

Thermal shielding by anodic alumina films with nanoporous structure

Igor A. Vrublevsky, Katsiaryna V. Chernykova, Yahya T.A. Al-Ademi,
Dmitri V. Gorbachev

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
Minsk, 220013, Belarus
vrublevsky@bsuir.edu.by

Abstract: *In the present study nanoporous anodic alumina films were applied as thermal shields to smooth contrast of thermal radiation from bioobjects and surroundings. It was shown that anodic alumina films possess good thermal isolating and shielding properties in the wavelength range of 6–14 μm and can be utilized as thermal shields.*

Keywords: *anodic alumina, nanoporous structure, thermal shielding, IR radiation.*

Тепловое экранирование пленками анодного оксида алюминия с нанопористой структурой

Врублевский И.А., Чернякова Е.В., Аль-Адеми Я.Т.А.,
Горбачев Д.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, 220013, Республика Беларусь
vrublevsky@bsuir.edu.by

Аннотация: *В настоящей работе пленки нанопористого анодного оксида алюминия применяли в качестве теплозащитных экранов для сглаживания контраста тепловых излучений биологических объектов и окружающего фона. Показано, что пленки нанопористого анодного оксида алюминия имеют хорошие теплоизоляционные и экранирующие свойства в области длин волн 6–14 мкм и могут быть использованы в качестве тепловых экранов.*

Ключевые слова: *анодный оксид алюминия, нанопористая структура, тепловое экранирование, ИК излучение.*

1. Введение

В настоящее время активно развиваются методы создания наноструктурированных материалов, основанные на использовании процессов шаблонного формирования и самоформирования [1-3]. Одним из материалов, вызывающих большой практический интерес, является пористый анодный оксид алюминия, упорядоченная наноразмерная структура которого образуется в результате процессов самоформирования [4]. Выбирая параметры анодирования на стадии роста анодной пленки возможно в широких пределах управлять структурными свойствами (размер пор, пористость, межпористое расстояние) и, таким образом, физическими и оптическими свойствами пленок нанопористого оксида алюминия [5,6]. Следует отметить, что пленки на основе нанопористого оксида алюминия характеризуются высокой механической прочностью, термической стабильностью и химической стойкостью и поэтому находят применение в нанотехнологии, микробиологии и сенсорики [7,8].

Процесс передачи тепловой энергии, выделение или поглощение тепла в объекте приводит к тому, что его температура изменяется относительно окружающей среды. Основной вклад в наблюдаемый тепловой контраст вносят собственные излучения наблюдаемого объекта и фона. В настоящее время для визуализации теплового изображения объектов используются два типа тепловизоров: охлаждаемые тепловизоры, работающие в коротковолновом диапазоне (3–5 мкм), и неохлаждаемые тепловизоры в средневолновом диапазоне (8–14 мкм). Для обнаружения и идентификации тепловых объектов, таких как человек, спектральная длина волны теплового излучения которого составляет 9,3 мкм, применяются неохлаждаемые тепловизоры. Наряду с развитием технологий теплового сканирования ведется интенсивный поиск новых материалов, позволяющих рассеивать и поглощать тепловое излучение и, таким образом, обеспечить скрытность объектов от наблюдения в ИК–диапазоне.

В данной работе представлены результаты исследований по использованию пленок нанопористого анодного оксида алюминия для снижения тепловой контрастности излучения человека на экране неохлаждаемого тепловизора.

2. Экспериментальная часть

Для исследования картины теплового поля при проведении экспериментов использовали неохлаждаемый тепловизор (Infrared imaging camera system MobIR 4). Тепловые пятна с температурой человека создавались

с использованием пластины фторопласта толщиной 5 мм с двумя одинаковыми отверстиями диаметром 14 мм. Пластина фторопласта размещалась над ладонью человека, блокируя основное тепловое излучение и пропуская его только через специальные отверстия. В экспериментах пленки нанопористого анодного оксида алюминия помещались на пластине фторопласта над одним из отверстий (рабочим). Пластина располагалась таким образом, чтобы пленка нанопористого анодного оксида алюминия была удалена на расстоянии 3–5 мм от биообъекта. Второе отверстие (контрольное), через которое тепловое излучение проходило без препятствий, служило для оценки результатов теплового маскирования.

Используемые в экспериментах пленки нанопористого анодного оксида алюминия получали методом анодирования алюминия. В качестве исходного материала применяли Al-фольгу толщиной 80 мкм марки A95 (содержание алюминия 99,95%). Окисление проводили методом одностороннего анодирования алюминия в двухэлектродной электрохимической ячейке в 0,4 М водном растворе щавелевой кислоты $(\text{COOH})_2$ в гальваностатическом режиме ($j = 8,0 \text{ mA/cm}^2$) при напряжении около 60 В на участке стационарного роста оксида. В качестве катода использовали платиновую пластину. Процесс проводили при постоянной температуре $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$, электролит интенсивно перемешивали. В качестве источника тока использовали потенциостат П5827М. Анодирования продолжалось до достижения анодной пленкой толщины 60,0 мкм. Анодную оксидную пленку от остаточного слоя алюминия отделяли в 10 % растворе Br_2 в CH_3OH , затем образцы тщательно промывали и высушивали на воздухе.

Морфологию поверхности и поперечное сечение пленок пористого оксида алюминия, сформированных в растворе щавелевой кислоты, исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа JOEL 840A (SEM).

3. Практические результаты

На рис. 1 представлен электронный снимок поперечного сечения пленки пористого анодного оксида алюминия. Результаты СЭМ-исследований показывают, что анодный оксид алюминия обладает упорядоченной пористой структурой с размером пор приблизительно 38-39 нм и расстоянием между ними около 100 нм. Поры ориентированы параллельно друг другу, расположены перпендикулярно поверхности роста и имеют одинаковую цилиндрическую форму.

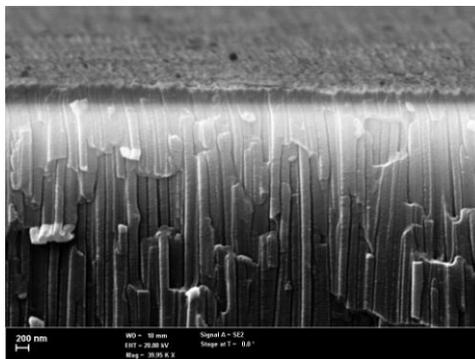


Рис. 1. СЭМ изображение поперечного сечения пленки пористого оксида алюминия, сформированной в 0,4 М водном растворе щавелевой кислоты при постоянной плотности тока $8,0 \text{ mA/cm}^2$

Fig. 1. SEM image of cross-section of porous anodic alumina film formed in 0.4 M oxalic acid at constant current density of $8,0 \text{ mA/cm}^2$

Исследования показали, что температура ладони, измеренная снаружи, и через отверстие на пластине фторопласта практически одинаковая ($\Delta T \sim 0,6^\circ\text{C}$). Небольшая разница в значениях объясняется неоднородностью распределения тепла по всей ладони. Результаты исследований для теплового экранирования излучения с помощью пленки нанопористого анодного оксида алюминия представлены на рисунке 2.

Температура на поверхности пластины фторопласта составляла около $30,7^\circ\text{C}$, а в сквозном отверстии с тепловым излучением от ладони – $35,7^\circ\text{C}$. Применение пленок пористого оксида алюминия в качестве маски резко снижало прохождение теплового излучения от источника тепла. Результаты тепловизионных исследований показывают, что пленка нанопористого оксида алюминия толщиной 60 мкм обеспечивает эффективное экранирование теплового излучения тела человека. При этом регистрируемое изменение разницы температур от биообъекта при наличии и отсутствии анодной пленки составляет не менее $4\text{--}5$ градусов. Несмотря на оптическую прозрачность в видимом диапазоне, пленки нанопористого анодного оксида алюминия заметно ослабляют пропускание излучения в среднем ИК диапазоне ($\lambda = 8\text{--}14 \text{ мкм}$), что может позволить использовать их в качестве фильтров для рассеивания излучения от биообъектов.

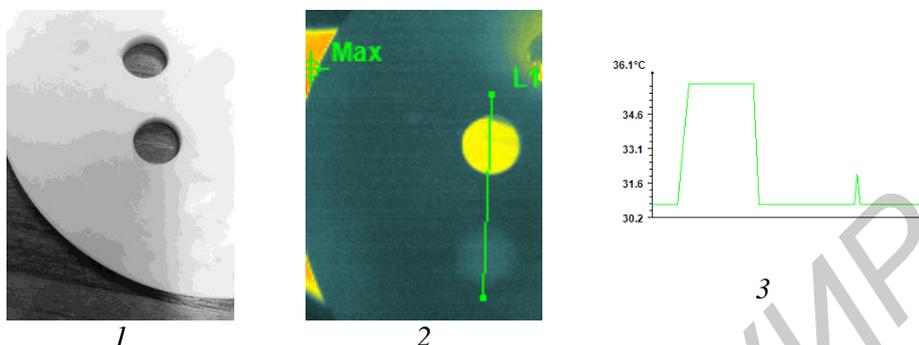


Рис. 2. Результаты тепловых исследований:

- 1 - фторопластовая пластина в видимом свете;
 2 - вид на биообъект через объектив тепловой камеры для случая маскирования рабочего отверстия пленкой нанопористого анодного оксида алюминия;
 3 - температурный профиль для линии, проходящий через контрольное и рабочее отверстие

Fig. 2. Results of thermal investigations:

- 1 – fluoroplastic plate in visible light;
 2 - bioobject in the monitor of IR imaging camera in case of masking of working aperture by nanoporous anodic alumina film;
 3 – thermal profile for line intersecting reference and operating holes

4. Заключение

Для создания одинаковых тепловых пятен с температурой человека использовалась пластина фторопласта с двумя сквозными отверстиями. Пластина размещалась над ладонью человека, блокируя основное тепловое излучение и пропуская его только через специальные отверстия. Регистрация теплового излучения проводилась с помощью тепловизионной камеры MobIR M4 со встроенной камерой визуального контроля.

Применение пленок пористого анодного оксида алюминия для маскирования резко снижало прохождение теплового излучения от источников тепла и уменьшало температуру тепловых пятен, излучаемых биообъектом (ладонь человека) с 35,7 до 30,7 °С. Получены профили распределения температур от биообъекта в сквозных отверстиях пластины фторопласта для случая без маски и с применением маски из пленки пористого анодного оксида алюминия.

Проведенные исследования показали, что пленки нанопористого анодного оксида алюминия имеют хорошие теплоизоляционные и экрани-

рующие свойства в области длин волн 8 -14 мкм и могут быть использованы в качестве теплозащитных экранов для сглаживания контраста тепловых излучений объекта и окружающего фона и для повышения эффективности тепловой маскировки объектов.

Источники финансирования и выражение признательности

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке проекта Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № Ф15-М100).

Список литературы

- [1] Kikuchi T., Nishinaga O., Natsui S., Suzuki R.O. Polymer nanoimprinting using an anodized aluminum mold for structural coloration. *Appl. Surf. Sci.*, 2015. vol. 341. pp. 19–27.
- [2] Mozalev A., Mozaleva I., Sakairi M. Takahashi H. Anodic film growth on Al layers and Ta-Al metal bilayers in citric acid electrolytes. *Electrochim. Acta.*, 2005. vol. 50. pp. 5065–5075.
- [3] Shingubara S., Okino O., Sayama Y., Sakaue H., Takahagi T. Ordered two-dimensional nanowire array formation using self-organized nanoholes of anodically oxidized aluminum. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1997. vol. 36. pp. 7791–7795.
- [4] Vrublevsky I., Parkour V., Sokol V., Schreckenbach J., Marx G. The study of the volume expansion of aluminum during porous oxide formation at galvanostatic regime. *Appl. Surf. Sci.* 2004. vol. 222. pp. 215–225.
- [5] Jagminas, A., Kurtinaitiene M, Angelucci R., Valinčius, G. Modification of alumina barrier-layer through re-anodization in an oxalic acid solution with fluoride additives. *Appl. Surf. Sci.* 2004. vol. 252. pp. 2360–2367.
- [6] Stepniowski W., Norek M., Michalska-Domańska M., Bojar Z. Ultra-small nanopores obtained by self-organized anodization of aluminum in oxalic acid at low voltages. *Mater Lett.* 2013. vol. 111. pp. 20–23.
- [7] Lee W., Park S.-J. Porous anodic aluminum oxide: anodization and templated synthesis of functional nanostructures. *Chem. Rev.*, 2014. vol. 114. pp. 7487–7556.
- [8] Sulka G.D. Highly ordered anodic porous alumina formation by self-organised anodizing and template-assisted fabrication of nanostructured materials. *Nanostructured materials in electrochemistry.* 2008. pp. 1–116.

References

- [1] Kikuchi T., Nishinaga O., Natsui S., Suzuki R.O. Polymer nanoimprinting using an anodized aluminum mold for structural coloration. *Appl. Surf. Sci.*, 2015. vol. 341. pp. 19–27.
- [2] Mozalev A., Mozaleva I., Sakairi M. Takahashi H. Anodic film growth on Al layers and Ta-Al metal bilayers in citric acid electrolytes. *Electrochim. Acta.*, 2005. vol. 50. pp. 5065–5075.
- [3] Shingubara S., Okino O., Sayama Y., Sakaue H., Takahagi T. Ordered two-dimensional nanowire array formation using self-organized nanoholes of anodically oxidized aluminum. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1997. vol. 36. pp. 7791–7795.

[4] Vrublevsky I., Parkoun V., Sokol V., Schreckenbach J., Marx G. The study of the volume expansion of aluminum during porous oxide formation at galvanostatic regime. *Appl. Surf. Sci.* 2004. vol. 222. pp. 215–225.

[5] Jagminas, A., Kurtinaitiene M, Angelucci R., Valinčius, G. Modification of alumina barrier-layer through re-anodization in an oxalic acid solution with fluoride additives. *Appl. Surf. Sci.* 2004. vol. 252. pp. 2360–2367.

[6] Stępniewski W., Norek M., Michalska-Domańska M., Bojar Z. Ultra-small nanopores obtained by self-organized anodization of aluminum in oxalic acid at low voltages. *Mater Lett.* 2013. vol. 111. pp. 20–23.

[7] Lee W., Park S.-J. Porous anodic aluminum oxide: anodization and templated synthesis of functional nanostructures. *Chem. Rev.*, 2014. vol. 114. pp. 7487–7556.

[8] Sulka G.D. Highly ordered anodic porous alumina formation by self-organised anodizing and template-assisted fabrication of nanostructured materials. *Nanostructured materials in electrochemistry*. 2008. pp. 1–116.

Acknowledgements

This research was partly supported by the grant of the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research No. F15-M100.