

# 1. Wprowadzenie

Ogromny postęp w nanotechnologii jaki się dokonał w ostatnich latach umożliwił wytwarzanie wysokiej jakości metalicznych nanostruktur takich jak nanowarstwy, nanorurki i metaliczne ziarna. W 1963 Blatt i Thomson zapoczątkowali badania nad efektem kwantowej wielkości (quantum size effect?) i jego wpływowi na paired phase (?) w cienkich warstwach <sup>1</sup>. Ich praca dowiodła istnieniu oscylacji temperatury krytycznej w funkcji grubości warstwy, która miała być efektem wynikającym z uniemożliwienia poruszania się elektronu w kierunku prostopadłym do powierzchni warstwy. Gdy wielkość układu staje się porównywalna do długości fali elektronu to sfera Fermiego zostaje podzielona na zestaw dyskretnych 2-wymiarowych podpasz, których energia wzrasta wraz ze zmniejszającą się grubością warstwy. Za każdym razem gdy wierzchołek podpasza przecina poziom Fermiego następuje znaczny wzrost temperatury krytycznej w postaci piku. Pomimo tego przez pewien czas eksperymenty nie były w stanie tego wykazać, a spowodowane to było trudnościami technicznymi w wytwarzaniu jednorodnych warstw, które zwykle były polikrystaliczne i zawierały dużą liczbę defektów. Od tego czasu wiele trudności w wytwarzaniu warstw o odpowiedniej jakości zostało pokonanych co ponownie otworzyło temat oscylacji temperatury krytycznej w nanowarstwach.

Niedawno, Guo w artykule <sup>2</sup> opisał wytwarzanie nanowarstw ołowiu na substracie krzemowym i zaobserwował wspomniane wyżej oscylacje temperatury krytycznej w funkcji liczby monowarstw ołowiu. Przyczyna występowania tych oscylacji związanych z zamknięciem kwantowym (?) została niezależnie potwierdzona przez pomiar energii kwantowej studni potencjału przy użyciu spektroskopii fotoemisyjnej. Wyniki pomiarów zaprezentowane w <sup>2</sup> dotyczyły tylko warstw o grubości większej niż 20 monowarstw z powodu występowania problemu stabilności cieńszych warstw składających się z parzystej liczby monowarstw. Badania nad nanowarstwami ołowiu zostały także przeprowadzone przez Eom w artykule <sup>3</sup>, w którym oscylacje  $T_c$  zostały potwierdzone w warstwach ołowiu o grubości 5 – 18 monowarstw. Temperatura krytyczna była mierzona za pomocą skaningowej mikroskopii

---

<sup>1</sup> J. M. Blatt and C. J. Thompson, Phys. Rev. Lett. 10, 332 (1963)

<sup>2</sup> Y. Guo, Y. F. Zhang, X. Y. Bao, T. Z. Han, Z. Tang, L. X. Zhang, W. G. Zhu, E. G. Wang, Q. Niu, Z. Q. Qiu, J. F. Jia, Z. X. Zhao, and Q. K. Xue, Science 306, 1915 (2004)

<sup>3</sup> D. Eom, S. Qin, M. Y. Chou, and C. K. Shih, Phys. Rev. Lett. 96, 027005 (2006)

tunelowej co pozwoliło na uniknięcie niejasności związanych z warstwą złota, która była używana w przenoszeniu pomiarów w pracy <sup>2</sup>. Odkryto istnienie bezpośredniej zależności pomiędzy oscylacjami gęstości stanów na poziomie Fermiego oraz oscylacjami temperatury krytycznej. Dodatkowo pomiary temperatury krytycznej dla warstw ołowiu na substracie krzemowym wykazały istnienie zjawiska zwanego biwarstwą (?) lub parzystymi-nieparzystymi oscylacjami(?). Jak wykazano, temperatura krytyczna dla warstw o parzystej liczbie monowarstw jest większa niż dla warstw o nieparzystej ich liczbie w odpowiednich granicach grubości. Ta zależność zmienia się z okresem 7 – 9 monowarstw co zostało zaobserwowane w wielu eksperymentach <sup>4</sup>.

(o polu magnetycznym ?)

W niniejszej pracy został zbadany wpływ gęstości elektronów na oscylacje temperatury krytycznej w cienkich warstwach metalicznych. Na początku zostały wykonane obliczenia analityczne przekształcające równanie Bogoliubova-de Gennes do postaci dogodnej dla obliczeń numerycznych, których wyniki zostały następnie porównane z eksperymentami.

---

<sup>4</sup> T. Zhang, P. Cheng, W. J. Li, Y. J. Sun, X. G. Wang G, Zhu, K. He, L. L. Wang, X. C. Ma, X. Chen, Y. Y. Wang, Y. Liu, L. H. Q, J. F. Jia, and Q. K. Xue, Nat. Phys. 6, 104 (2010)  
M. M. "Ozer, J. R. Thompson, and H. H. Weitering, Nat. Phys. 2, 173 (2006)  
M. M. "Ozer, Y. Jia, Z. Zhang, J. R. Thompson, and H. H. Weitering, Science 316, 1594 (2007)