

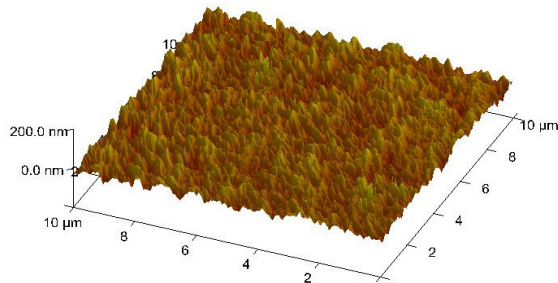
Fononais paskatinto krūvininkų tuneliavimo tyrimas ZnS plėvelėse

Investigation of phonon-assisted carrier tunneling in ZnS films

Antanas Kiveris, Vytautas Lapeika

Lietuvos edukologijos universitetas, Gamtos, matematikos ir technologijų fakultetas, Studentų g. 39, LT-08106 Vilnius
antanas.kiveris@leu.lt

Prasidėjus sparčiam nanotechnologijų vystymuisi pradėtos intensyviai gaminti ir tirti plonos, keliolikos ar keliadesimt nanometrų storio puslaidininkių plėvelės. Eksperimente tirtos ZnS plėvelės buvo pagamintos vakuuminio garinimo būdu (įrenginyje YBH-1, su šaldymo gaudykle, pasiekiant 2×10^{-5} Pa), išgarinant ZnS milteliais užpildytą garintuvą. Plonos (iki 10 μm) ant kvarcinio stiklo, padengto laidžiu sluoksniu ZnS plėvelės vaizdas pateiktas 1 paveiksle.



1 pav. Trimatis ZnS plėvelės vaizdas, gautas „Veeco“ skenuojančio zondo mikroskopu (SZM). (Už nuoširdžią pagalbą tiriant ZnS plėveles SZM metodu esame dėkingi dr. Virginijui Bukauskui ir magistrantui Mantui Lapeikai).

ZnS plėvelių voltamperinės charakteristikos (VACH) buvo išmatuotos SZM metodu, esant skirtingoms plėvelių temperatūroms.

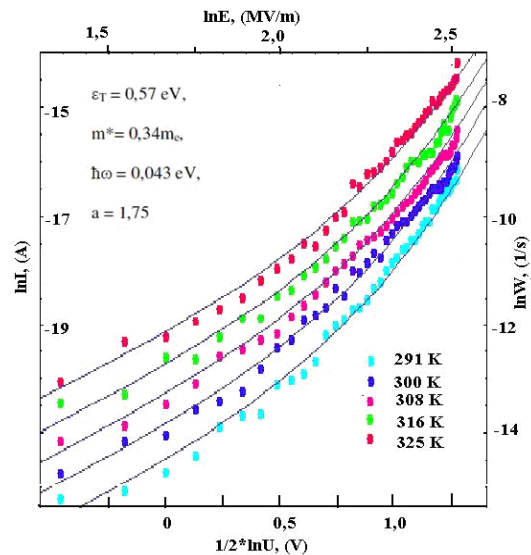
Padarius prielaidą, kad elektronai tiriamos medžiagos ir elektrodų sandūroje tuneluoja per barjerą, peridami lauko poveikyje iš lokalizuotų energetinių būsenų į laisvas būsenas dalyvaujant fononams, galima teigti, kad elektros srovės stipris tiriamoje plėvelėje, yra proporcingas tuneliavimo spartai W . Krūvininkų tuneliavimo elektriniame lauke dalyvaujant fononams teorija leidžia paskaičiuoti tuneliavimo tikimybių $W(T, E)$ priklausomybes nuo temperatūros T ir elektrinio lauko stiprio E , kurios paprastai nėra tiesinės. $W(T, E)$ analitinė išraiška, kurią dar 1976 m. pateikė Š. Kudžmauskas [1], kaip matysime toliau, pakankamai gerai paaiškina eksperimento duomenis:

$$W(T, E) = \frac{eE}{(8m^* \varepsilon_T)^{1/2}} [(1 + \gamma^2)^{1/2} - \gamma]^{1/2} [1 + \gamma^2]^{-1/4} \times \exp\left\{-\frac{4(2m^*)^{1/2}}{3 eE\hbar}\right\} \times \varepsilon_t^{3/2} [(1 + \gamma^2)^{1/2} - \gamma]^2 \left[(1 + \gamma^2)^{1/2} + \frac{1}{2}\gamma\right], \quad (1)$$

čia $\gamma = (2m^*)^{1/2} \Gamma^2 / 8e\hbar E \varepsilon_T^{1/2}$, $\Gamma^2 = 8a(\hbar\omega)^2(2n+1)$

– centro absorbcijos juostos plotis, $\hbar\omega$ – fonono energija, ε_T – priemaišinio centro energinis gylis, a – elektrono-fonono sąveikos stiprį nusakanti konstanta ir $n = [\exp(\hbar\omega/k_T T) - 1]^{-1}$ – Planko pasiskirstymas, suteikiantis tunelinei spartai priklausomybę nuo T ir $\hbar\omega$.

2 paveiksle pateiktos $W(T, E)$ priklausomybės 291 - 325 K temperatūrų intervale (skaičiavimui naudoti parametrai įrašyti paveiksle) ir eksperimente SZM metodu išmatuotų elektros srovių kitimo sulginimo kreivės logaritminiame mastelyje.



2 pav. ZnS plėvelių eksperimentinių VACH eigų (simboliai) sulginimas su Kudžmausko teorinėmis tuneliavimo spartos eigomis (linijos).

Iš šio sulginimo aiškėja, kad Š. Kudžmausko pasiūlyta tuneliavimo elektriniame lauke dalyvaujant fononams teorija, sėkmingai aprašo eksperimentinius ZnS plonų plėvelių elektrinio laidumo kitimus ir galima teigti, kad ši teorija, besiremianti bangine mechanika yra bendresnė ir sėkmingesnė už paplitusias pusiau empirines, plėvelių laidumui aprašyti naudojamas klasikinės mechanikos teorijas.

Reikšminiai žodžiai: fononais paskatintas tuneliavimas, elektron-fononinė sąveika.

Literatūra

[1] A. Kiveris, Š. Kudžmauskas, and P. Pipinys, Phys. Status Solidi A **37**, 321 (1976).