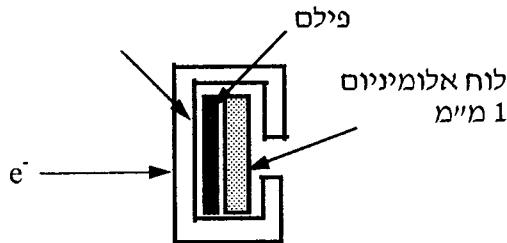


24/7/97

F: 1384

אפיון תותח אלקטרוניים

מ. קנטר, ז. קטריבס



1. מדידת צורת האלומה בעזרת

(X rays) Bremsstrahlung

1.1 שיטה

האלומה פוגעת ברדיד האלומיניום, נבלעת ויוצרת קרינת X שנבלעת בפילם כאשר טווח האלקטרוניים קטן מעובי הרדיד וטווח קרינת ה-X -

גדול. לוח האלומיניום העבה מחזיר חלק מקרינת ה-X לפילם. התחום הרצוי לצפיפות השחרת הפילם הוא 2-4. כאשר אינטגרל השטף יחסי ל- $\log$ ההשחרה.

הטווח של קרינת β באלומיניום נתון ע"י:

$$R_{(gr/cm^2)} = 0.407 E_{(MeV)}^{1.38} = 0.407 \cdot 0.05^{1.38} = 6.5 \cdot 10^{-3} gr/cm^2 = 6.5 \cdot 10^{-3} / 2.7 cm = 0.024 mm$$

הטווח של קרינת X באנרגיה של 50 keV באלומיניום הוא כ-7 mm כך שאיננה נבלעת כמעט ברדיד. בשיטה זו צריך להזהר לא להגדיל מעבר ל- $35^\circ C$ את טמפרטורת הפילם. נניח אלומה בקוטר 30 mm ובעובי 0.1 mm אלומיניום תהיה המסה

$$M_{Al} = \frac{\pi \cdot 3^2}{4} \cdot 0.01 \cdot 2.7 = 0.19 gr$$

ועליית הטמפרטורה לפולס של 1A, 50kV ו- $10 \mu s$ תהיה

$$\Delta T = \frac{E}{mc} = \frac{50 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-5}}{0.19 \cdot 0.22 \cdot 4.2} = 3^\circ C$$

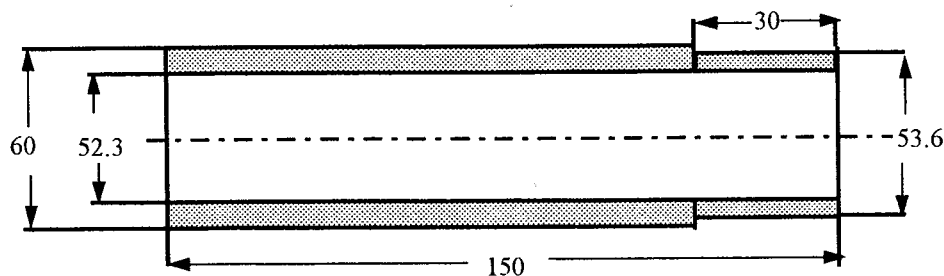
צריך לכן להמתין מספיק זמן בין הפולסים כדי שהחום יספיק להתפזר על כל הרדיד.

1.2 מדידות

המדידות נעשו בשני מקומות:

א. במקום של ה-peper pot דהיינו 95 mm מהציאה של הצינור הדיפרנציאלי (שקוטרו הפנימי 60°) מידות הפילם $70 \times 70 mm^2$.

ב. בכניסה לצינור הדיפרנציאלי. הפילם הורכב על מבנה עגול מאוקולון (okolone) שהורכב בלחץ על צינור שמידתו החיצונית מותאמת למידה הפנימית של הצינור הדיפרנציאלי.

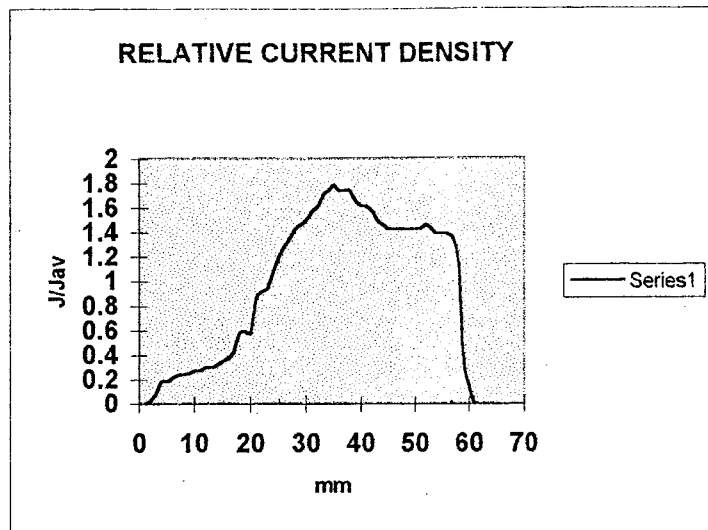


1

בקטע הצר של הצינור ניתן להרכיב Pearson. קוטר הפילס כ - 56 mm. על מנת לציין את מיקום הפילס חיברנו שבב עופרת במיקום ידוע.

1.3 תוצאות

א. מדידה עם scraper (50 mm) ללא הפעלה של סלילי מיקוד והטייה במיקום א. האלומה איננה הומוגנית וקוטר החיצוני נראה במדויק 56 mm. מדידה זו היא תוצאה של 10 פולסים של 1.2A כלומר סה"כ $Q=120A \cdot \mu s$. הצפיפות היחסית של הפילס נמדדה בדנזיטומטר והתוצאה של צפיפות הזרם היחסית נתונה בציור מס' 1. זווית הפיזור

$$\alpha = \text{tg}^{-1} \frac{56-50}{95} = 3.6^\circ$$


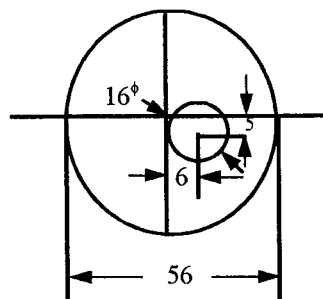
ציור מס' 1 - צפיפות זרם יחסית לאורך ציר Y (X = 0)

ב. מדידה ללא scraper כמו בסעיף א.

קוטר האלומה 68 mm.

$$\alpha = \text{tg}^{-1} \frac{68-60}{95} = 4.8^\circ$$

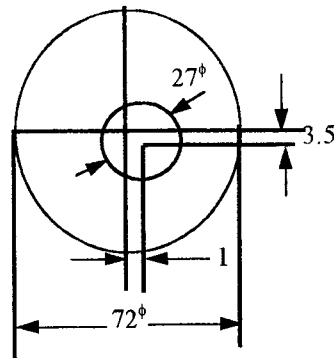
ג. מדידה במיקום ב ללא זרם בסלילי המיקוד סה"כ 10 פולסים של $Q=81 A \cdot \mu s - 0.8A$ נראה כי קיים ריכוז של האלומה בכתם חלק ניכר מהאלומה מפוזר על כל השטח.



ד. מדידה כמו בסעיף ב' עם סלילי מיקוד והטייה

Lens 1 = 7.35A lens 2 = 3.75A
 $I_H = 0.6A$ $I_V = 0.1A$ $I_{Hel} = 0.8A$

7 פולסים של $0.96A$ סה"כ $Q=67 A\mu s$
 הכתם במרכז חזק ונראה שרוב הזרם
 מתרכז בו



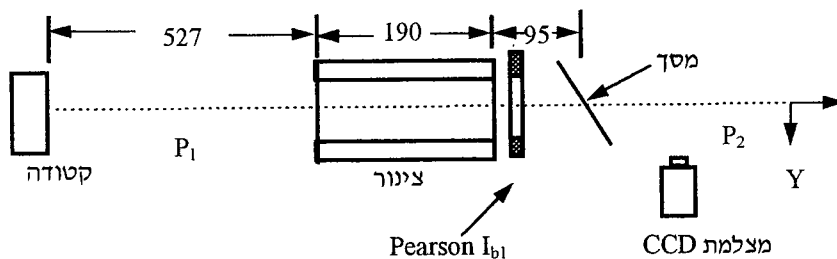
$$\alpha = 7.2^\circ$$

1.4 מסקנות

- הצינור והקטודה אינם ממורכזים (או מכוונים).
- צפיפות הזרם איננה אחידה (שרטוט 1).
- בקצה הצינור (60°) אלומה מתבדרת ללא סלילי מיקוד ב- 4.8° ועם סלילי מיקוד ב- 7.2° בקוטר 50° (עם scraper) הזווית היא 3.6° .
- בתנאים האופטימליים שקבע מיכאל עבור סלילי המיקוד וההטיה האלומה מרוכזת בכתם בקוטר $27mm$ שמרכזו $x = -3.5mm$, $y = 1mm$.

2. מדידות צורת האלומה בעזרת מסך

2.1 שיטה



המסך נמצא בזווית של 45° ביחס לציר הצינור (או ביחס לציר Z) כך שבכוון Y קיימת הגדלה פי 1.41 ובכוון X ההגדלה היא -1.
 שיטה זו מהירה מאד לעומת שיטת ה- x rays אולם לא ניתן לקבל בעזרתה תוצאות כמותיות. פרט לצורת האלומה נמדד הזרם ביציאה מהצינור בעזרת Pearson (I_{b1}) שהורכב על הצינור הפנימי (52 מ"מ). P_1 ו- P_2 הם איזורי מדידת הלחץ.

2.2 מדידות

על המסך נמדד גודל הכתם ומיקומו כתלות בזרם האלומה, מתח קתודה-אנודה, מתח קתודה-שריג, והזרמים בסלילי המיקוד, סלילי ההטיה וסליל Helmholtz

2.3 תוצאות

התוצאות התקבלו בתנאים הבאים:

$$I_f = 14.1A (9.2V) \quad V_{CA} = -43kV \quad V_{gc} = -2kV \quad V_{gc} = 14kV$$

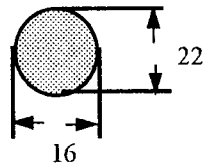
$$P_1 = 1.7 \cdot 10^{-7} \text{ torr} \quad P_2 = 4 \cdot 10^{-7} \text{ torr}$$

תנאים אופטימליים מבחינת גודל הכתם התקבלו כאשר:

$$I_{L1} = 7.35A \quad I_{L2} = 3.8A \quad I_{V1} = 0 \quad I_{H1} = 0 \quad H_{Hel} = 0.45A$$

$I_c = 1344 \text{ ma}$ - זרם הקתודה

$I_{b1} = 1180 \text{ ma}$ - זרם ביציאה מהצינור
צורת הכתם לאחר התיקון



הזרמים: I_{H1} , I_{V1} ו- I_{Hel} משפיעים גם על מיקום האלומה וגם על גודלה.

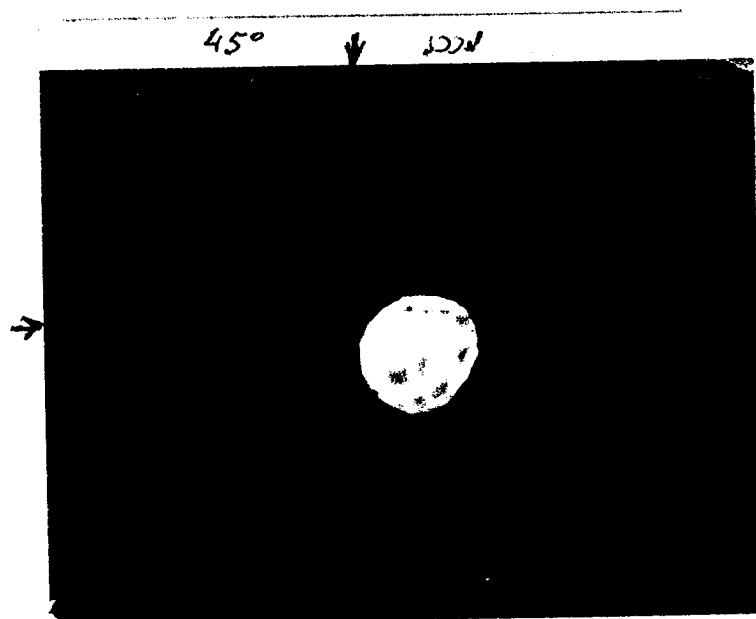
I_{V1} - כאשר המפסק למעלה, הגדלת הזרם מרימה את האלומה ל- $+X$ בערך 3mm/A .

I_H - מפסק למעלה, בהגדלת הזרם האלומה זזה ל- $+Y$ בערך 5mm/A .

I_{Hel} - משפיע על מיקום וצורה עדיין לא ברור כמותית.

V_c - משפיע, אולם כדי להגיע לאופטימום, השנויים ב- I_{L1} ו- I_{L2} נמצאים בתחום $\pm 0.2A$ כאשר עולים מ- 43kV ל- 46kV .

תאורת הקתודה איננה ממורכזת ביחס לצינור.
התמונה מייצגת נמצאת בציור מס' 2.



ציור מס' 2

2.4 מסקנות

- קוטר התמונה בתנאים אופטימליים $16 \times 22 \text{ mm}^2$.
- הטרנסמיסיה מהקתודה עד ליציאה מהצינור כ- 88% .
- עם שינוי הפרמטרים של האלומה משתנה צורת הכתם ומיקומו.
- הקתודה איננה ממורכזת עם ציר הצינור.

3. איפיון מערכת בקרת זרם הקתודה

זרם האמיסיה של הקתודה מוגבל ע"י הטמפרטורה של הקתודה והמטען המרחבי.

3.1 זרם האמיסיה של הקתודה בהגבלת טמפרטורה

האמיסות הרוויה של הקתודה נתונה בקירוב ע"י נוסחת Richardson-Dushman.

$$J = A_0 T^2 e^{-\Phi/kT}$$

J - צפיפות הזרם ברוויה

A_0 - קבוע Dushman

Φ - פונקציה העבודה של הקתודה

k - קבוע Boltzman

$$A_0 = 120 \text{ A/cm}^2 \text{ K}^2$$

בדור"כ קתודות מורכבות מחומר בסיסי מתכתי שעליו סופחים תערובת של חומרים בשכבה דקה. בשיטה זו קטנה פונקציית העבודה אבל יחד עם זאת קטן גם הקבוע A_0 . הקתודה שלנו היא מסוג Dispenser Cathodes שבה סופחים BaO על טונסטן חריץ, ולכן קיים מאגר המספק חומר למשטח החיצוני של הקתודה.

בקתודה שלנו $\Phi = 1.7 \text{ eV}$, $A = 2.4 \text{ A/cm}^2 \text{ K}^2$ ולכן ברוויה

$$J = 2.4 \cdot 1400^2 \cdot e^{-\frac{1.7}{8.61 \cdot 10^{-5} \cdot 1400}}$$

$$J = 3.5 \text{ A/cm}^2$$

הקתודה שטחה 1.77 cm^2 ולכן בקתודה חדשה יש לצפות לזרם רוויה של כ -6A. המדידות נעשו בקתודה ישנה שנחשפה לאוויר. תנאי המדידה:

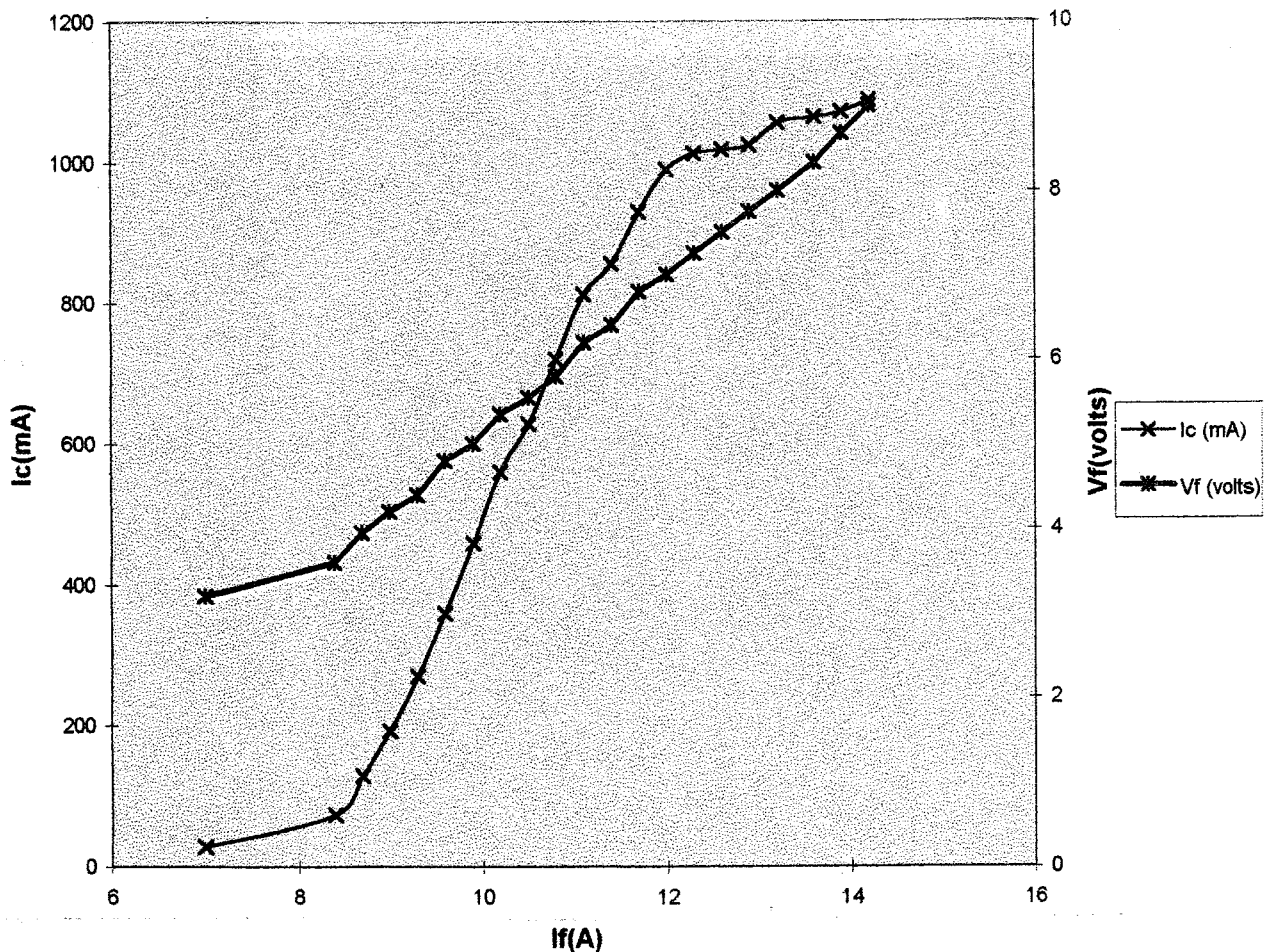
$$P_1 = 2 \cdot 10^{-8} \text{ torr}$$

$$P_2 = 7 \cdot 10^{-7} \text{ torr}$$

$$V_{gc-} = -6 \text{ kV}$$

$$V_{gc+} = 12 \text{ kV}$$

תוצאות המדידה נתונות בציור מס' 3.



ציור מס' 3 - Cathode current versus filament current

5

מתוך הגרף ניתן לראות שבזרם חימום של 14A האמיסיה מוגבלת ע"י טמפרטורת הקתודה.

3.2 זרם אמיסיה המוגבל ע"י מטען מרחבי

פתרון אנליטי ניתן למצוא עבור זרם המוגבל ע"י מטען מרחבי עבור הגיאומטריה של Pierce. אם מניחים זרימת אלקטרונים למינרית וצפיפות זרם זהה בחתך האלומה, הפתרון באלומה נתון ע"י משוואת פואסון ומחוץ לאלומה ע"י משוואת לפלס כאשר בגבול צריך להתקיים

$$\frac{\partial V}{\partial r} = 0, \quad \nabla^2 V = 0, \quad V = f(z), \quad \nabla^2 V = -\rho/\epsilon$$

z - נמדד מהקתודה בכיוון הציר

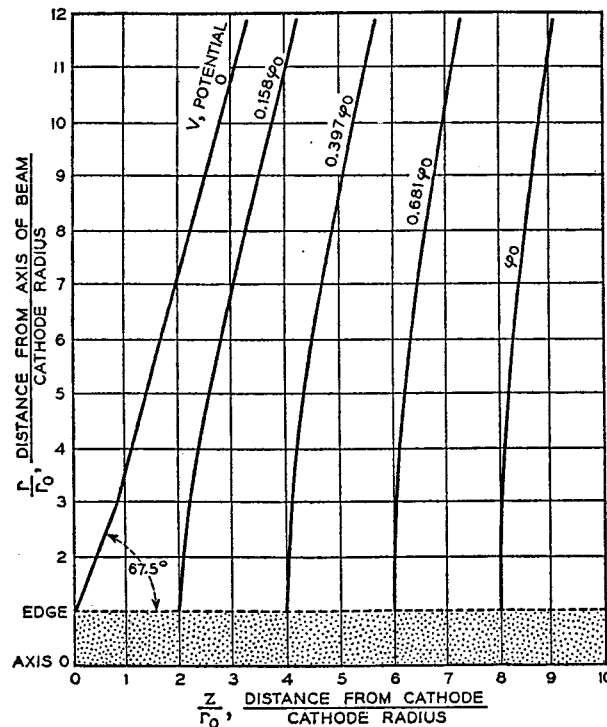
r - ניצב לציר האלומה

$f(z)$ - היא פונקציה המתאימה לפתרון המשוואות.

ההנחה היא שאם צורות שתי האלקטרודות (קתודה-אנודה) מתאימות לפתרון, חלוקת הפוטנציאל בכיוון Z תתאים את עצמה לפתרון. כמו כן מניחים שאפקטים מגנטיים זניחים.

באופן כללי הפתרון יהיה בצורה הבאה $j = c \frac{V^{\frac{3}{2}}}{Z^2}$ כאשר c הוא קבוע ושווה בקירוב ל- $2.3 \cdot 10^{-6}$

ביחידות MKS. פתרון של צורת האלקטרודות עבור אלומה בעלת חתך מעגלי קבוע נתון בציור מס' 4. הצורה הגיאומטרית של מבנה הקתודה- שריג במערכת שלנו איננה בגיאומטריית Pierce מדויקת ולכן הפתרון יתקבל בעזרת תוכנת Hermansfeld.



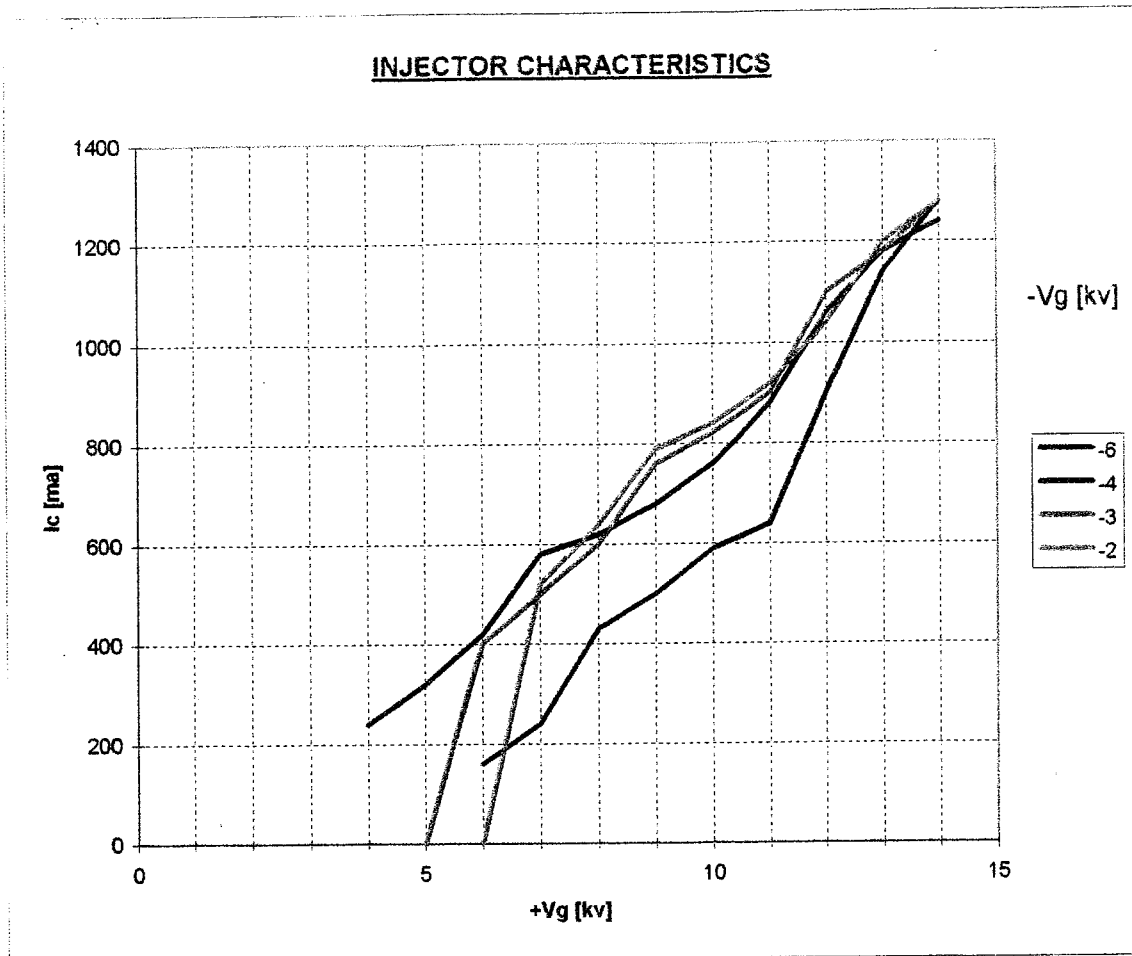
ציור מס' 4 - צורת האלקטרודות עבור זרימת אלקטרונים באלומה בעלת חתך מעגלי קבוע

כך שניתן לסכם שזרם האלומה (I_c) ניתן לתאור ע"י הפרמטרים הבאים:

$$I_c = f(T_c, V_{gc}, V_{cA}, G)$$

כאשר: T_c - טמפרטורת הקתודה, V_{gc} - מתח שריג-קתודה,
 V_{cA} - מתח קתודה-אנודה, G - הגיאומטריה של המערכת.

בניסויים שערכנו בדקנו את השפעת V_{gc} ו- V_{cA} . זרם החימום של הקתודה נקבע ל- 14A. המתח השלילי של השריג נבדק בתחום -6kV - 0, והמתח החיובי של השריג נבדק בתחום 14kV - 4. כאשר הממתח השלילי של השריג קטן מ- 0.6kV בתחום מתח אנודה 46kV - 43 אין זרם קתודה. תוצאות הניסויים נתונות בציור מס' 5.



ציור מס' 5 - אפיין מערכת הבקרה שריג - קתודה

3.3 מסקנות

- בתחום הלינארי של חימום הקתודה האמיסיה נתונה ע"י $I_c (ma) = 238 I_f(A) - 1952$.
- האמיסיה ברוויה קטנה מהתיאורטית במידה ניכרת כנראה בגלל התישנות וזיהום הקתודה.
- במתח שריג - קתודה שלילי הקטן מ- 0.6kV אין זרימת אלקטרונים ללא תלות במתח האנודה.
- ההתנגדות הדינמית של שריג - קתודה שווה בקירוב ל- $8.75k\Omega$.
- למתח קתודה אנודה בתחום 3kV השפעה קטנה על גודל זרם הקתודה.