

Jonų judrio ir tankio skaičiavimas popieriuje pagal potencialo išelektrėjimo kinetikas

Calculation of ion mobility and density in the paper based on the potential discharge kinetics

Robertas Maldžius¹, Tadeuš Lozovski¹, Jonas Sidaravičius¹, Kaj Backfolk²

¹Vilniaus universitetas, Fizikos fakultetas, Saulėtekio al. 9, LT-10222 Vilnius

²Lappeenranta University of Technology, Packaging Technology P.O. Box 20, FI-53851 Lappeenranta, Finland
robertas.maldzius@ff.vu.lt

Popieriaus elektrinio laidumo mechanizmas nėra aiškus dėl jo struktūros sudėtingumo [1]. Dažna problema yra jonų judrio ir jų koncentracijos nustatymas. Naudojantis [2] metodika šiuos parametrus galima rasti iš dielektrinės skvarbos spektro analizės. Šiame darbe minėti parametrai apskaičiuojami iš popieriaus potencialo išelektrėjimo kinetikos.

Lygtį potencialo kinetikai $U(t)$ skaičiuoti gauname iš pilnos elektros srovės išraiškos. Potencialas matuojamas bekontaktiniu metodu, o tokioje grandinėje pilnoji elektros srovė yra lygi nuliui:

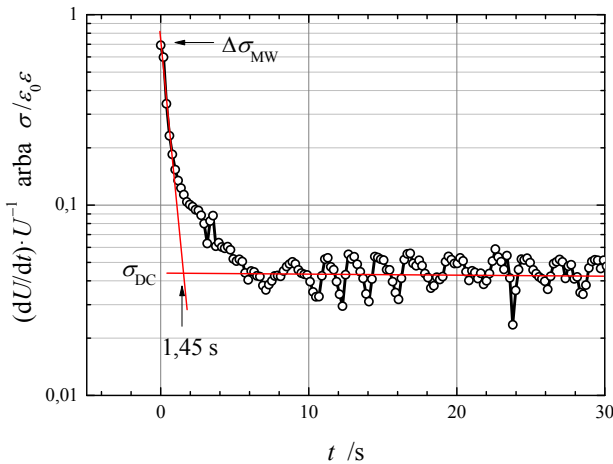
$$j(x,t) = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{\partial E(x,t)}{\partial t} + \sigma(t)E(x,t) = 0. \quad (1)$$

Integruojant (1) lygtį pagal koordinatę visu popieriaus storiu d ir atskyrus kintamuosius bei atsižvelgus į pradines sąlygas, kai $U(0) = U_0$, lygties sprendinys užrašomas taip:

$$U(t) = U_0 \exp \left\{ -\frac{1}{\varepsilon_0 \varepsilon} \int_0^t \sigma(\xi) d\xi \right\}. \quad (2)$$

Ekspirimente matuojamos potencialo kinetikos nepavyksta aprašyti viena eksponentine funkcija su vienu laiko parametru, o tai matyti, rezultatus išreiškus

$$\left| \frac{dU(t)}{dt} \right| / U(t) = \sigma(t) / \varepsilon_0 \varepsilon \neq \text{Const} \quad \text{pavidalu (1 pav.)}.$$



1 pav. Popieriaus laidumo kitimas, išreikštas eksperimente stebima potencialo kinetika $U(t)$.

Išelektrėjimo pradiniu laiko momentu vyksta popieriaus depoliarizacija ir turime greitą laidumo relaksacijos dalį. Vėliau, dominuoja jonų pernaša ir tada laidumo vertė nusistovi. Laidumo kinetiką reiškiamo

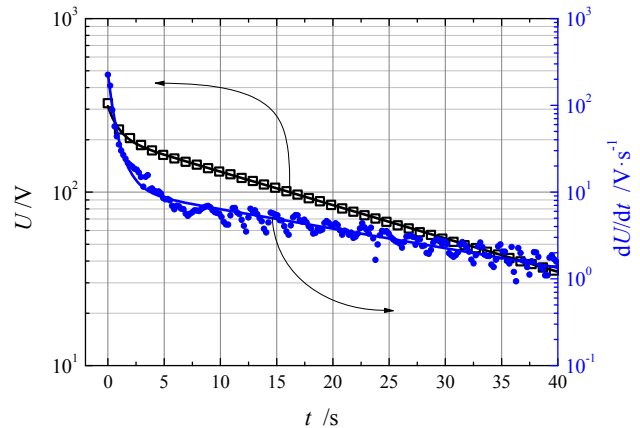
$$\sigma(t) = \Delta\sigma_{MW} \exp(-t/\tau_{MW}) + \sigma_{DC}, \quad (3)$$

čia $\Delta\sigma_{MW}$ – „greitųjų“ jonų laidumas, o τ_{MW} – šio laidumo nulėtos depoliarizacijos laiko pastovioji.

Toliau, (3) išraišką įrašę į (2) išraišką, integruojame ir, pažymėję $\Delta\sigma_{MW}/\sigma_{DC} = K_\sigma$, gauname formulę potencialo kinetikai skaičiuoti:

$$U(t) = U_0 \exp \left\{ -\left(\frac{t}{\tau_{DC}} + K_\sigma \cdot \frac{\tau_{MW}}{\tau_{DC}} \left(1 - e^{-t/\tau_{MW}} \right) \right) \right\}. \quad (4)$$

Iš (4) išraiškos matyti, kad laiko intervale $0 < t < \tau_{MW}$ (juda ir „greitieji“, ir „lėtieji“ jonai) potencialas $\approx U_0 \exp\{-t/\tau_{MW}\}$, o vėliau, kai $t > \tau_{MW}$ – $U(t) = (U_0/e) \exp\{-t/\tau_{DC}\}$ ir čia juda tik „lėtieji“ jonai.



2 pav. Popieriaus potencialo ir jo pirmos eilės išvestinės kinetikų aproksimavimas pagal (4) formulę.

Jonų judrį apskaičiuojame pagal dreifinio modelio formulę: jonas per dreifo trukmę $\approx \tau_{MW}$ pralekia visu sluoksnio storium d , o elektrinis laukas apskaičiuojamas pagal vidutinį potencialo dydį tame laiko intervale, t.y.:

$$E_{vid} = (U_0 + U(\tau_{MW})) / 2d, \quad \mu = d / \{\tau_{MW} \cdot E_{vid}\}. \quad (5)$$

Galiausiai, jonų tankis apskaičiuojamas pagal klasikinę laidumo formulę $\Delta\sigma_{MW} = ne\mu$.

Reikšminiai žodžiai: popierius, potencialo kinetika, jonų judris, jonų tankis.

Literatūra

- [1] K. Niskannen (Editor), *Paper Physics* (Finish Paper Engineering Assoc. 2008).
- [2] M. Paluch (Editor), *Dielectric Properties of Ionic Liquids* (Springer International Publishing 2016).