

NbO CAPACITORS – LEAKAGE CURRENT MEASUREMENT AND CHARACTERISATION

Martin Kuparowitz

Bachelor Degree Programme, FEEC BUT

E-mail: xkumar00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Vlasta Sedláková

E-mail: sedlaka@feec.vutbr.cz

ABSTRACT

Capacitor structure NbO-Nb₂O₅-MnO₂ represents a M-I-S structure. Insulating layer is formed by the niobium pentoxide Nb₂O₅ with relative permittivity $\epsilon_r = 40$ and thickness in the range 30 to 150 nm. Electric charge is not accumulated on the capacitor electrodes only, but also in the localised states in the insulating layer. The charge carrier transport in the Nb₂O₅ layer is determined by the Poole-Frenkel mechanism and tunneling in the normal mode. For the low electric field also ohmic transport takes effect. We can estimate the effective thickness of the dielectric layer and the ratio between the Poole-Frenkel and tunneling current from the modeling of measured VA characteristic.

1. ÚVOD

Kondenzátor typu NbO – Nb₂O₅ – MnO₂ představuje strukturu typu MIS. Izolační vrstva je tvořena pentoxidem niobu Nb₂O₅ s relativní permitivitou $\epsilon_r = 40$ a tloušťkou v rozmezí 30 až 150 nm. Náboj kondenzátoru není akumulován jen na elektrodách, ale také na lokalizovaných stavech v izolační vrstvě. Po přiložení záporného napětí na katodu je transport nosičů náboje izolační vrstvou určený Poole-Frenkelovým mechanismem a tunelováním. Dále se vyskytuje také ohmická složka proudu určená odporem příměsného pásu. Na základě modelování naměřených VA charakteristik lze odhadnout efektivní tloušťku dielektrika Nb₂O₅ a určit podíl Poole-Frenkelova a tunelového proudu na transportu náboje.

2. ROZBOR

V NbO kondenzátorech je kapacita dána potenciálovou bariérou, která vzniká mezi dielektrikem a polovodičem po připojení záporného napětí na katodu. Protože dielektrikum v kondenzátoru není ideální, projevuje se v něm parazitní vodivost, způsobena třemi složkami: ohmickou, Poole-Frenkelovou a tunelovou. Ohmická vodivost je tvořena pohybem elektronů po donorových stavech v dielektriku, které vznikly v průběhu výroby. Příměsný donorový pás má odpor asi 10 MΩ. Poole-Frenkelova vodivost vzniká emitováním elektronů z příměsného pásu do vodivostního a závisí na permitivitě a tloušťce dielektrika. Tunelová vodivost je způsobena tunelováním elektronů přes potenciálovou bariéru do příměsného a vodivostního pásu a je závislá na šířce potenciálové bariéry, a tedy na velikosti přiloženého napětí [2,3]. Schema struktury je na obrázku 1.

Jednotlivé tři složky celkového proudu lze vyjádřit vztahem:

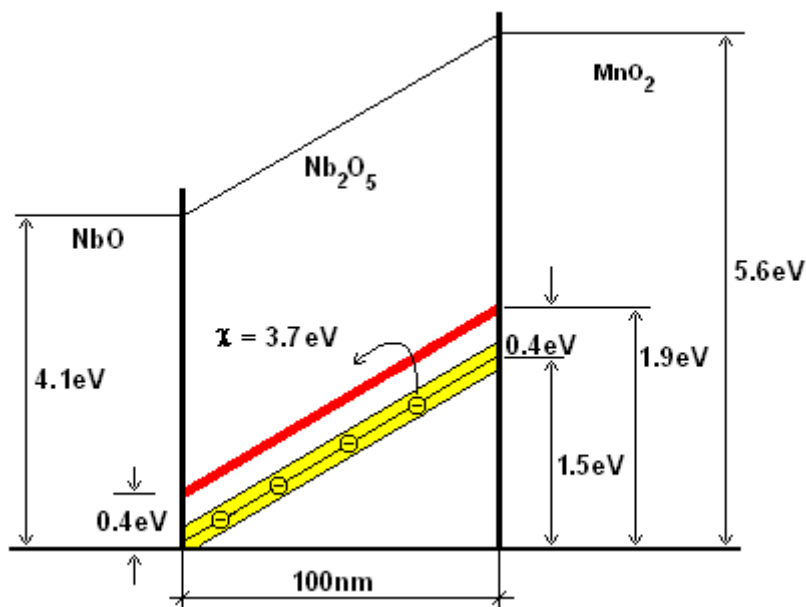
$$I_L = G_{\Omega}U + G_{PF}U \exp(\beta_{PF}\sqrt{U}) + I_T \exp(U_T/U) \quad (1)$$

kde G_{Ω} je ohmická vodivost, G_{PF} je vodivost Poole-Frenkelova jevu, β_{PF} je Poole-Frenkelův součinitel, I_T je součinitel tunelového proudu, U_T je charakteristická hodnota tunelového napětí.

Poole-Frenkelův součinitel je dán vztahem:

$$\beta_{PF} = (e^3 / \pi \epsilon_0 \epsilon_r d)^{1/2} / kT \quad (2)$$

kde e je elementární náboj, ϵ_0 je permitivita vakua, ϵ_r je relativní permitivita izolantu, d je tloušťka izolační vrstvy a kT je tepelná energie.



Obr. 1. Struktura MIS tvořená Niob-oxidovým kondenzátorem v termodynamicky rovnovážném stavu

3. MĚŘENÍ A VYHODNOCOVÁNÍ VA CHARAKTERISTIK

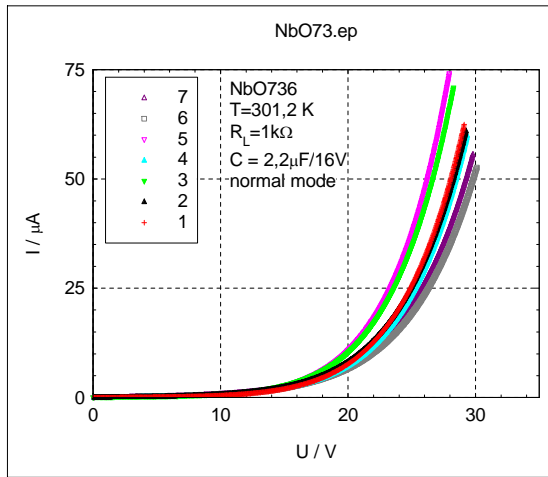
Vzorky jsou uchyceny v mechanickém přípravku na měření 21 vzorků, měření je prováděno vždy po sedmi kusech současně. Během měření VA charakteristik se na měřené vzorky přikládá napětí a měří se proud zatěžovacími odpory. Naměřené VA charakteristiky všech sedmi vzorků jsou vkládány do jednoho grafu, jak je uvedeno na obr. 2.

Z měřené serie vzorků jsem vybral vzorek č. 7, jehož VA charakteristika je na obrázku 3. Jedná se o kondenzátor s kapacitou $2.2 \mu\text{F}$ s určeným pracovním napětím $U_r = 16 \text{ V}$. Celkový naměřený průběh, který je na obrázku vidět jako tlustá modrá křivka je součtem jednotlivých tří složek ohmické, Poole-Frenkelovy a tunelové. Ohmická a Poole-Frenkelova složka je v grafu znázorněna červenou křivkou. Tunelová složka je v grafu znázorněna černou křivkou. Tenká modrá křivka je modelovaný měřený průběh na vyšších napětích. Můžeme si všimnout, že na nízkých napětích do cca $U_r = 32 \text{ V}$ je dominantní ohmický proud a Poole-Frenkelův proud vzorkem, na pracovním napětí $U_r = 16 \text{ V}$ se začíná projevovat i tunelový proud a ten se stává dominantní pro napětí nad $U_r = 32 \text{ V}$.

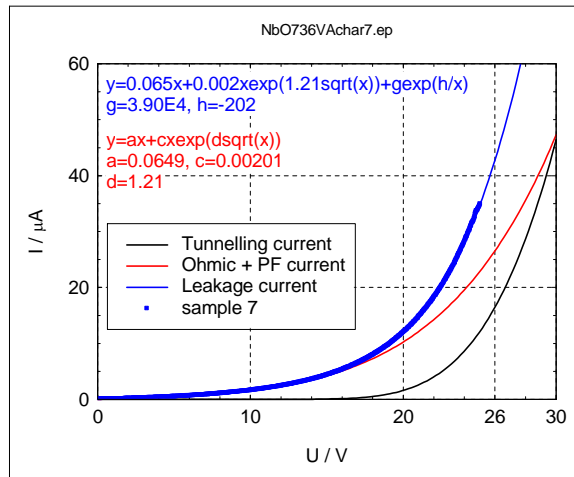
Červená a modrá rovnice v grafu jsou modelované závislosti, které spočítal program EasyPlot během modelování naměřené funkce. Vychází ze vztahu (1), jejich úplný tvar je:

$$y = ax + cx \exp(d\sqrt{x}) + g \exp(h/x) \quad (3)$$

kde a je ohmická vodivost, c je vodivost Poole-Frenkelova jevu, d je Poole-Frenkelův součinitel určený vztahem (2), g je součinitel tunelového proudu a h je charakteristická hodnota tunelového napětí.



Obr. 2. VA charakteristika pro sedm vzorků měřená při teplotě $T = 301,2\text{K}$ NbO kondenzátorů o kapacitě $C = 2,2 \mu\text{F}$ a pracovního napětí $U_r = 16\text{V}$



Obr. 3. VA charakteristika měřená pro vzorek 7 a složky zbytkového proudu – tunelová, ohmická, Poole-Frenkelova a celkový zbytkový proud vypočtený podle (1)

Pro vzorek 7 dostáváme ohmickou vodivost $G_{\Omega} = 65\text{ nS}$, vodivost Poole-Frenkelova jevu $G_{PF} = 2\text{ nS}$, Poole-Frenkelův součinitel $\beta_{PF} = 1,21\text{ V}^{-0,5}$. Pomocí tohoto součinitele lze určit tloušťku dielektrické vrstvy ze vztahu (2):

$$d = \frac{e^3}{\pi \epsilon_0 \epsilon_r (kT \beta_{PF})^2} = \frac{1,6 \times 10^{-19}}{\pi \times 8,85 \times 10^{-12} \times 40 \times (k \times 300 \times 1,21)^2} = 128\text{nm}$$

4. ZÁVĚR

Měření VA charakteristik bylo provedeno na vzorcích NbO kondenzátorů s kapacitou $2,2 \mu\text{F}$ a určeným pracovním napětím 16V . Analýzou VA charakteristiky provedené pro vzorek č.7 byly určeny základní mechanismy transportu nábojů v struktuře kondenzátoru. Při nejnižších hodnotách přiloženého napětí je dominantním mechanismem ohmická vodivost, při hodnotách napětí do přibližně pracovního napětí (v našem případě 16V) je dominantní Poole-Frenkelův mechanismus transportu náboje a pro napětí nad cca dvojnásobek pracovního napětí je dominantní tunelový proud. Z modelování závislosti VA charakteristiky jsem odhadl z hodnoty Poole-Frenkelova součinitele tloušťku dielektrika kondenzátoru. Ta činí 128nm . Tato hodnota odpovídá tloušťce dielektrika uvedené výrobcem pro tyto typy kondenzátorů [1].

LITERATURA

- [1] AVX Surface Mount Tantalum Capacitors. *Katalog produktů*, AVX, 2000
- [2] SEDLÁKOVÁ, V., ŠIKULA, J., GRMELA, L., HOESCHL, P., SITA, Z., HASHIGUCHI, S., TACANO, M. Noise and Charge Storage in Nb_2O_5 Thin Films. *Sborník mezinárodní konference ICNF 2005*. Salamanca, Španělsko, 2005, s. 135 – 138, ISBN 0-7354-0267-1
- [3] ŠIKULA, J., HLÁVKA, J., SEDLÁKOVÁ, V., HOESCHL, P., GRILL, R., SITA, Z., ZEDNÍČEK, T., TACANO, M. Niobium Oxide and Tantalum Capacitors: M-I-S Model Parameters Comparison. *Sborník mezinárodní konference CARTS-USA 2005*. Palms Springs, CA, USA, 2005, s. 244 – 248, ISSN 0887-7491