

# Simultaneous Intracellular Detection of Plasmonic and Non-Plasmonic Nanoparticles Using Dark-Field Hyperspectral Microscopy

Kazan Federal University, 420008, Kremlevskaya 18, Kazan, Russia

---

## Abstract

© 2018 The Chemical Society of Japan. Herein we report the detection and differentiation of plasmonic and non-plasmonic nanoparticles simultaneously administered to A549 lung epithelium cells using dark-field microscopy and hyperspectral imaging. Reflectance spectra-based hyperspectral mapping and image analysis allows for the effective quasi-quantitative identification of nanomaterials in cultured human cells.

<http://dx.doi.org/10.1246/bcsj.20180198>

---

## Keywords

Dark-field microscopy, Hyperspectral microimaging, Spectral mapping

## References

- [1] K.P. Miller, L. Wang, B. C. Benicewicz, A. W. Decho, *Chem. Soc. Rev.* 2015, 44, 7787.
- [2] F. Scaletti, J. Hardie, Y. W. Lee, D. C. Luther, M. Raya, V. M. Rotello, *Chem. Soc. Rev.* 2018, 47, 3421.
- [3] H. Feng, Y. Liang, K. Guo, W. Chen, D. Shen, L. Huang, Y. Zhou, M. Wang, Y. Long, *Environ. Sci. Technol. Lett.* 2016, 3, 420.
- [4] T. D. Singh, T. G. Singh, S. D. Henam, *Green Mater.* 2017, 5, 165.
- [5] M. Kitahara, K. Suzuki, S. Kubara, Y. Shimasaki, A. Shimojima, H. Wada, K. Kuroda, *Bull. Chem. Soc. Jpn.* 2016, 89, 1207.
- [6] V. K. Sharma, J. Filip, R. Zboril, R. S. Varma, *Chem. Soc. Rev.* 2015, 44, 8410.
- [7] S. Wang, Z. Liu, W. Wang, H. You, *RSC Adv.* 2017, 7, 37065.
- [8] K. Tada, H. Koga, A. Hayashi, Y. Kondo, T. Kawakami, S. Yamanaka, M. Okumura, *Bull. Chem. Soc. Jpn.* 2017, 90, 506.
- [9] M. Komiyama, T. Mori, K. Ariga, *Bull. Chem. Soc. Jpn.* 2018, 91, 1075.
- [10] M. Komiyama, K. Yoshimoto, M. Sisido, K. Ariga, *Bull. Chem. Soc. Jpn.* 2017, 90, 967.
- [11] I. Saptiama, Y. V. Kaneti, Y. Suzuki, Y. Suzuki, K. Tsuchiya, T. Sakae, K. Takai, N. Fukumitsu, Z. A. Allothman, M. S. A. Hossain, K. Ariga, Y. Yamauchi, *Bull. Chem. Soc. Jpn.* 2017, 90, 1174.
- [12] J. Gao, L. Lin, A. Wei, M. S. Sepúlveda, *Environ. Sci. Technol. Lett.* 2017, 4, 174.
- [13] S. R. Cerqueira, B. L. Silva, J. M. Oliveira, J. F. Mano, N. Sousa, A. J. Salgado, R. L. Reis, *Macromol. Biosci.* 2012, 12, 591.
- [14] K. A. Huynh, J. M. McCaffery, K. L. Chen, *Environ. Sci. Technol. Lett.* 2014, 1, 361.
- [15] R. D. Arrua, A. P. Hitchcock, W. B. Hon, M. West, E. F. Hilder, *Anal. Chem.* 2014, 86, 2876.
- [16] L.-A. Tai, Y.-T. Kang, Y.-C. Chen, Y.-C. Wang, Y.-J. Wang, Y.-T. Wu, K.-L. Liu, C.-Y. Wang, Y.-F. Ko, C.-Y. Chen, N.-C. Huang, J.-K. Chen, Y.-F. Hsieh, T.-R. Yew, C.-S. Yang, *Anal. Chem.* 2012, 84, 6312.

- [17] Q. Le Trequesser, G. Devès, G. Saez, L. Daudin, P. Barberet, C. Michelet, M.-H. Delville, H. Seznec, *Anal. Chem.* 2014, 86, 7311.
- [18] D. B. Peckys, N. de Jonge, *Nano Lett.* 2011, 11, 1733.
- [19] M. Reifarh, D. Pretzel, S. Schubert, C. Weber, R. Heintzmann, S. Hoepfner, U. S. Schubert, *Chem. Commun.* 2016, 52, 4361.
- [20] C. Kaplan, B. Jing, C. M. Winterflood, A. A. Bridges, P. Occhipinti, J. Schmied, S. Grinhagens, T. Gronemeyer, P. Tinnefeld, A. S. Gladfelter, J. Ries, H. Ewers, *Nano Lett.* 2015, 15, 3859.
- [21] G. Lukinavičius, L. Reymond, K. Umezawa, O. Sallin, E. D'Este, F. Göttfert, H. Ta, S. W. Hell, Y. Urano, K. Johnsson, *J. Am. Chem. Soc.* 2016, 138, 9365.
- [22] H. Mizuno, M. Abe, P. Dedecker, A. Makino, S. Rocha, Y. Ohno-Iwashita, J. Hofkens, T. Kobayashi, A. Miyawaka, *Chem. Sci.* 2011, 2, 1548.
- [23] L. J. Young, G. S. Kaminski Schierle, C. F. Kaminski, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2017, 19, 27987.
- [24] P. Zamora-Perez, D. Tsoutsis, R. Xu, P. Rivera Gil, *Materials* 2018, 11, 243.
- [25] K. E. Fong, L.-Y. L. Yung, *RSC Adv.* 2012, 2, 5154.
- [26] M. S. Bootharaju, K. Chaudhari, T. Pradeep, *RSC Adv.* 2012, 2, 10048.
- [27] C. Cruje, C. Yang, J. Uertz, M. van Prooijen, B. D. Chithrani, *RSC Adv.* 2015, 5, 101525.
- [28] G. S. Verebes, M. Melchiorre, A. Garcia-Leis, C. Ferreri, C. Marzetti, A. Torreggiani, *J. Biophotonics* 2013, 6, 960.
- [29] S. A. Konnova, A. A. Danilushkina, G. I. Fakhrullina, F. S. Akhatova, A. R. Badrutdinov, R. F. Fakhrullin, *RSC Adv.* 2015, 5, 13530.
- [30] S. A. Konnova, Y. M. Lvov, R. F. Fakhrullin, *Langmuir* 2016, 32, 12552.
- [31] M. R. Dzumukova, E. A. Naumenko, E. V. Rozhina, A. A. Trifonov, R. F. Fakhrullin, *Nano Res.* 2015, 8, 2515.
- [32] R. Yendluri, Y. Lvov, M. M. de Villiers, V. Vinokurov, E. Naumenko, E. Tarasova, R. Fakhrullin, *J. Pharm. Sci.* 2017, 106, 3131.
- [33] M. Kryuchkova, A. Danilushkina, Y. Lvov, R. Fakhrullin, *Environ. Sci.: Nano* 2016, 3, 442.
- [34] G. Cavallaro, G. Lazzara, S. Milioto, F. Parisi, V. Evtugyn, E. Rozhina, R. Fakhrullin, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2018, 10, 8265.
- [35] B. Micó-Vicent, F. M. Martínez-Verdú, A. Novikov, A. Stavitskaya, V. Vinokurov, E. Rozhina, R. Fakhrullin, R. Yendluri, Y. Lvov, *Adv. Funct. Mater.* 2017, 28, 1703553.
- [36] A. V. Stavitskaya, A. A. Novikov, M. S. Kotelev, D. S. Kopitsyn, E. V. Rozhina, I. R. Ishmukhametov, R. F. Fakhrullin, E. V. Ivanov, Y. M. Lvov, V. A. Vinokurov, *Nanomaterials* 2018, 8, 391.
- [37] E. A. Naumenko, I. D. Guryanov, R. Yendluri, Y. M. Lvov, R. F. Fakhrullin, *Nanoscale* 2016, 8, 7257.
- [38] V. Khodzhaeva, A. Makeeva, V. Ulyanova, P. Zelenikhin, V. Evtugyn, M. Hardt, E. Rozhina, Y. Lvov, R. Fakhrullin, O. Ilinskaya, *Front. Pharmacol.* 2017, 8, 631.
- [39] J. N. Meyer, C. A. Lord, X. Y. Yang, E. A. Turner, A. R. Badireddy, S. M. Marinakos, A. Chilkoti, M. R. Wiesner, M. Auffan, *Aquat. Toxicol.* 2010, 100, 140.
- [40] M. R. Dzumukova, E. A. Naumenko, Y. M. Lvov, R. F. Fakhrullin, *Sci. Rep.* 2015, 5, 10560.
- [41] M. L. de O. Pereira, D. Grasseschi, H. E. Toma, *Energy Fuels* 2018, 32, 2673.
- [42] C. A. Austin, G. K. Hinkley, A. R. Mishra, Q. Zhang, T. H. Umbreit, M. W. Betz, B. E. Wildt, B. J. Casey, S. Francke-Carroll, S. M. Hussain, S. M. Roberts, K. M. Brown, P. L. Goering, *Nanotoxicology* 2016, 10, 654.
- [43] T. Théoret, K. J. Wilkinson, *Anal. Methods* 2017, 9, 3920.
- [44] H. Weinkauff, B. F. Brehm-Stecher, *Biotechnol. J.* 2009, 4, 871.
- [45] M. Basnet, A. Gershanov, K. J. Wilkinson, S. Ghoshal, N. Tufenkji, *Environ. Sci.: Nano* 2016, 3, 127.
- [46] A. Garcia-Leis, A. Torreggiani, J. V. Garcia-Ramos, S. Sanchez-Cortes, *Nanoscale* 2015, 7, 13629.
- [47] B. R. Smith, E. E. B. Ghosn, H. Rallapalli, J. A. Prescher, T. Larson, L. A. Herzenberg, S. S. Gambhir, *Nat. Nanotechnol.* 2014, 9, 481.
- [48] M. Kryuchkova, R. Fakhrullin, *Environ. Sci. Technol. Lett.* 2018, 5, 295.
- [49] G. I. Fakhrullina, F. S. Akhatova, Y. M. Lvov, R. F. Fakhrullin, *Environ. Sci.: Nano* 2015, 2, 54.
- [50] D. Grasseschi, F. S. Lima, M. Nakamura, H. E. Toma, *Micron* 2015, 69, 15.
- [51] J. Y. Ma, R. R. Mercer, M. Barger, D. Schwegler-Berry, J. Scabillon, J. K. Ma, V. Castranova, *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 2012, 262, 255.
- [52] C. Yang, J. Uertz, D. Yohan, B. D. Chithrani, *Nanoscale* 2014, 6, 12026.
- [53] P. O. Andersson, C. Lejon, B. Ekstrand-Hammarström, C. Akfur, L. Ahlinder, A. Bucht, L. Österlund, *Small* 2011, 7, 514.
- [54] R. F. Kamaliev, I. R. Ishmukhametov, S. N. Batasheva, E. V. Rozhina, R. F. Fakhrullin, *Nano-Struct. Nano-Objects* 2018, 15, 54.

- [55] M. Kahraman, A. I. Zamaleeva, R. F. Fakhrullin, M. Culha, *Anal. Bioanal. Chem.* 2009, 395, 2559.
- [56] G. Kuku, M. Saricam, F. Akhatova, A. Danilushkina, R. Fakhrullin, M. Culha, *Anal. Chem.* 2016, 88, 9813.
- [57] J. D. Moore, A. Avellan, C. W. Noack, Y. Guo, G. V. Lowry, K. B. Gregory, *Environ. Sci. Nano* 2017, 4, 2321.