

Institut Fizyki UMCS  
Zakład Fizyki Jądrowej  
Kierownik: doc. dr hab. Tomasz Goworek

Longin GŁADYSZEWSKI

**Badanie termicznych zależności parametrów funkcji statystycznych  
opisujących szumy termoemisji jonowej potasu**

Probability and Spectral Density Function Characterizing  
the Noise of Thermoemission of Potassium Ions  
from Polycrystalline Tungsten

Исследование статистических функций шумов термоэмиссии  
ионов калия

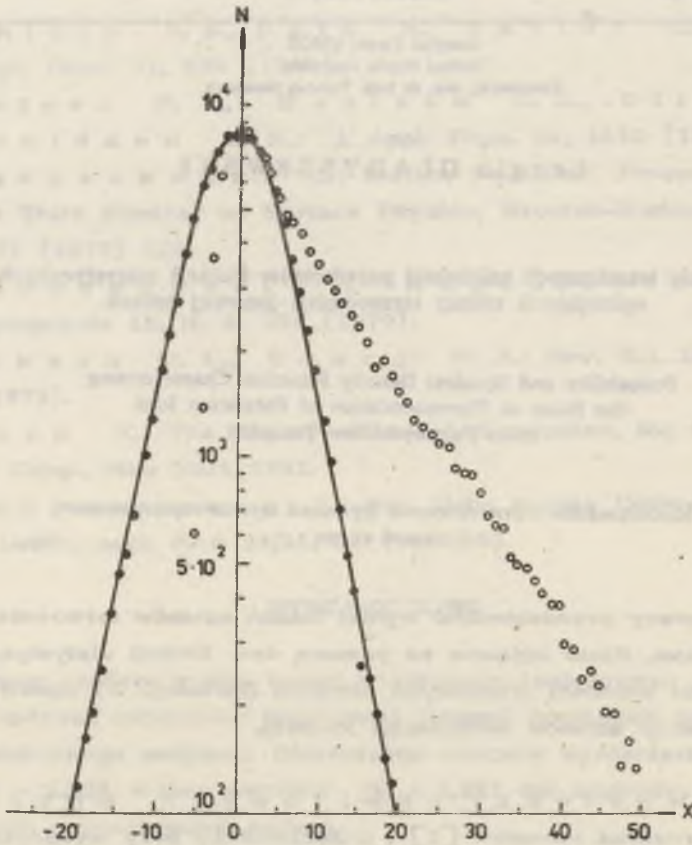
W pracy przedstawiono wyniki badań szumów termoemisji jonowej potasu. Szum opisano za pomocą dwu funkcji statystycznych: 1) rozkładu wartości chwilowych amplitud fluktuacji; 2) spektralnej gęstości mocy szumów termoemisji jonowej.

1. Wartości chwilowych amplitud stanowiły rozkład normalny [1], przechodzący przy wyższych temperaturach w rozkład emisji domieszek [2] postaci:  $e^{-Hx}$  ( $x$  - numer kanału analizatora lub amplituda impulsu).

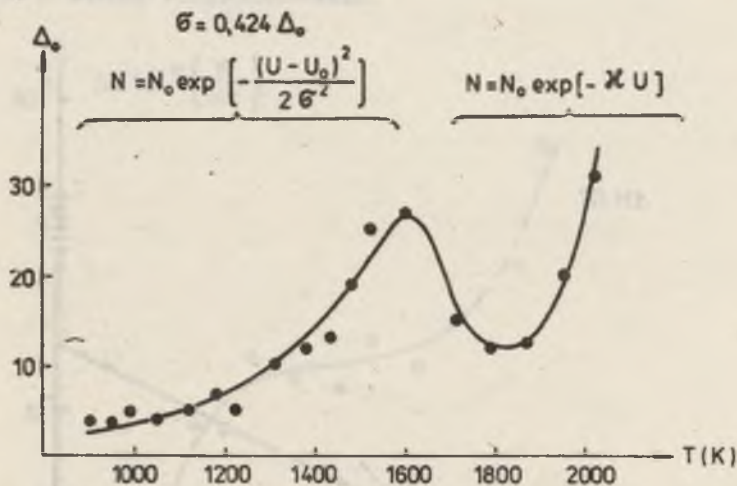
Zależności termiczne połówkowej szerokości rozkładu normalnego przedstawione są na ryc. 2.

Wyniki pomiarów wykreślone w układzie współrzędnych  $\log(\Delta_c)^2$  jako funkcja odwrotności temperatury układały się wzdłuż linii prostych o nachyleniu równym  $0,32 \pm 0,02$  eV. Ostatnią wielkość można traktować jako swoistą "energię aktywacji procesów generujących szumy":

$$\Delta_0^2 = A \exp\left(-\frac{E}{kT}\right), \quad \Delta_0 = 2,358 \delta \quad (1)$$



Ryc. 1. Rozkład chwilowych wartości amplitud szumu termoisji jonowej z powierzchni emitera (●) oraz rozkład niegaussowski amplitud (○) impulsowej termoisji domieszek potasu, X - numer kanału analizatora amplitud, N - liczba zebranych impulsów [2]



Ryc. 2. Zależność szerokości połówkowej rozkładu amplitud od temperatury. Wzory zapisane przy poszczególnych częściach opisują rozkłady amplitudowe. Rozkład niegaussowski pojawia się przy  $T \gg 1600$  K. Jednostką  $\Delta_0$  jest liczba kanałów analizatora. Przy  $T = 1500$  K,  $\Delta_0 = 20$ , co odpowiada fluktuacji rzędu  $10^{-10}$  A

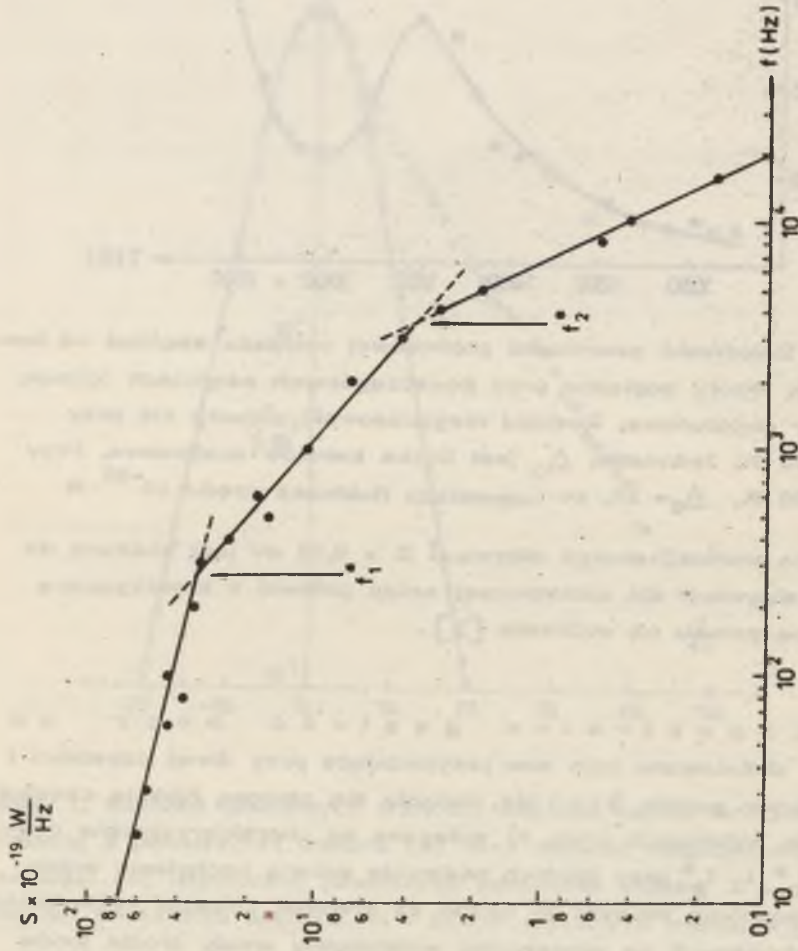
Uzyskana wartość energii aktywacji  $E = 0,32$  eV jest zbliżona do energii aktywacji dla elektronowej emisji połowej z towarzyszącą adsorpcją potasu na wolframie [3].

2. Spektralna gęstość mocy szumów, definiowana jako moc przypadająca przy danej częstotliwości  $f$  na jednostkowe pasmo  $\Delta f = 1$  Hz, okazała się złożoną funkcją częstotliwości.

Na wykresach (ryc. 3) widoczne są charakterystyczne częstotliwości  $f_1^*$  i  $f_2^*$ , przy których następuje zmiana nachylenia widma. Prawdopodobnie związać je można ze średnimi czasami życia atomów zaadsorbowanych na powierzchni wolframowej anody źródła jonów (aparatura, metody pomiarów i warunki eksperymentalne opisane są szczegółowo w publikacji autora [1]).

Podobne zależności uzyskiwano dla elektronowej emisji połowej [4].

Moc szumów rejestrowanych na poszczególnych częstotliwościach jest rosnącą funkcją temperatury (ryc. 4).

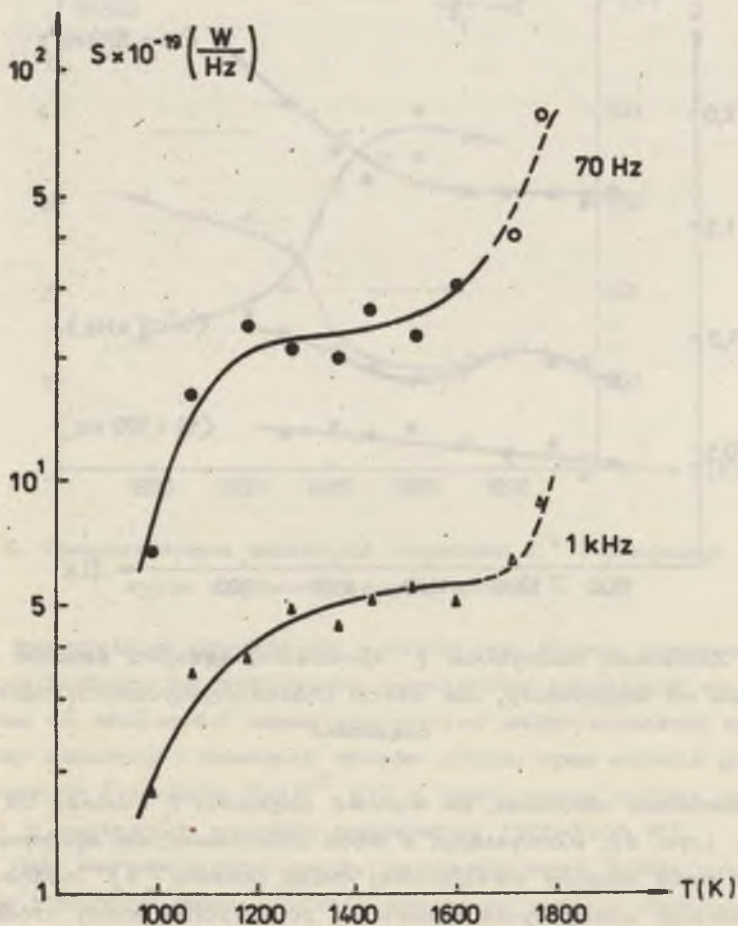


Ryc. 3. Spektralna gęstość mocy szumu termoemisji jonowej potasu przy temperaturze

$T = 1520, \text{ K}$

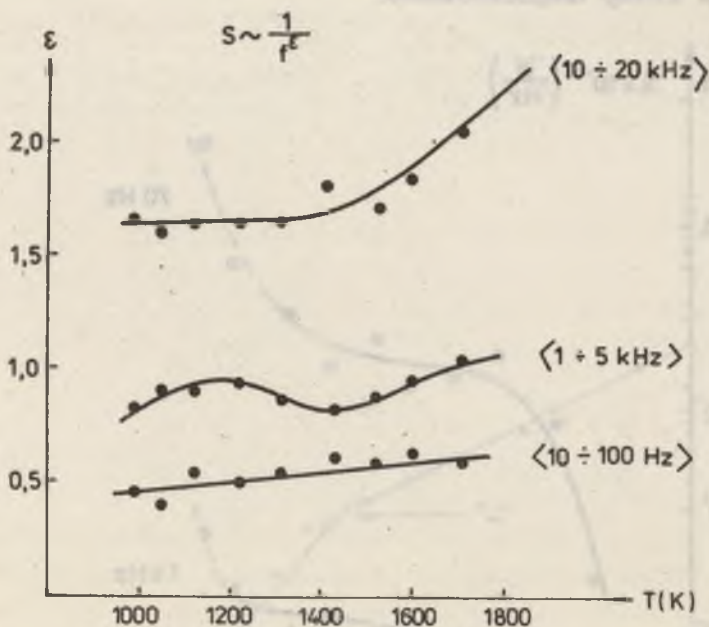


Linia przerywaną zaznaczono przebieg mocy szumów „przechodzących” w szumy niegaussowskie.



Ryc. 4. Zależność spektralnej gęstości mocy szumów termoisjacji jonowej od temperatury wolframowego emitera jonów

Z przeprowadzonych badań wynika, że nachylenie poszczególnych części widma ( $\mathcal{E}$  na ryc. 5) nie zmienia się zbytnio wraz z temperaturą, jest ono charakterystyczne raczej dla poszczególnych fragmentów widma.

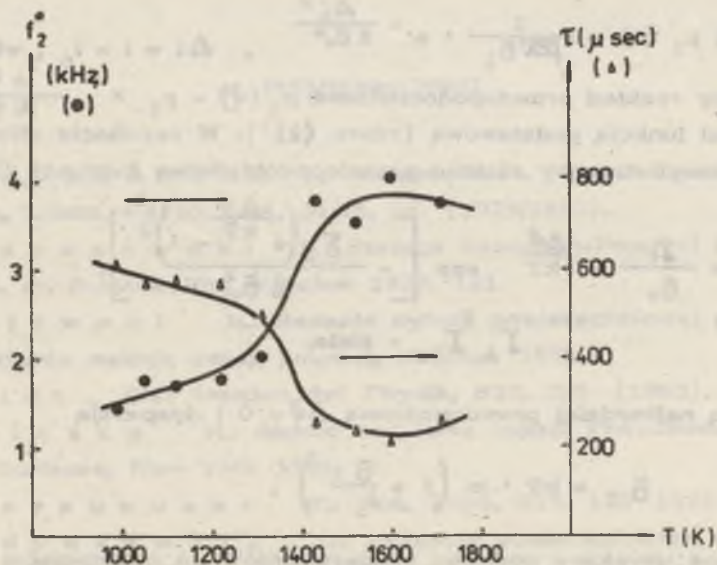


Ryc. 5. Zależność nachylenia  $\varepsilon$  spektralnej gęstości szumów emisji potasu od temperatury, dla trzech charakterystycznych zakresów częstości

Zauważono natomiast, że wartość częstości  $f_1$  zależy od temperatury (ryc. 6). Korzystając z teorii stosowanej dla spektralnej gęstości mocy szumów elektronowej emisji polowej [3] można wyliczyć średnie czasy życia atomów na powierzchni anody źródła jonów:  $f_1 = \frac{1}{2\pi\tau_1}$ . Istnienie kilku częstości charakterystycznych  $f_i^*$  wskazuje na wieloskładnikową adsorpcję wpływającą na warunki emisyjne panujące na powierzchni emitera jonów.

Otrzymane z pomiarów średnie czasy życia atomów wskazują, że za załamanie widma (ryc. 3) przy częstości  $f_2^*$  odpowiedzialne są zaadsorbowane atomy potasu (por. średnie  $\tau$  w pracy [5]).

Natomiast niższa częstość graniczna  $f_1^*$  najprawdopodobniej związana jest z silnie adsorbowanymi atomami tlenu (por. energię adsorpcji tlenu na wolfranie w pracy [6]).



Ryc. 6. Temperaturowa zależność częstości  $f_2^*$  i średniego czasu życia zaadsorbowanych atomów  $\tau$

Interpretacja uzyskanych wyników jest trudna, ponieważ procesy zachodzące na wolframowej powierzchni jonizującej są bardzo złożone: do złożoności samej powierzchni polikrystalicznej dochodzą procesy adsorpcji i desorpcji atomów potasu oraz molekuł gazów resztkowych (ciśnienie  $2 \times 10^{-7}$  Tr) z jednoczesną dyfuzją powierzchniową w warunkach wysokiej temperatury (900–2000 K).

Gdy na powierzchni anody termoemisyjnego źródła jonów następuje adsorpcja atomu obniżającego pracę wyjścia elektronu - następuje krótkotrwałe zmniejszenie natężenia prądu jonowego. Adsorpcja atomów tlenu powodująca lokalny wzrost pracy wyjścia prowadzi do chwilowego zwiększenia natężenia prądu jonowego. Stwierdzony gaussowski rozkład prawdopodobieństwa  $p_1(i)$  wielkości fluktuacji może rodzić pytanie: jak zatem fluktuuje praca wyjścia powierzchni emitującej jony, jeśli wiadomo, że natężenie prądu jonów dodatnich zależy od pracy wyjścia zgodnie z zależnością Saha-Langmuira [7]:

$$i^+ = a \exp\left(\frac{e\psi}{kT}\right), \quad a = A e^{-\frac{eV}{kT}} \quad (2)$$

Zagadnienie można rozwiązać stosując aparat matematyczny dotyczący badania funkcji wielkości fluktuujących [8].



Jeśli  $p_1(i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\bar{\sigma}_1} \cdot e^{-\frac{\Delta i^2}{2\bar{\sigma}_1^2}}$ ,  $\Delta i = i - i_0$ , wtedy poszukiwany rozkład prawdopodobieństwa  $p_2(\psi) = p_1 \times \frac{d\psi}{d\psi}$ , gdzie  $\psi$  jest funkcją podstawową (równ. (2)). W rezultacie otrzymuje się niesymetryczny rozkład prawdopodobieństwa fluktuacji  $\Delta\psi$ :

$$p_2(\psi) = \frac{\gamma_1}{\bar{\sigma}_1} e^{\frac{\Delta\psi}{kT}} \exp \left[ -\frac{\gamma_2 \left( e^{\frac{\Delta\psi}{kT}} - 1 \right)^2}{2\bar{\sigma}_1^2} \right],$$

$\gamma_1, \gamma_2$  - stałe.

z wartością najbardziej prawdopodobną  $\Delta\psi = 0$  i dyspersją

$$\bar{\sigma}_2 = kT \cdot \ln \left( 1 + \frac{\bar{\sigma}_1}{i_0} \right).$$

Typowe dane uzyskane podczas eksperymentów są następujące:  $i_0 = 10^{-8}$  A,  $\bar{\sigma}_1 = 10^{-10}$  A, a w temperaturze  $T = 1500$  K,  $kT = 0,14$  eV, stąd wielkość  $\bar{\sigma}_2$ , która reprezentuje "kontrastowość" powierzchni (ze względu na różnice pracy wyjścia z różnych miejsc powierzchni) wynosi:  $\bar{\sigma}_2 = 2 \cdot 10^{-3}$  eV. Z publikacji poświęconych zmianie pracy wyjścia elektronów spowodowanej adsorpcją atomów wynika, że niejednorodność powierzchni może sięgać wartości kilku elektronowoltów w przypadku zlokalizowanej adsorpcji np. tlenu i atomów metali alkalicznych na powierzchni wolframu. W opisywanym przypadku mamy do czynienia z adsorpcją mobilną z powodu wysokich temperatur emitera jonów. Intensywna dyfuzja powierzchniowa zaadsorbowanych atomów sprawia, że praca wyjścia z różnych miejsc emitera ulega uśrednieniu.

Przedstawione wyniki pomiarów zostały ostatnio uzyskane przez autora na drodze badania rozkładów chwilowych wartości amplitud i spektralnej gęstości mocy szumów termoemisji jonowej potasu oraz badania zależności parametrów tych dwu funkcji statystycznych od temperatury (wg posiadanych informacji, pomiary tego typu nie były dotychczas nigdzie przeprowadzone i publikowane).



## PIŚMIENNICTWO

1. G ł a d y s z e w s k i L.: Annales Univ. Mariae Curie-Skłodowska, Lublin, Sectio AAA, 34/35, 55 (1979/1980).
2. G ł a d y s z e w s k i L.: Surface Research-Proc. of the III Sem. on Surface Ph., Wrocław 1979, 121.
3. M ę c l e w s k i R.: Badanie dyfuzji powierzchniowej potasu na wolfrامية metodą emisji polowej, Wrocław 1971.
4. K l e i n t Ch.: Annalen der Physik, B10, 295 (1963).
5. K a m i n s k y M.: Atomic and Ionic Impact Phenomena on Metal Surfaces, New York 1965.
6. W e i e r s h a u s e n W.: Ann. Phys. B15, 150 (1965).
7. G ł a d y s z e w s k i L.: Jonizacja powierzchniowa, w: Spektrometria mas i elektromagnetyczna separacja izotopów, pod red. W. Żuka, PWN, Warszawa 1980.
8. D a v e n p o r t W. B., R o o t W. L.: Introduction to the Theory of Random Signals and Noise, New York 1958.

## SUMMARY

Distribution of the probability density function and spectral density function of the ion thermoemission noise were investigated.

It was found that the probability density function can be approximate by the Gaussian curve whereas the spectral density function - by the Lorentzian function with two characteristic frequencies which correspond to the presence of potassium and oxygen on the hot surface of tungsten filament. The activation energy of noise generation  $E = 0,32$  eV has been determined.

## РЕЗЮМЕ

Исследованы статистические функции шумов термоэмиссии ионов калия: амплитудное распределение и частотный спектр шумов.

Гауссовское амплитудное распределение вырождалось при больших температурах в спектр десорпции примесей. Спектральная плотность вида  $S \sim \varphi^{-E}$  имела две характеристические частоты изменяющиеся при изменении температуры. Измерена энергия активации шумов  $E = 0,32$  эв.

Praca finansowana z funduszy problemu MR 1,5

Złożono w Redakcji 18 IV 1983 roku.