである。このことは同じ位置で測定したX線ターゲットからのハードX線がこの時刻付近から検出されることと一致している。<sup>3)</sup>  $z = +45$  mmでは、逃走電子の軌道から離れているため急激な温度上昇は見られない。

図10に時刻35 msにおける両プローブによる熱流束 $q$ の空間分布を示す。前述のとおり、熱電対および蒸着膜素子はそれぞれ $z$ 方向5 mmおよび8 mmの巾にわたって分布したプラズマを受ける。素子にパルス状に入射した場合の $z$ 方向の熱拡散距離を計算すると、熱電対、蒸着膜素子について、それぞれ0.35 mm、1.5 mmである。しかし、実際のプラズマの $z$ 方向分布はブロードであり、従って空間分解能は1 mm以下と考えられる。

図11に蒸着膜プローブによるダイバータへ流入する熱流束 $q$ の時間・空間的变化の一連のグラフを示す。同図には、静電測定により得られた $i_F$ および $i_s \cdot T_e$ のデータも示してある<sup>4)</sup>。 $i_s$ はイオン飽和電流、 $i_s \cdot T_e$ は粒子束のもつ平均エネルギーである。また、 $i_F$ は測定プローブに対するプラズマ流の上流側および下流側における $i_s$ の差であり、ネットとしてプローブに流入する粒子流である。ここで、荷電粒子は磁力線に沿って素子のMo基板に入射するので、熱流束 $q$  (J/cm<sup>2</sup>·ms)を算出する場合にMo基板の磁力線に直角方向の単位面積当りの量に換算する必要がある。この換算係数は、

$$r = B_R / B_T$$

である。但し、 $B_R$ は大半径方向の磁場、 $B_T$ はトロイダル磁場である。そこで、ホール素子を用いて、 $B_R$ 、 $B_T$ の空間、時間的变化を測定し、 $r$ を得た。図11の $i_s \cdot T_e$ 、 $q$ はこの補正を行なった値である。

同図より、メディアンプレーンの上、下で時刻16msec以後から $q$ に非対称性が現われることがわかる(16msec以前では有意の差は見られない)。これは前述のごとく、トロイダル電場に加速された逃走電子によるものである。 $q$ のピーク的位置は、時刻とともに、内側へ移動するが、これは $I_D/I_P$ の時間変化にともない、測定点におけるセパトリティクス磁気面が収縮するためである。

また同図から、熱流束 $q$ は粒子束のもつ平均エネルギー $i_e \cdot T_e$ の50~100倍で、通常のソース理論から期待される $q = 7.8 i_e \cdot T_e$ と大きく異なっていることがわかる。この原因として、

- ①  $T_e$ の値の評価法、
- ② 電子のマックスウェル分布からはずれた高エネルギー成分の寄与、
- ③ 二次電子放出の効果等<sup>5)</sup>

が考えられる。現時点では静電的測定データが不足であり、この点については、さらに検討する必要があると考える。

ダイバータの熱効率 $\eta$ は、近似的に

$$\eta = \frac{\iint 2\pi R r q(z, t) dz dt}{\int I_P V_L dt}$$

と書ける。

但し、 $I_P$ 、 $V_L$ はそれぞれプラズマ電流、ワンターンボルテージである。図11のデータを用いて効率を評価した結果、約20%であった。

## 謝 辞

本テーマを与え、指導していただいた、下村安夫氏およびDIVAグループ、装置技術管理室、計測グループの諸氏に感謝致します。また、真空蒸着装置の使用を許可していただいた、原子炉工学部伝熱流動研究室の佐野川好母氏に感謝致します。最後に、本研究に対し終始激励していただいた田中正俊室長に感謝致します。

## 参 考 文 献

- 1) OHTSUKA.H. et al., JAERI-M 6135
- 2) MAEDA.H. et al., Private communication
- 3) SHIMOMURA.Y., Seventh European Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics (Lausanne), September, 1975
- 4) KIMURA.H., to be published in JAERI-M
- 5) HOBBS.G.D. and WESSON, J.A., HEAT TRANSMISSION THROUGH A LANGMUIR SHEATH IN THE PRESENCE OF ELECTRON EMISSION:GLM-R61

表1 各種金属の物性値

温度 (°C)	比重 (g/cm <sup>3</sup> )	比熱 (J/g·°C)	熱伝導率 (J/cm·s·°C)	温度伝導率 (cm <sup>2</sup> /s)	線膨張率 (10 <sup>-6</sup> /°C)	融点 (°C)	沸点 (°C)	蒸気圧 (10 <sup>-6</sup> torr) に対する温度 (°C)	Heイオン (200eV) に対する He 原子の吸収量 (atoms/ion)	熱拡散時間 (msec)*
Al 300	2.70	1.031	2.299	0.822	31.5 (600°C)	660.2	2060	1085	0.005	0.12
Au 20	19.32	0.130	2.949	1.178	14.2	1063	2970	1220	0.020	0.08
W 20	19.30	0.134	1.974	0.764	4.3	3410	5930	2680	0.001	0.13
Ti 20	4.54	0.521	0.174	0.072	8.5	1820	3000	1500	0.038	1.39
Fe 20	7.87	0.460	0.673	0.186	11.7	1539	2740	1305	0.065	0.54
SUS 20	8.07	0.460	0.116	0.031	12.2	1400	2740	1125	0.11	3.23
Cu 20	8.96	0.385	3.855	1.028	16.5	1083	2600	1765	0.004	0.10
Pt 0	21.45	0.134	0.697	0.242	8.9 (20°C)	1773.5	4410	2095	0.005	0.41
Mo 20	10.20	0.255	1.463	0.561	4.2	2625	4800	1250	0.070	0.18
Cr 20	7.10	0.418	0.668	0.225	6.2	1890	3430			0.44

\*肉厚100μとして計算

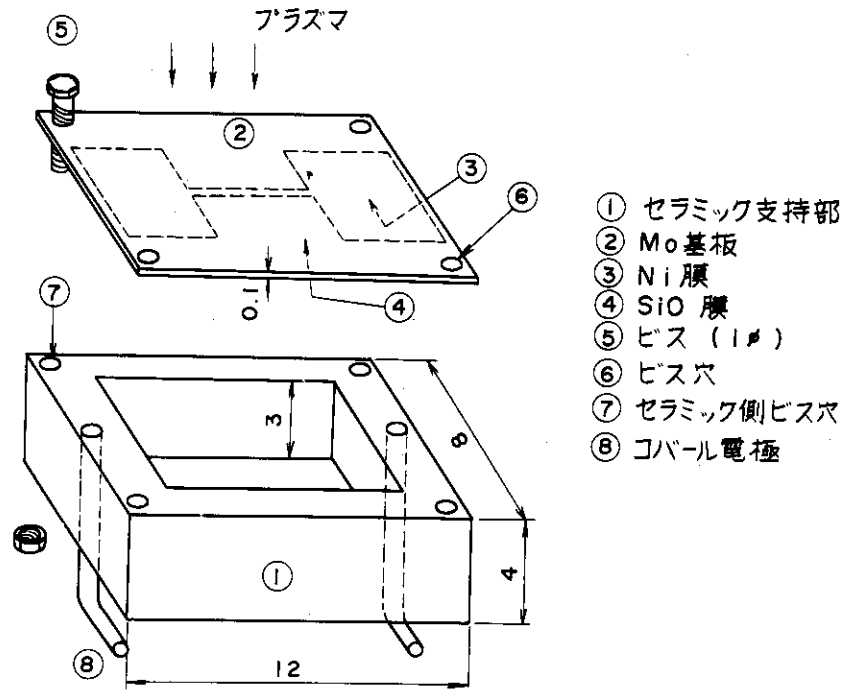


図1 蒸着膜素子の構造

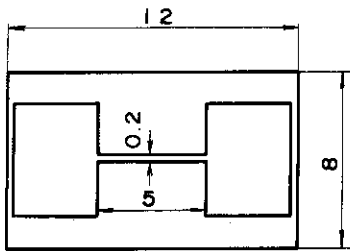


図2 Ni 蒸着用マスク

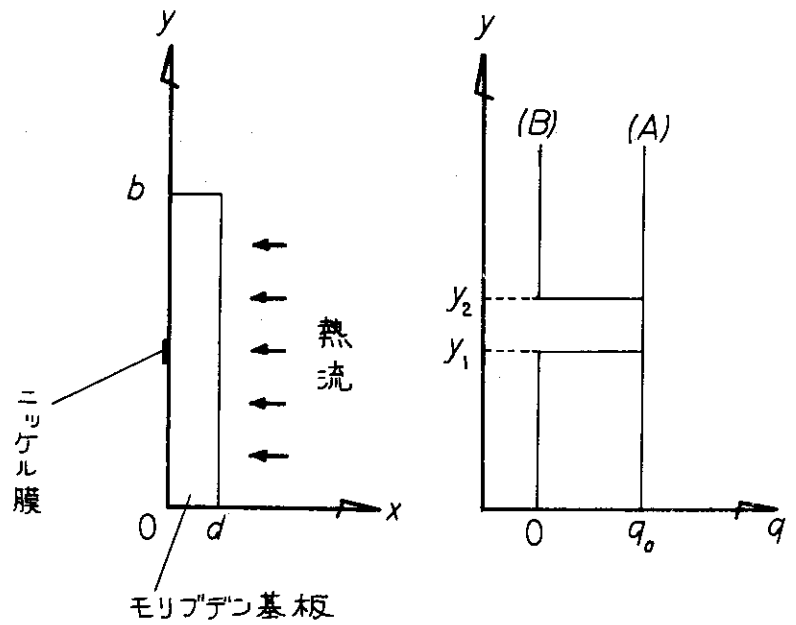


図3 熱流束計算モデル



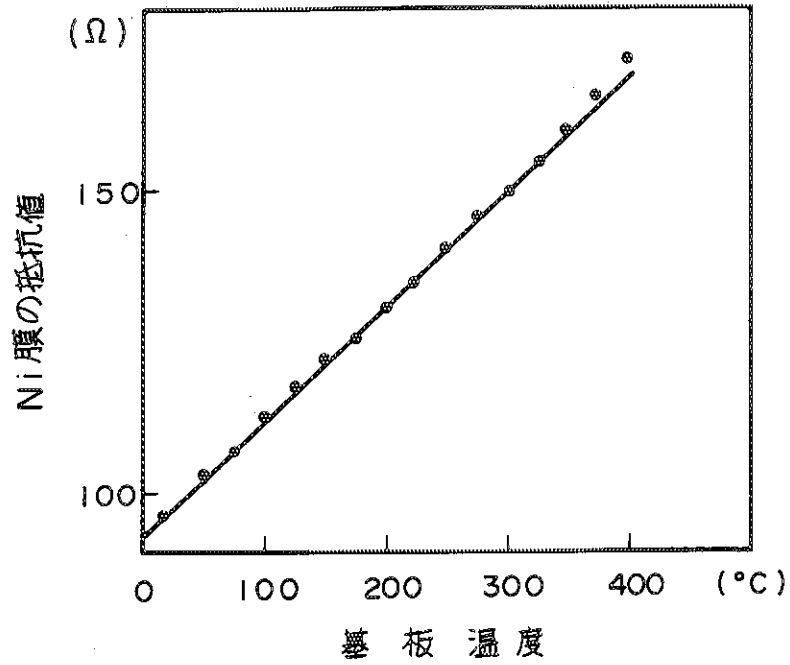


図4 素子の温度-抵抗特性

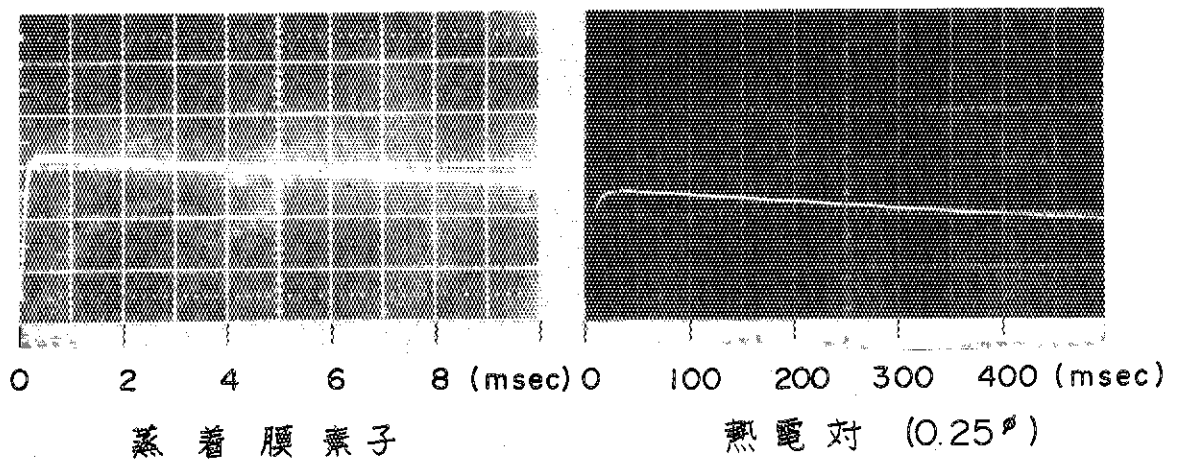


図5 レーザパルスによる時定数測定

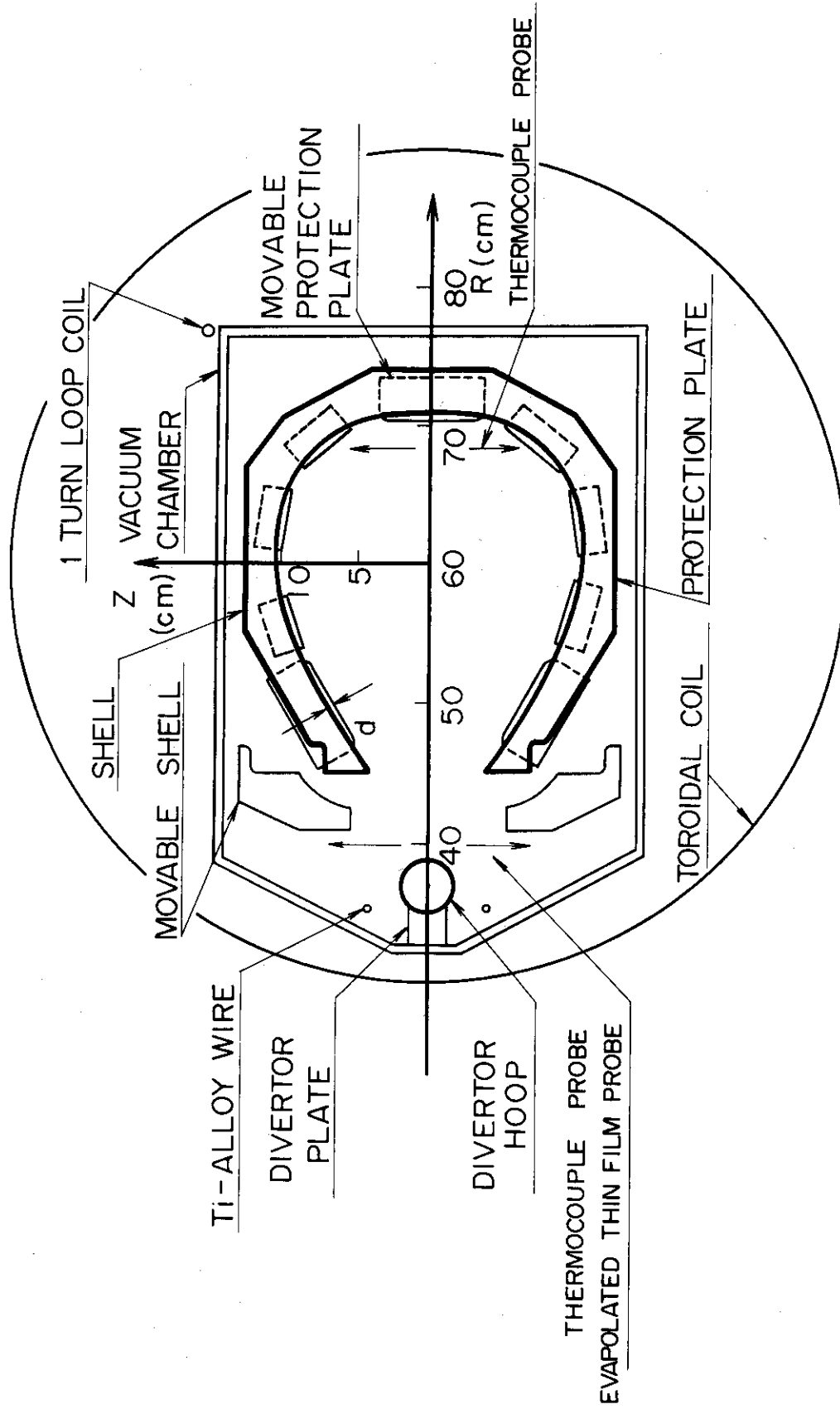
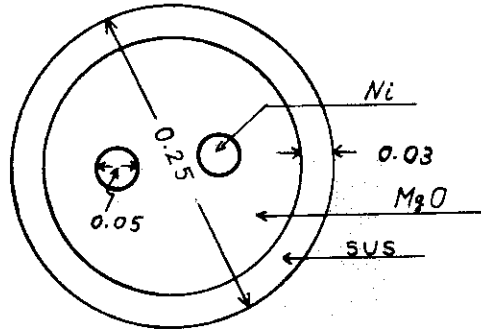


図6 JFT-2a 断面図および測定位置

表 2 0.25mmφのシース型熱電対の構造図



成分名	S (cm <sup>2</sup> )	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	C (cal/g°C)	SPC
SUS	$0.0207 \times 10^{-2}$	7.9	0.115	$1.84 \times 10^{-4}$
Ni	$3.93 \times 10^{-5}$	8.9	0.115	$0.40 \times 10^{-4}$
MgO	$2.45 \times 10^{-4}$	3.6	0.29	$2.56 \times 10^{-4}$
合計				$4.84 \times 10^{-4}$
$\rho C$				0.99

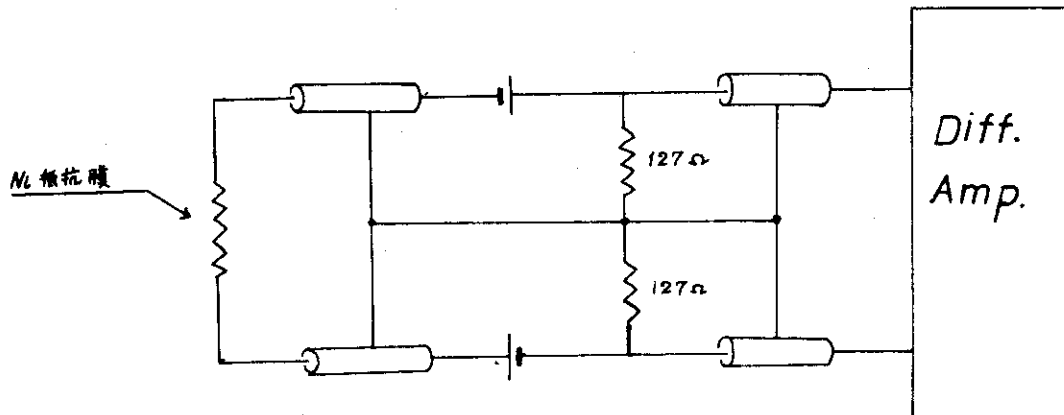
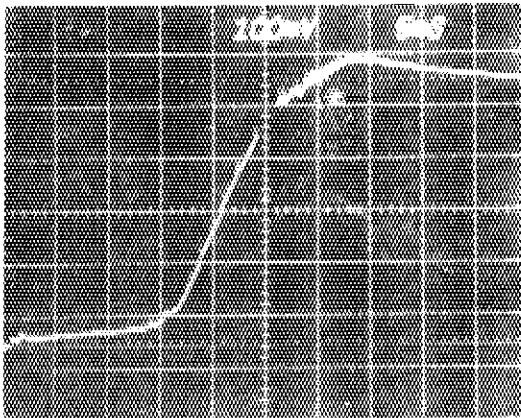


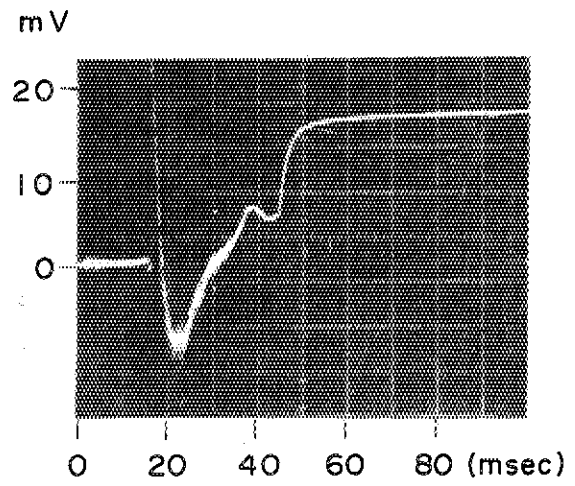
図 7 蒸着膜素子測定回路図

Z = 40 mm



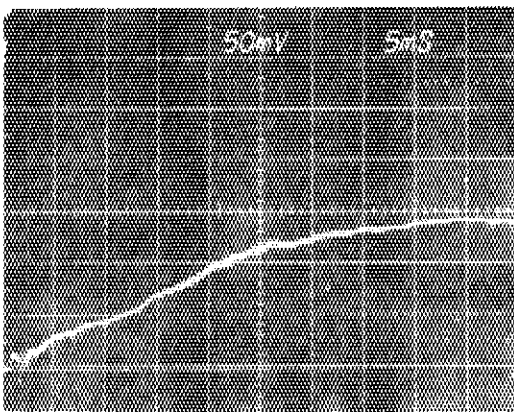
蒸着膜素子の出力

Z = 40 mm



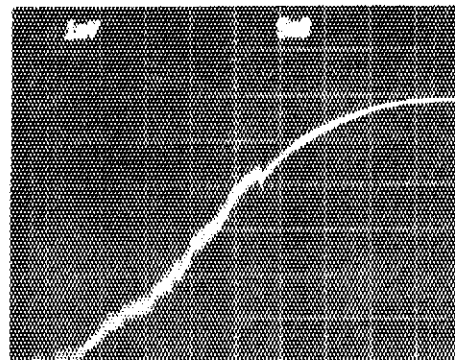
熱電対の出力

Z = -40 mm



蒸着膜素子の出力

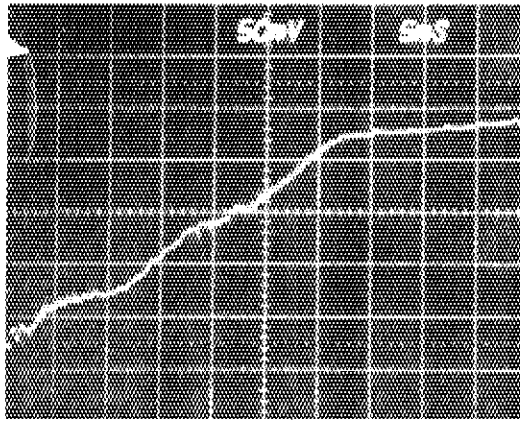
Z = -40 mm



熱電対の出力

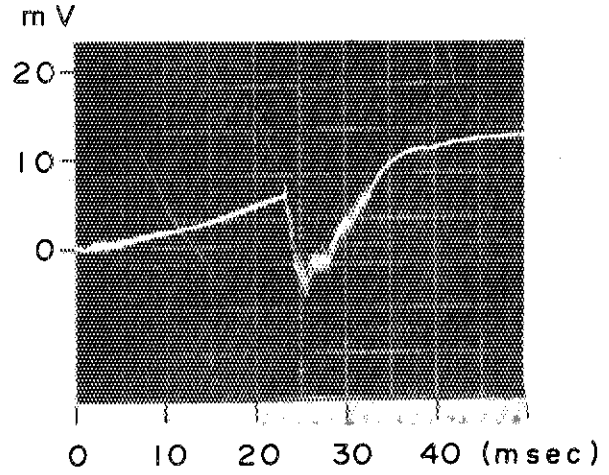
図8 ダイバータでの測定結果

Z = 45 mm



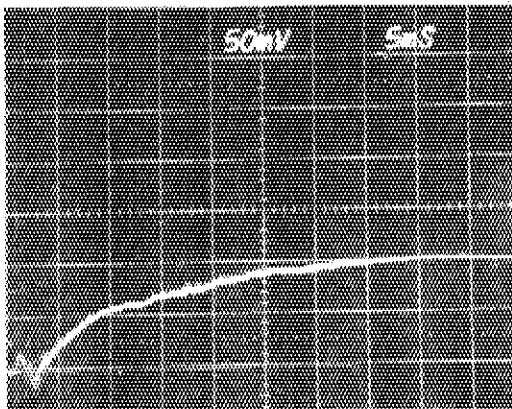
蒸着膜素子の出力

Z = 45 mm



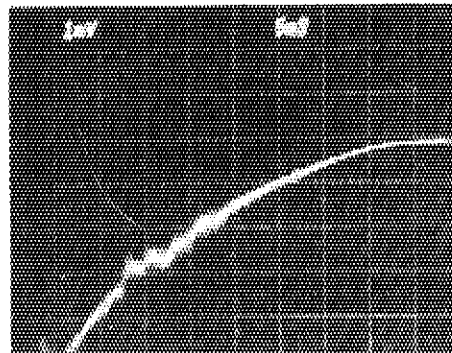
熱電対の出力

Z = -45 mm



蒸着膜素子の出力

Z = -45 mm



熱電対の出力

図9 ダイバータでの測定結果

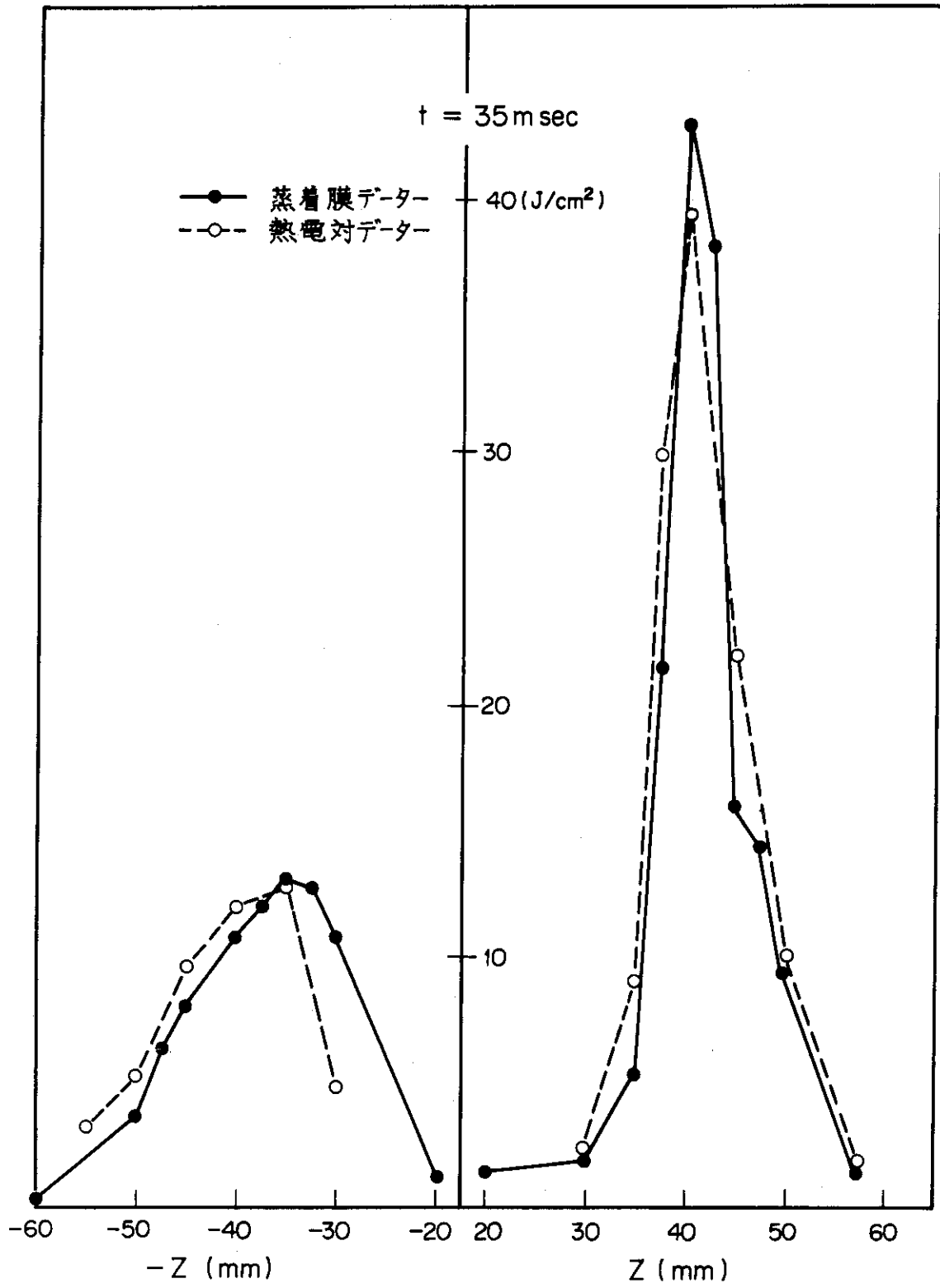


図 10 熱流束の空間分布 ( $t = 35 \text{ ms}$ )

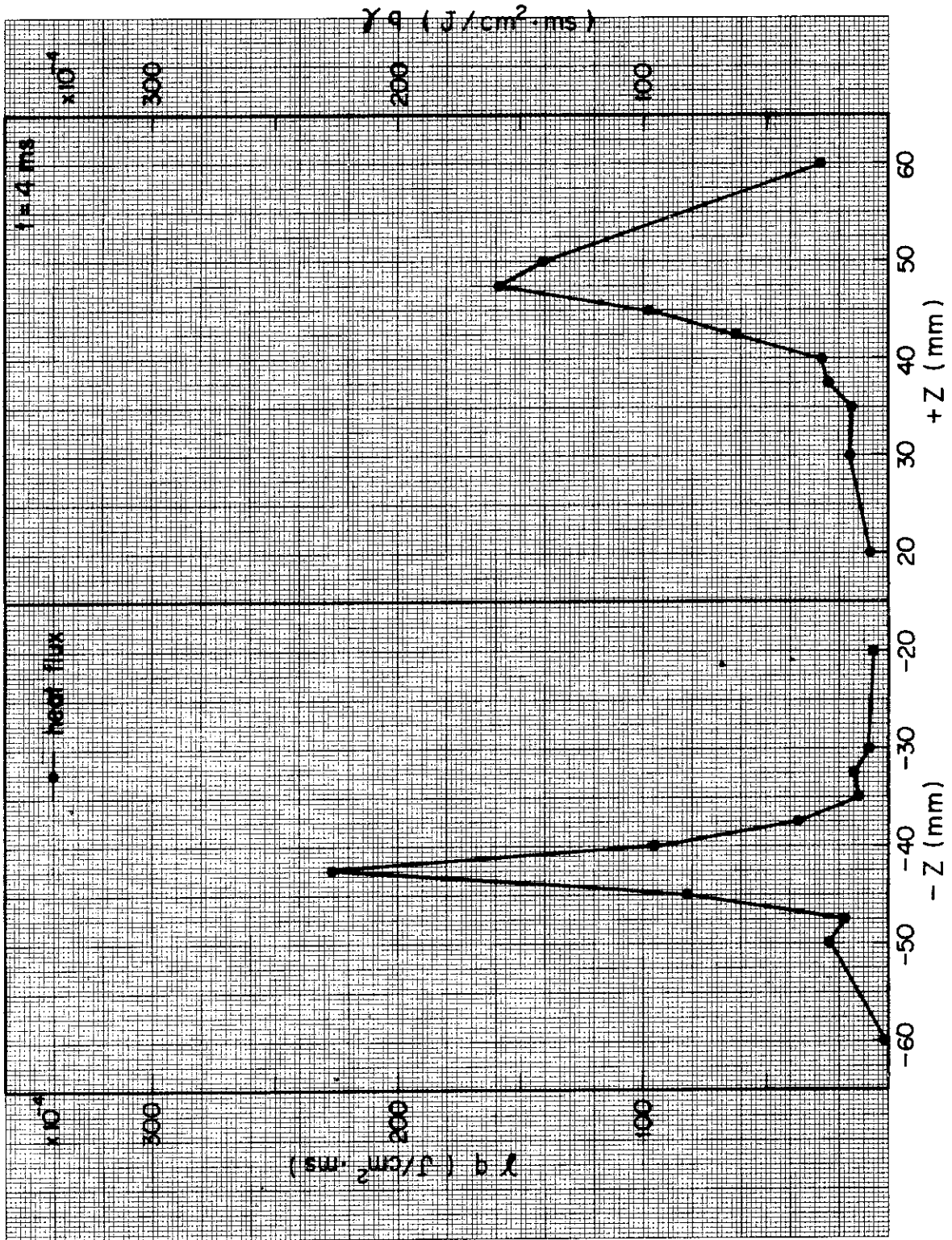


Fig. 11-1

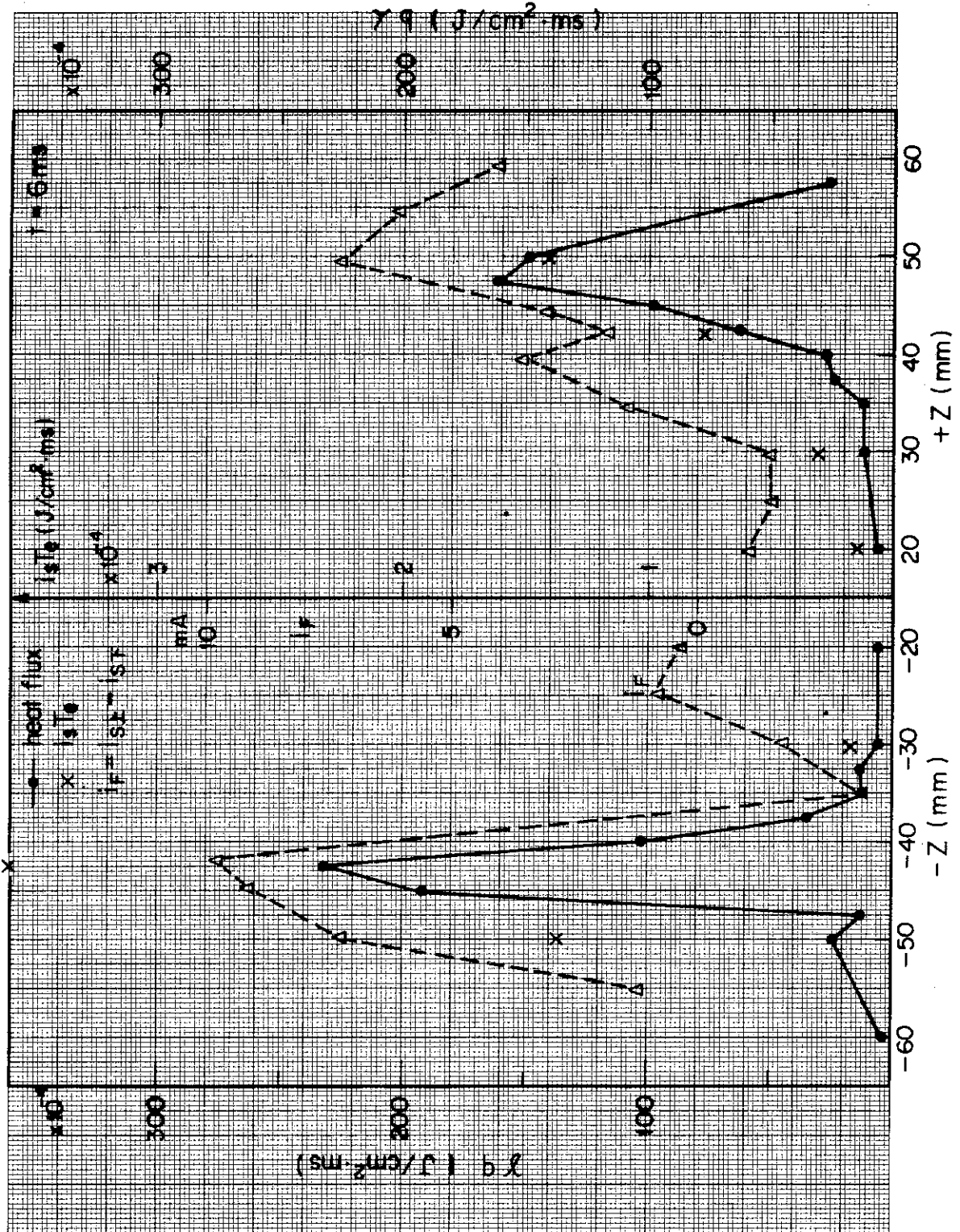


図 11 - 2



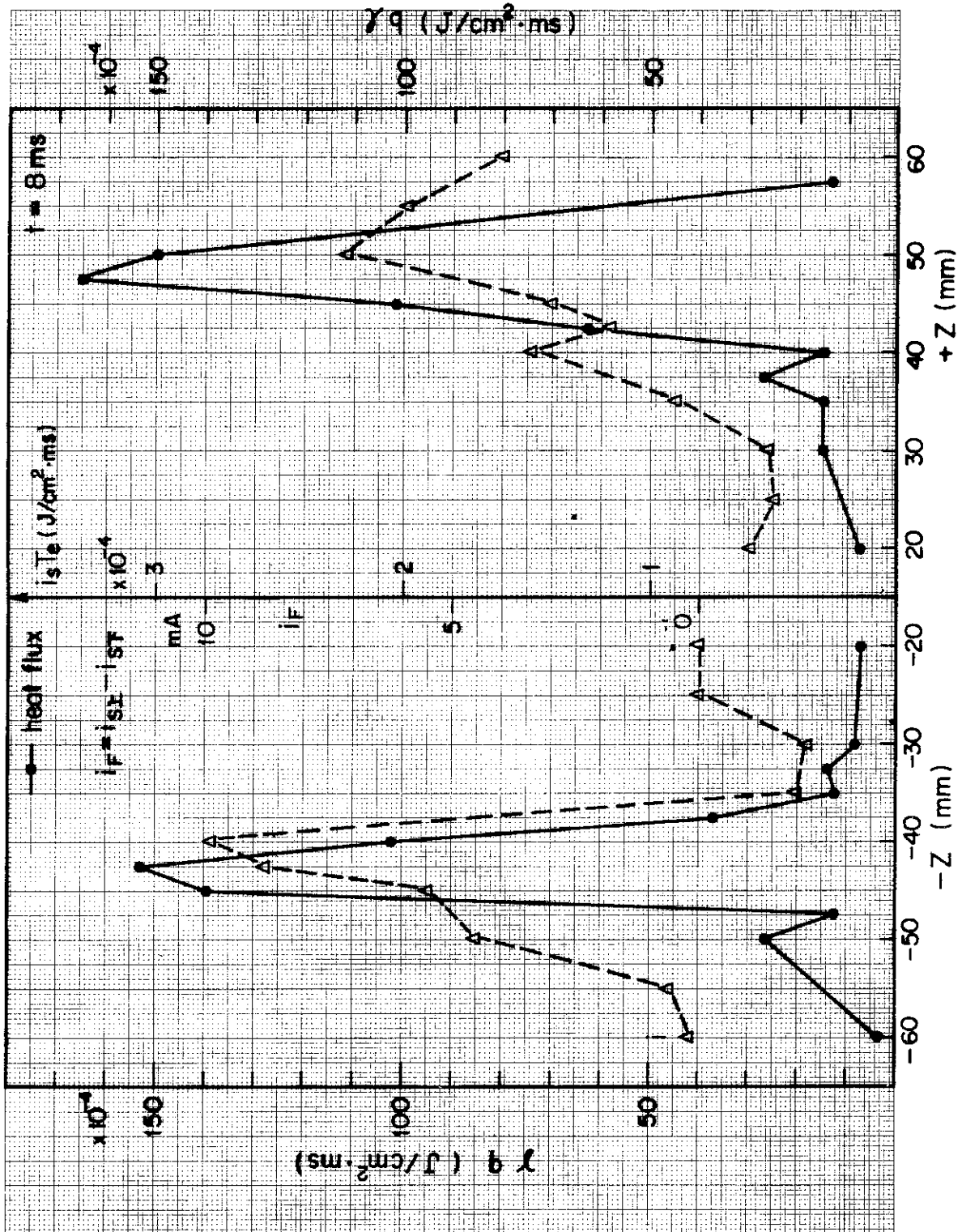


図 11 - 3

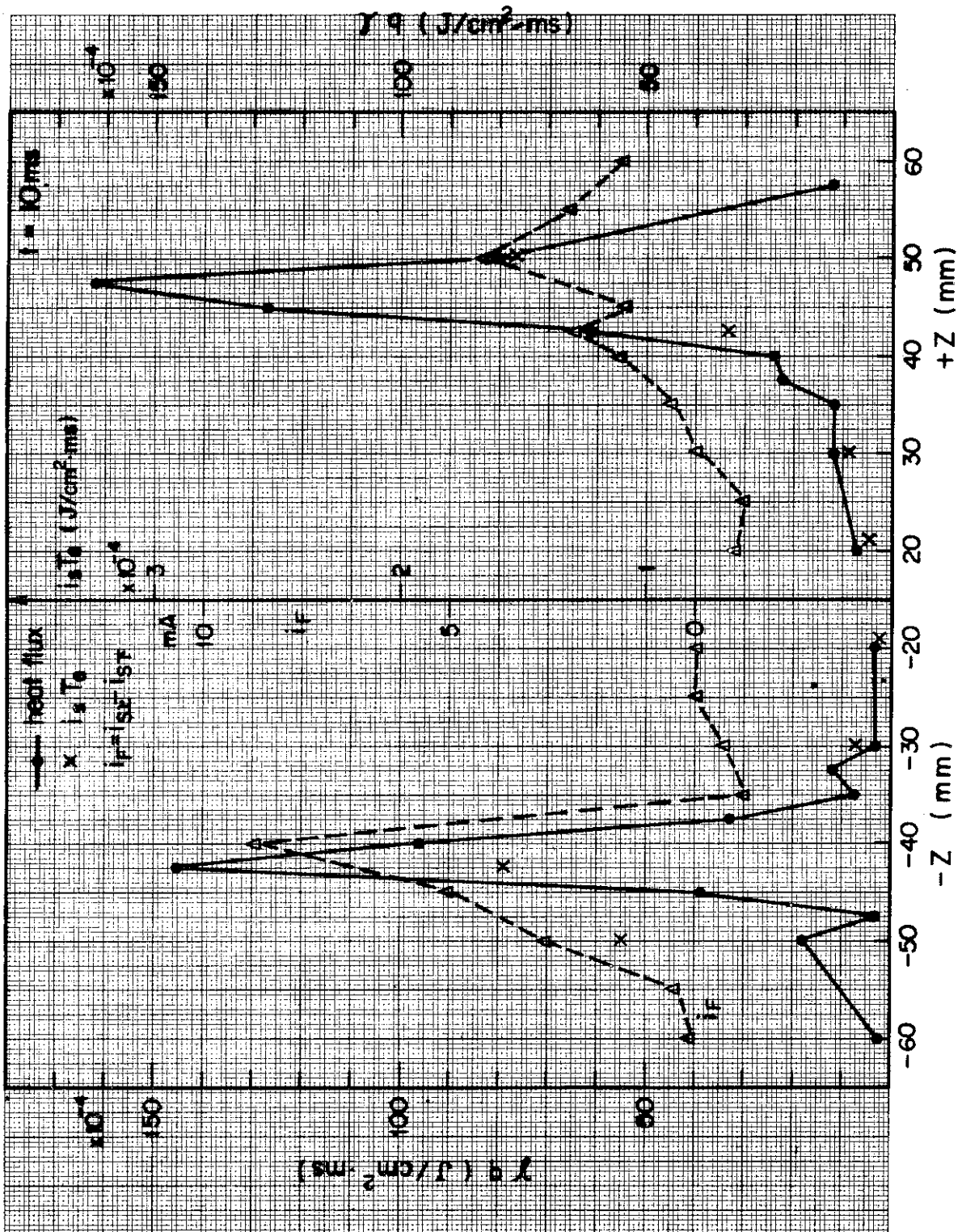


図 11 - 4

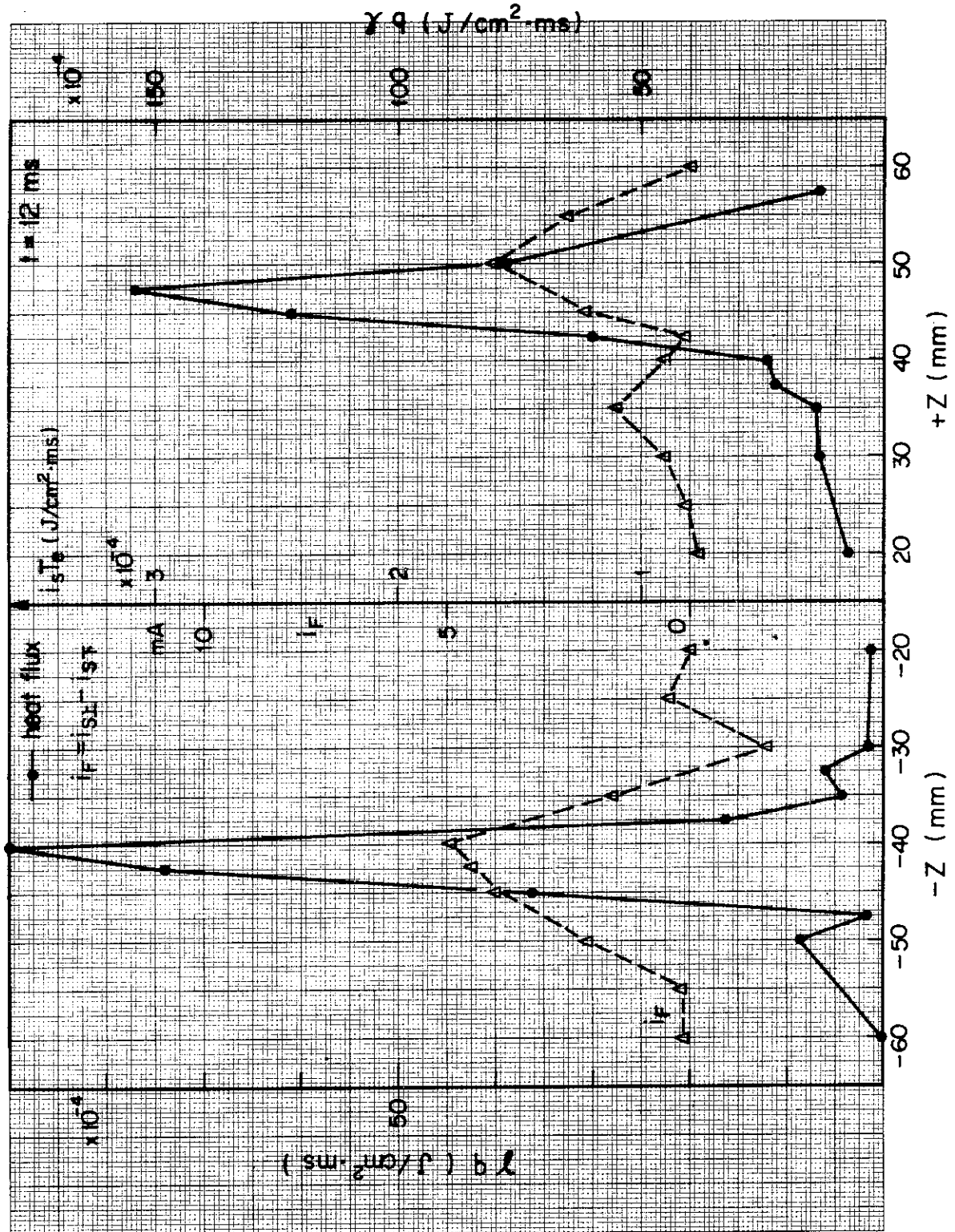
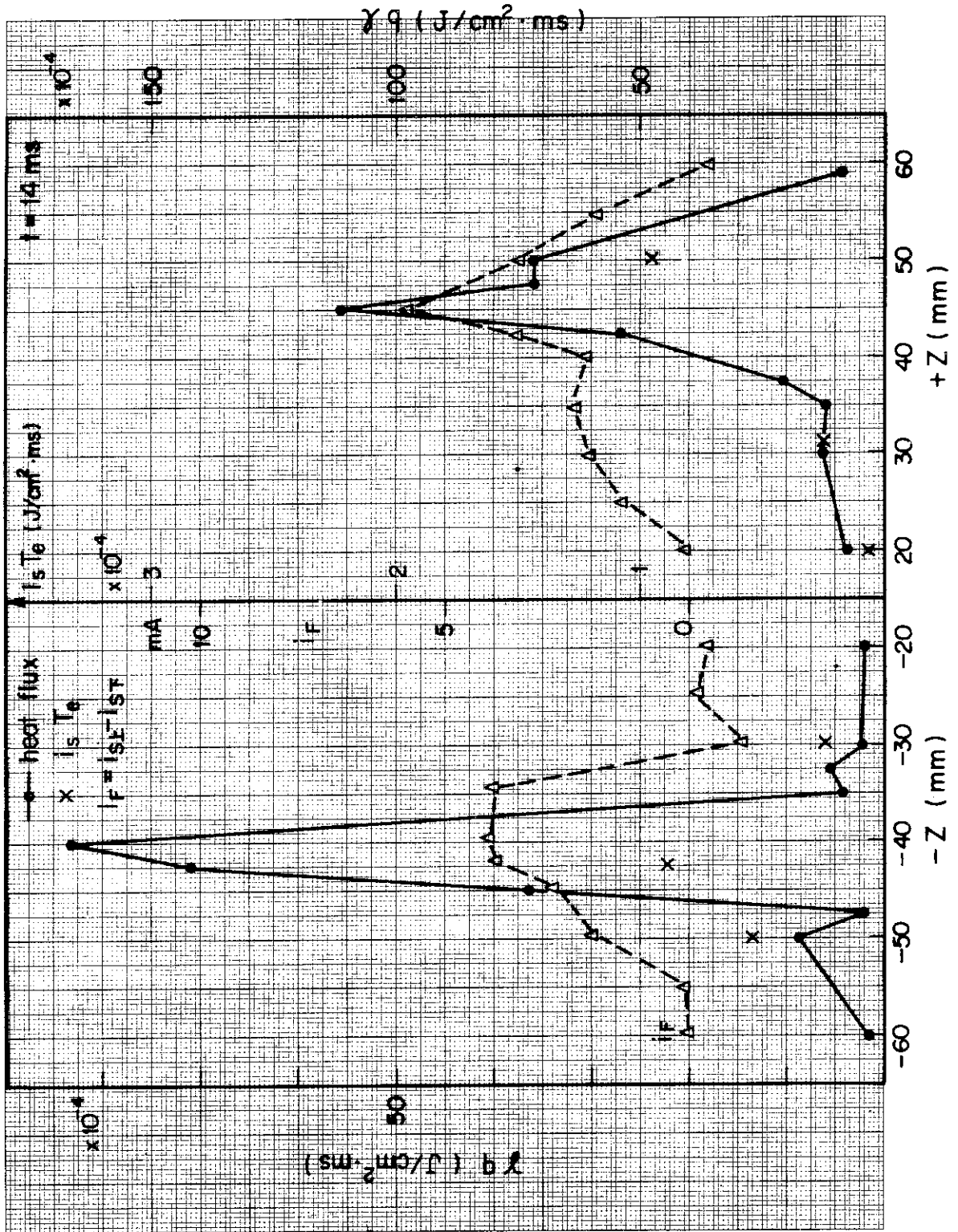


図 11-5



111-6

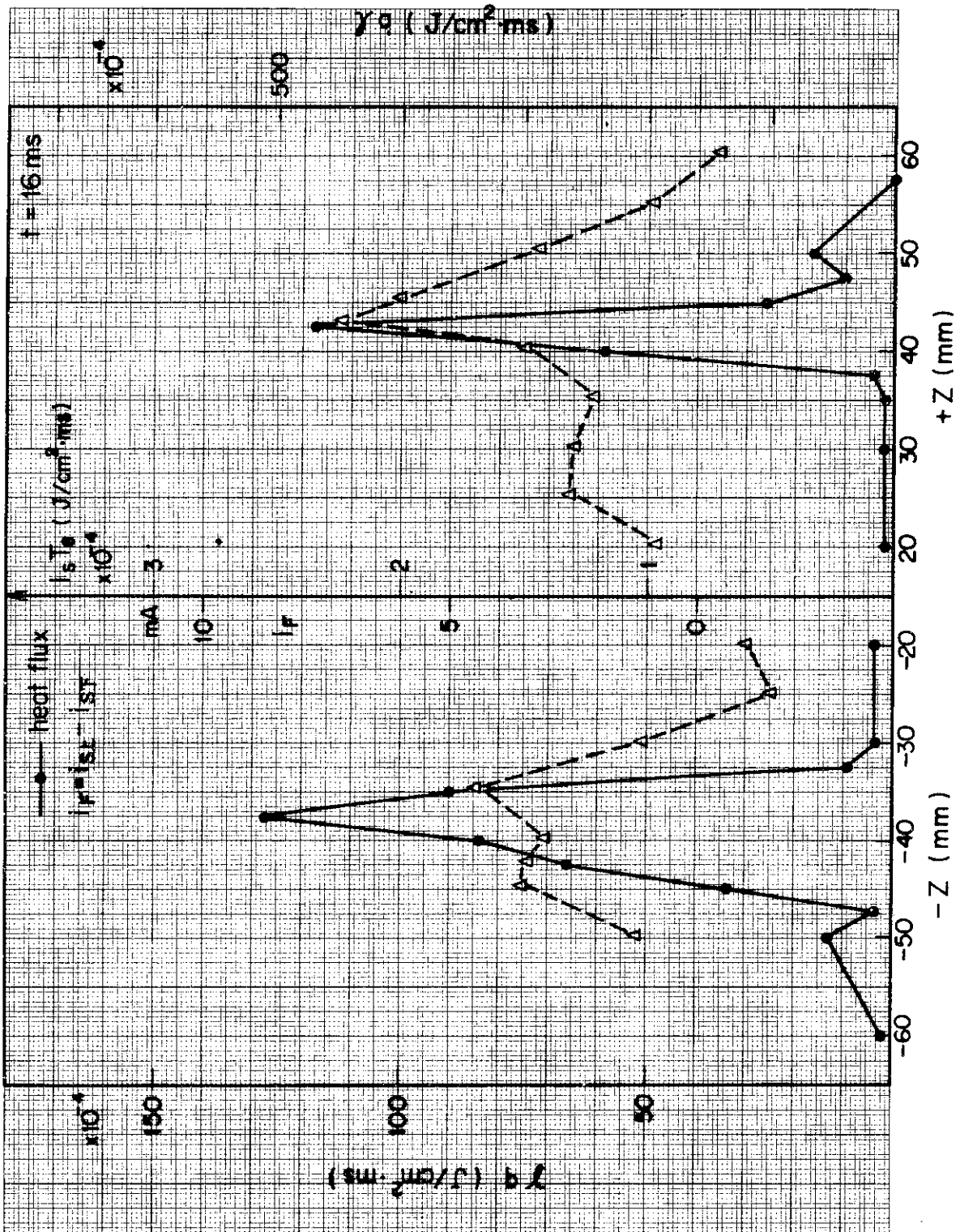


図 11-7

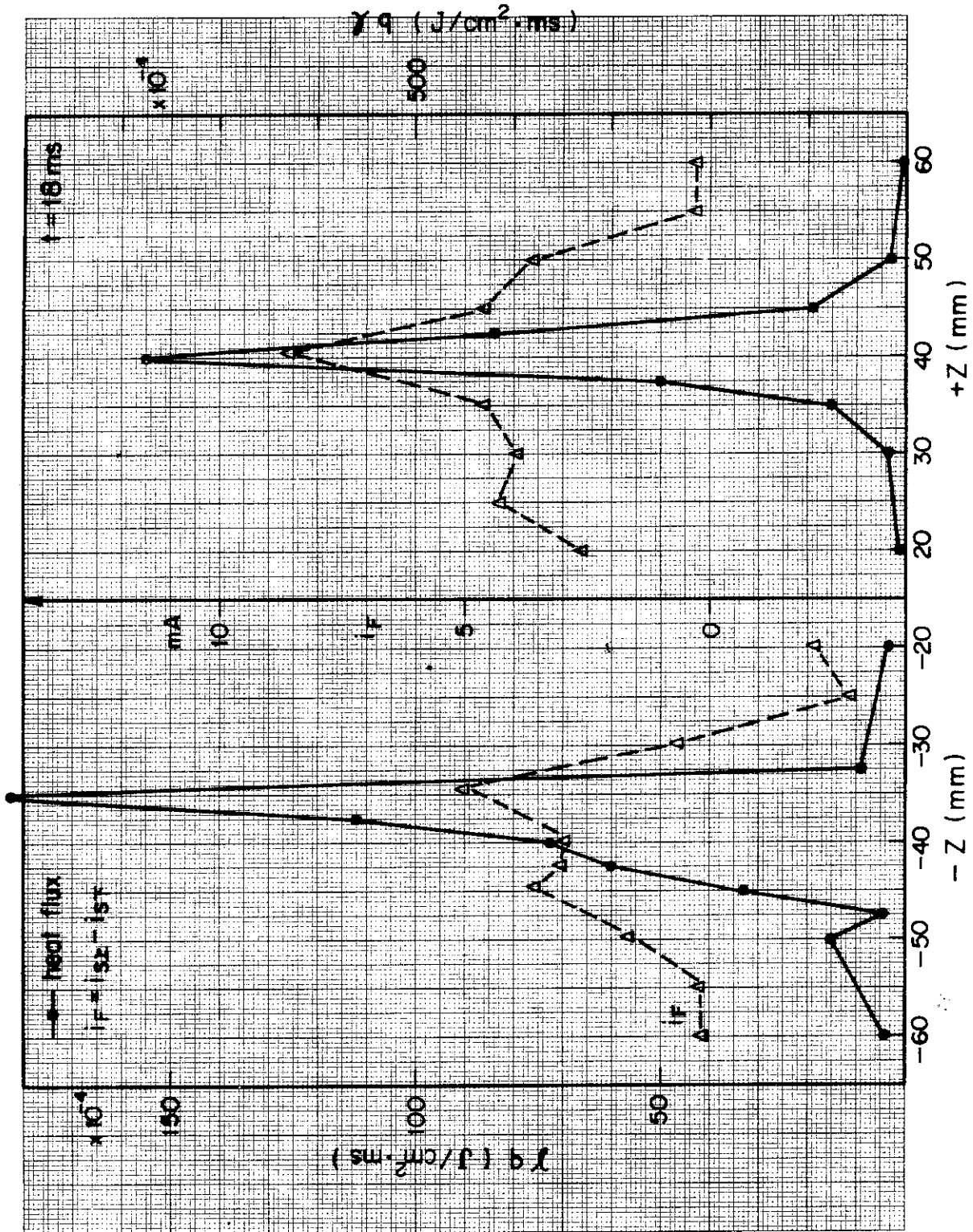
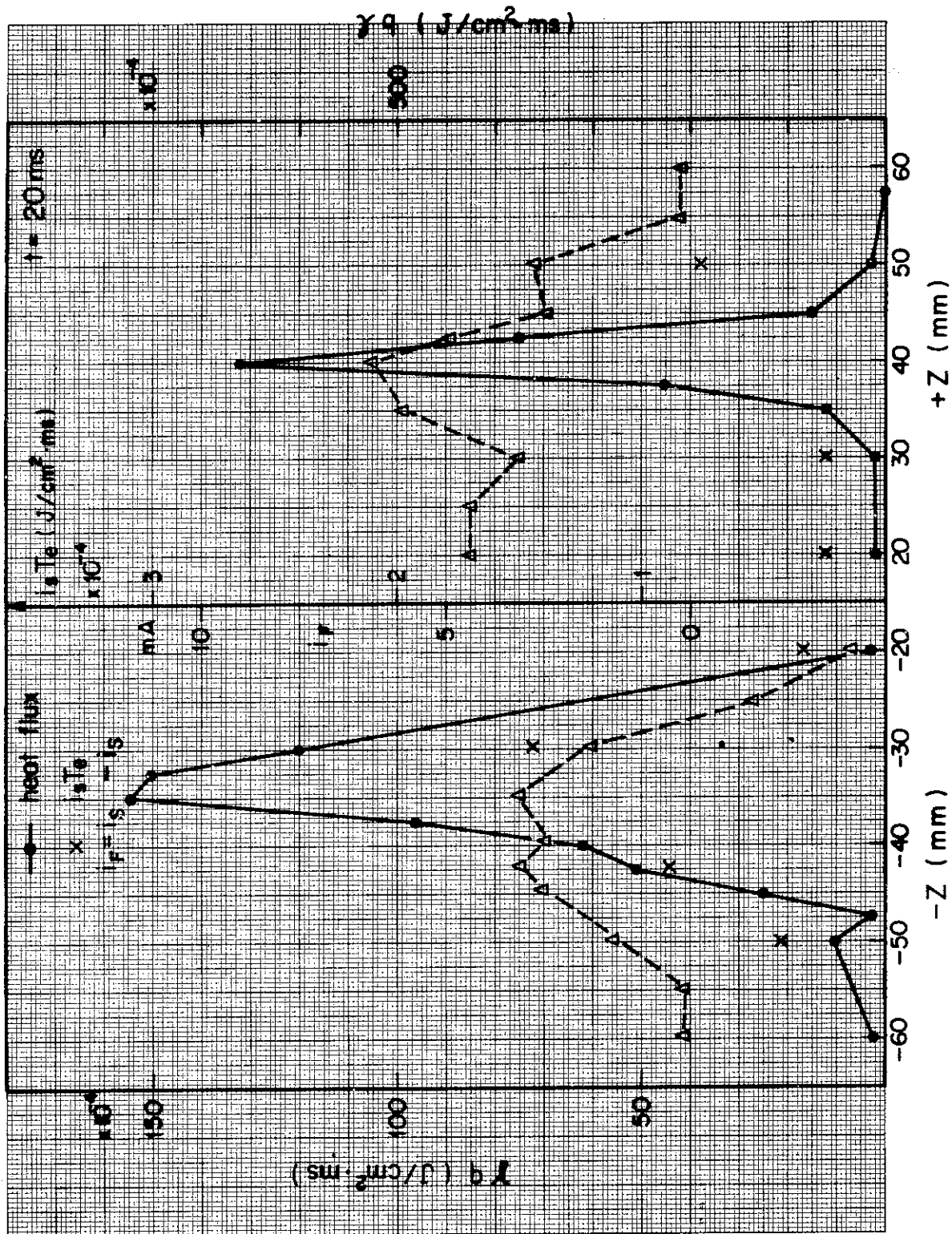


图 11-8



11-9

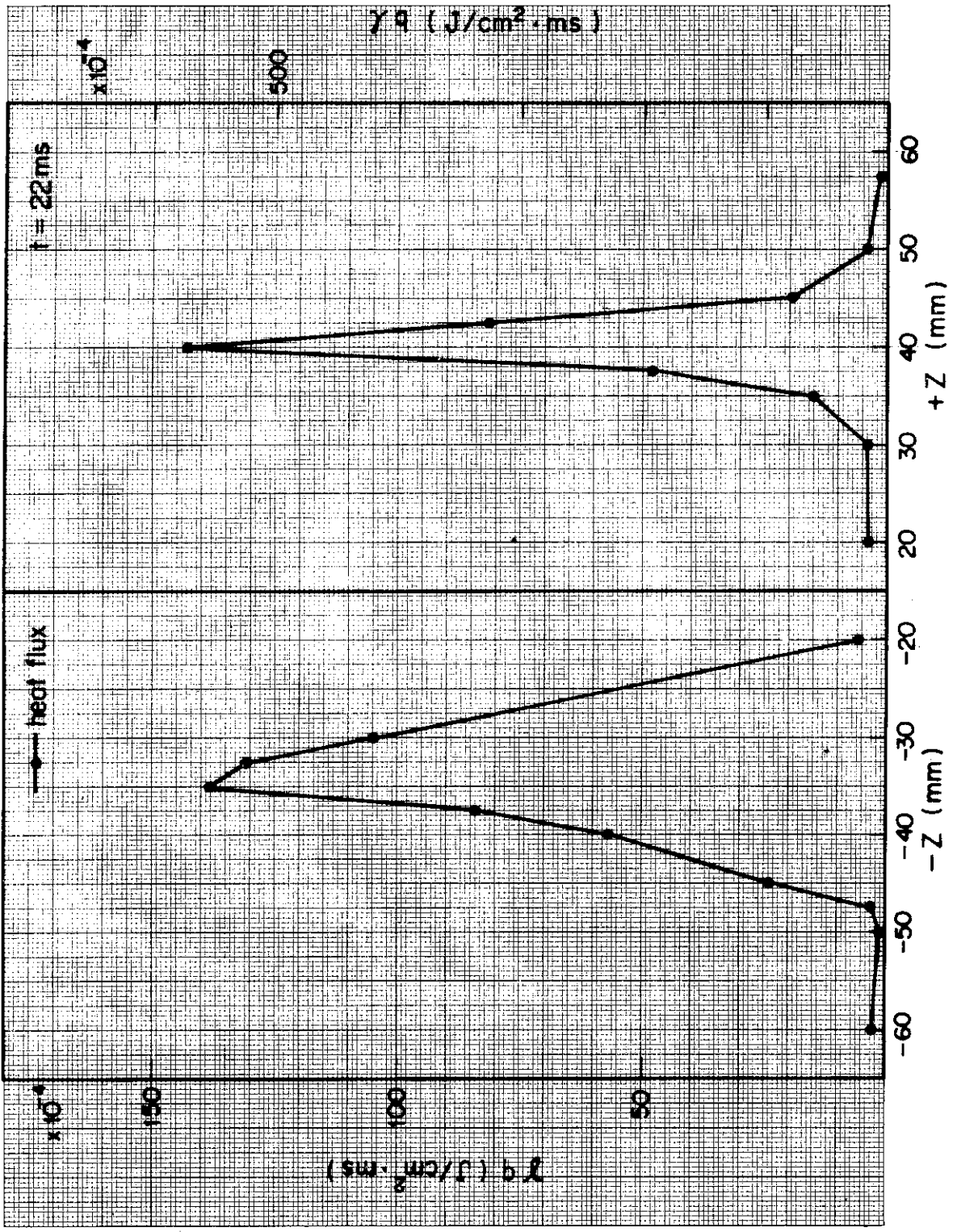


図 11-10



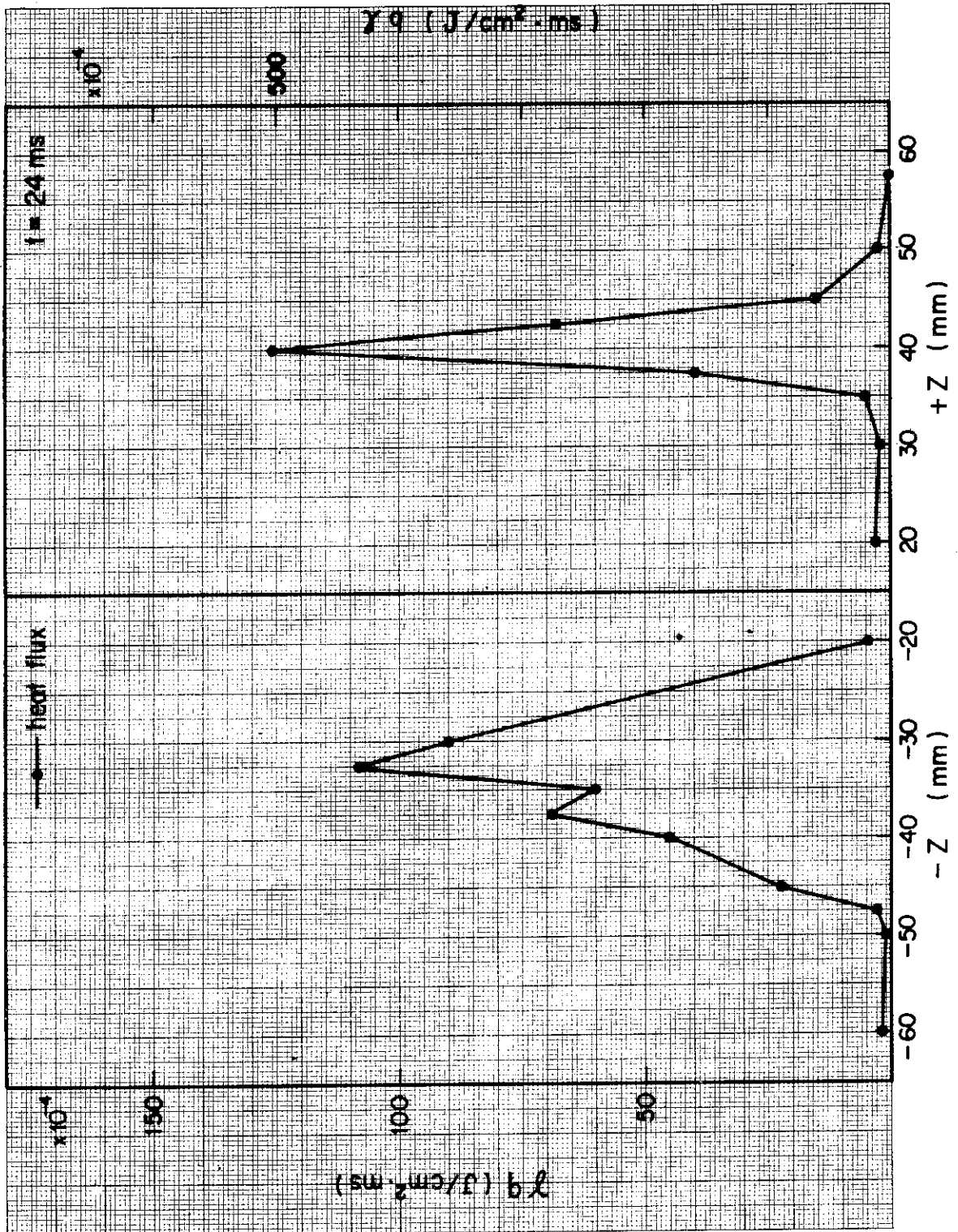


図 11 - 11

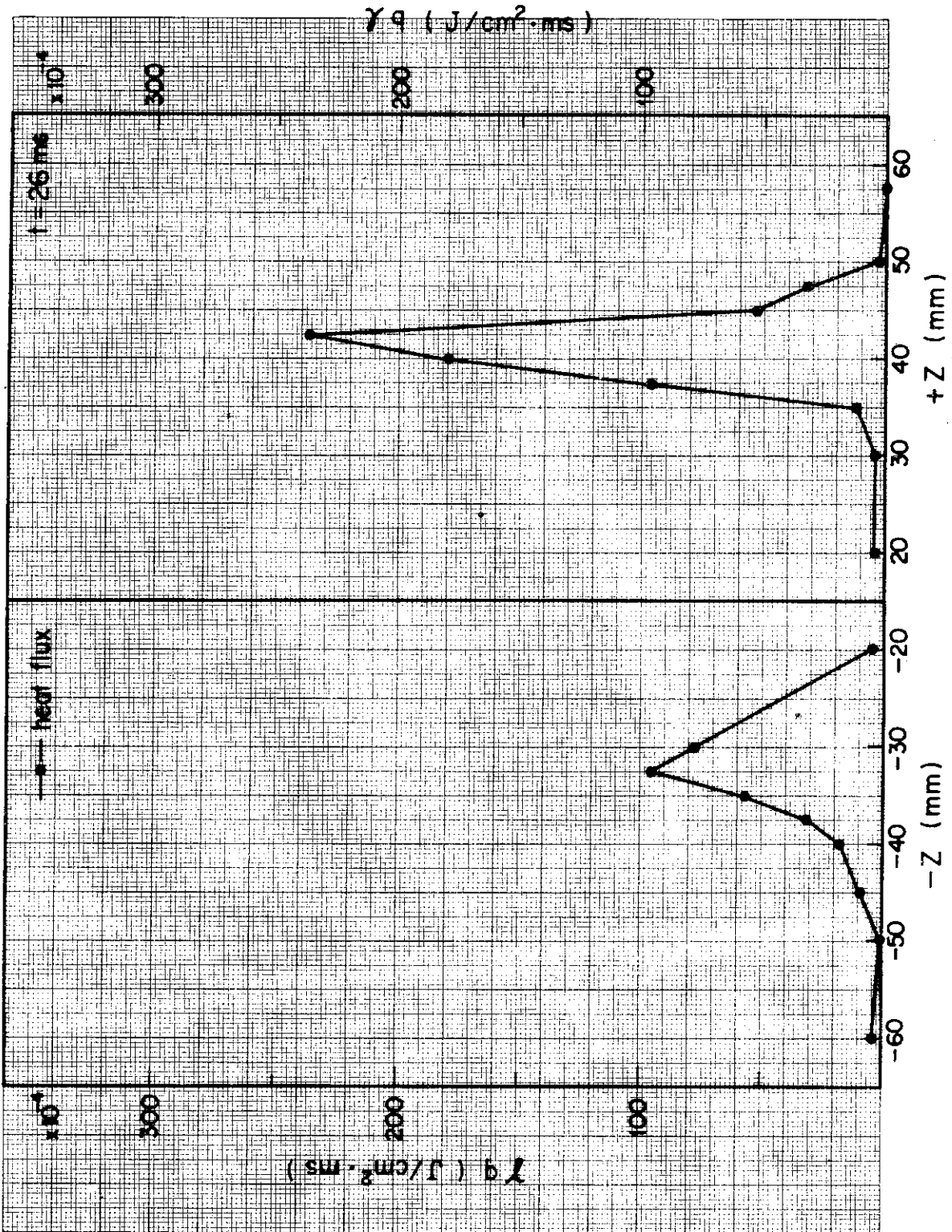


図 11-12

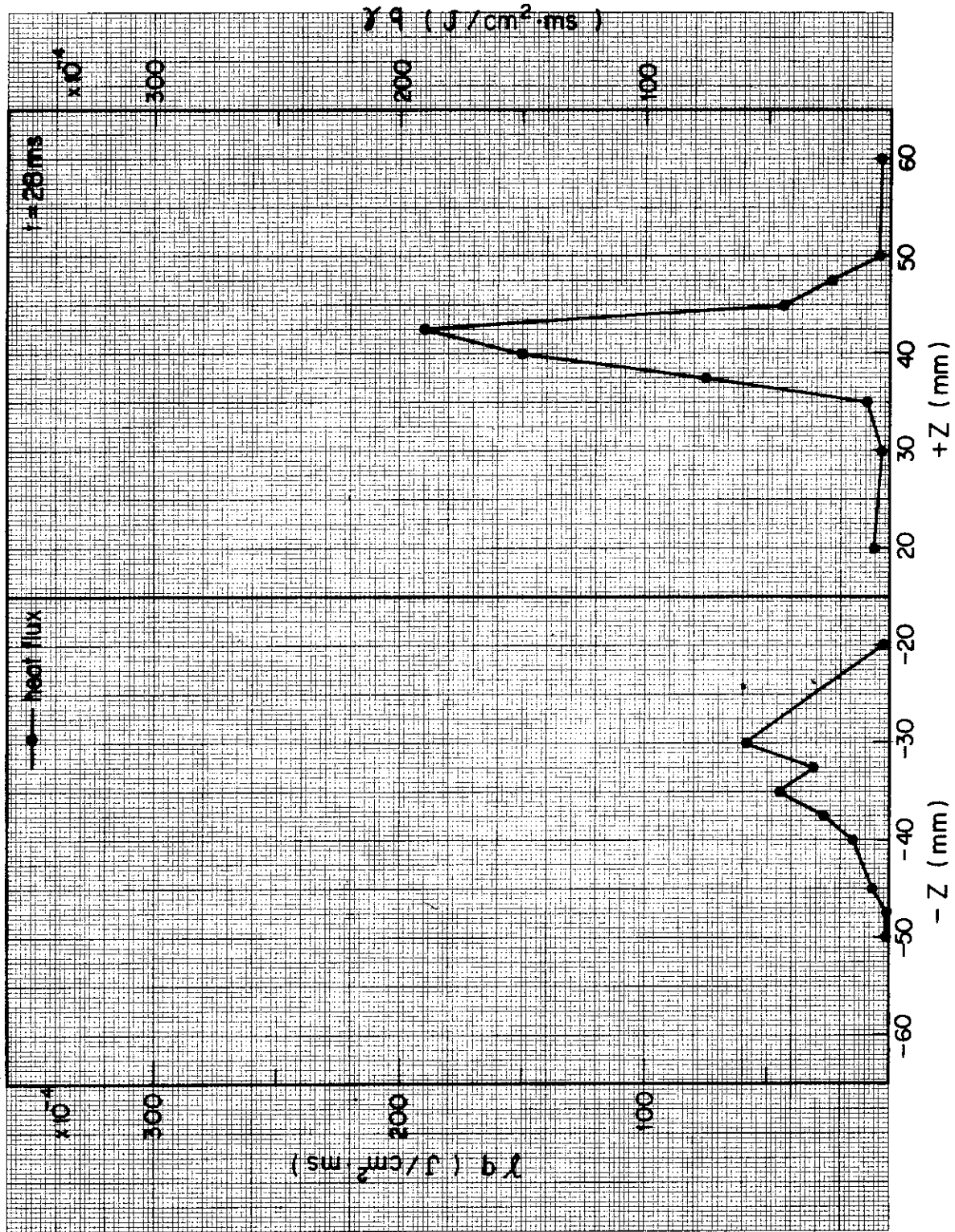
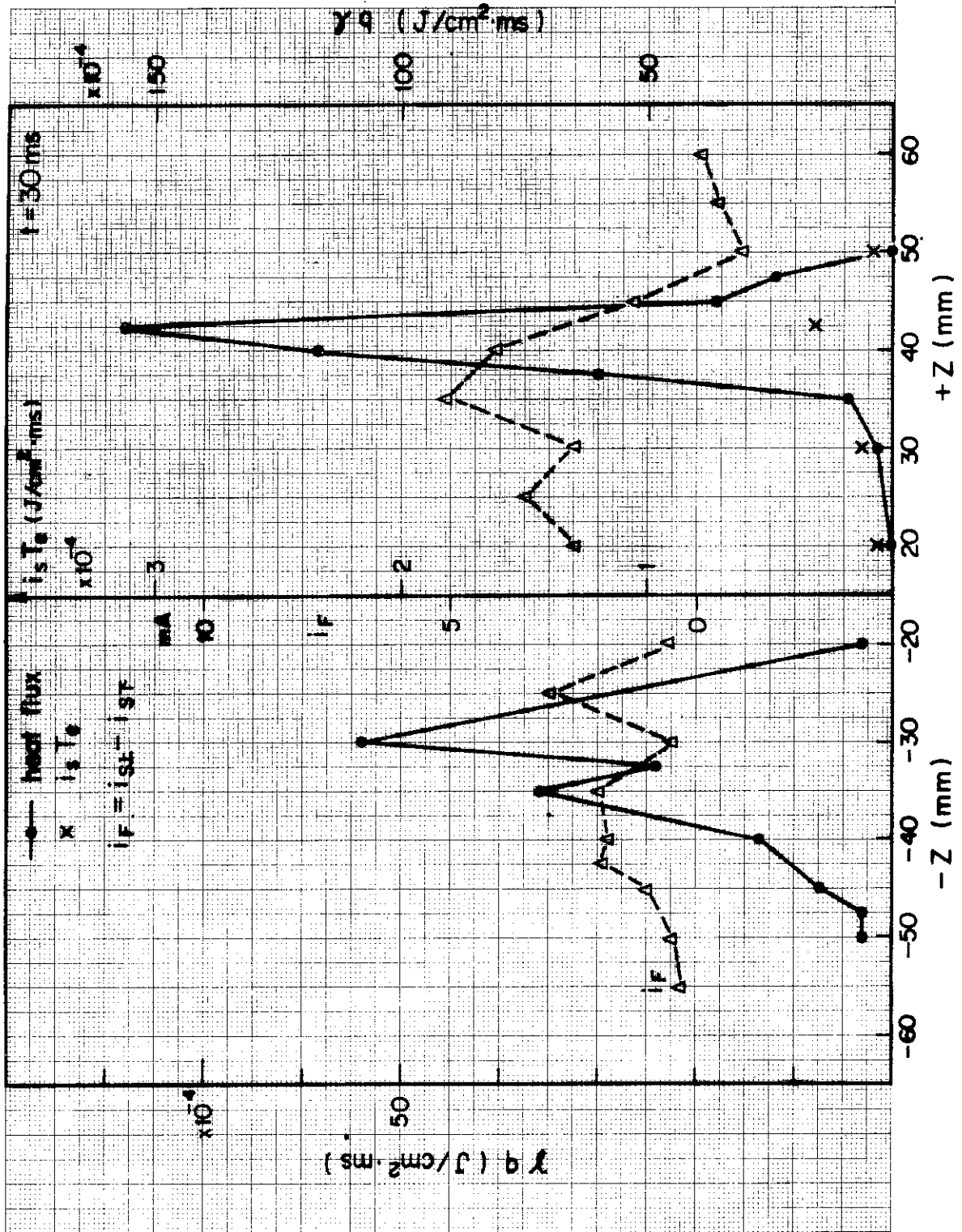


Fig. 11-13



⊠ 11 - 14

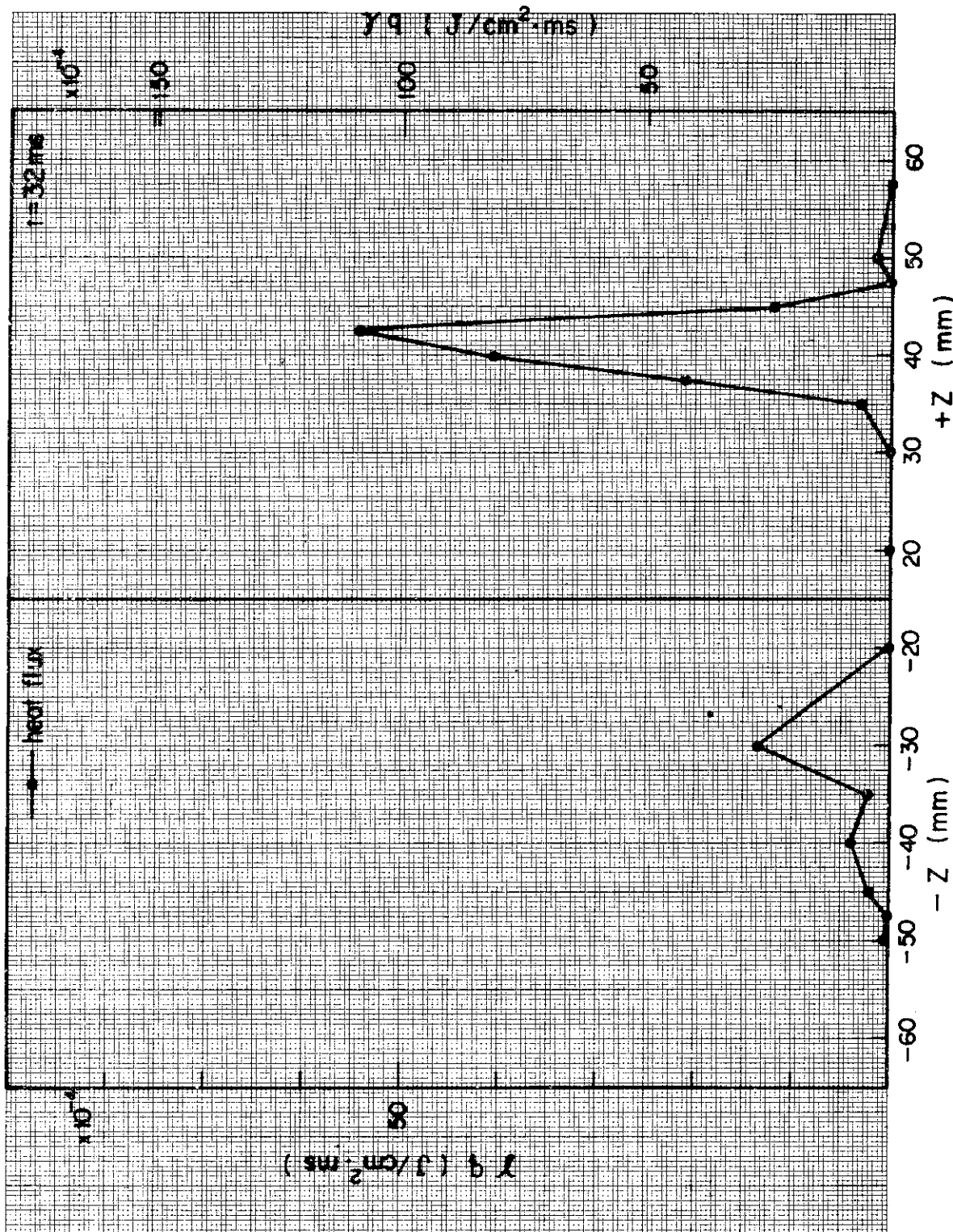


図 11-15

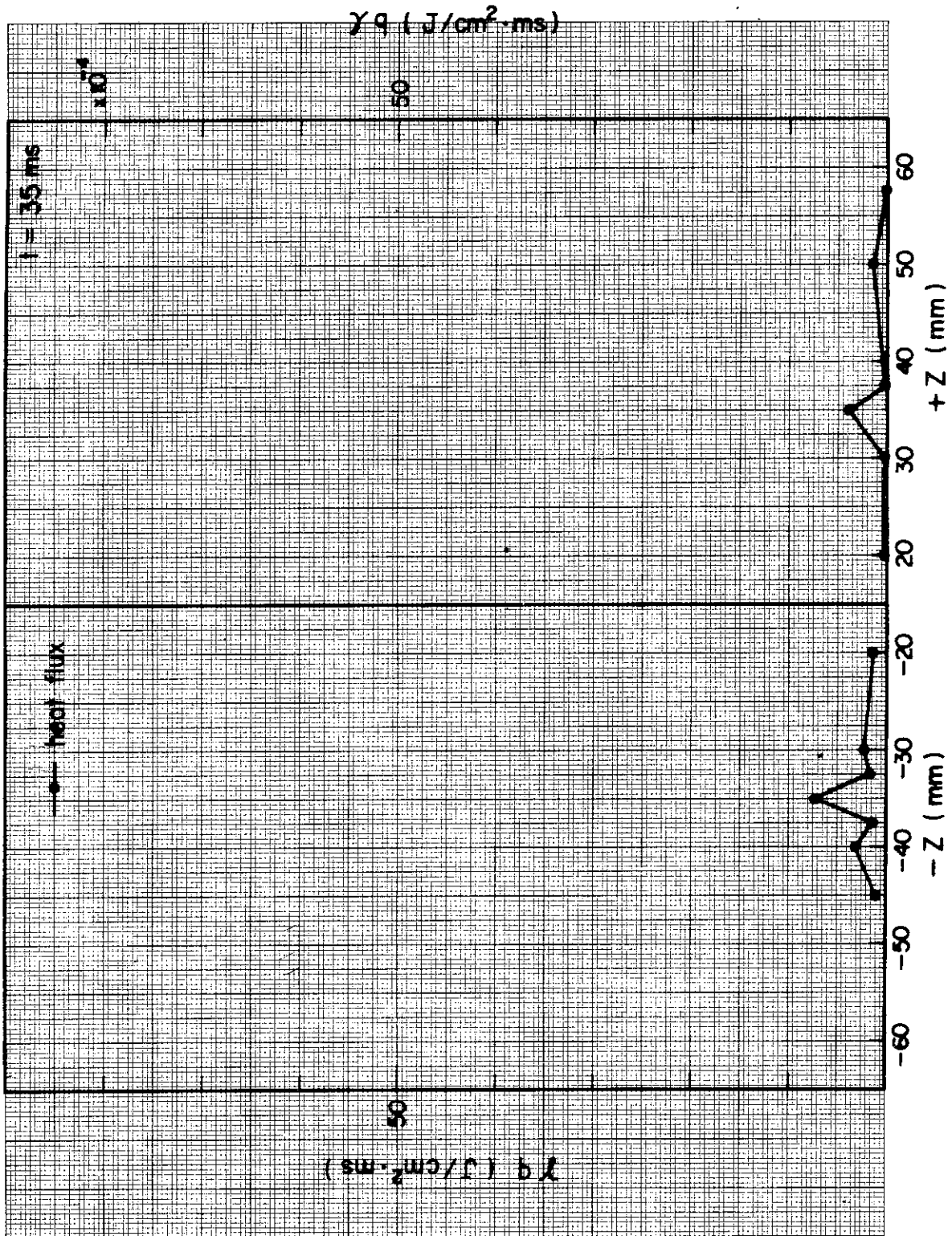


図 11 - 16