BROADBAND ANTIREFLECTIVE COMPOSITE COATING: EFFECT OF PULSED LASER TREATMENT ON OPTICAL PROPERTIES

طلاء مركب مضاد للانعكاس عريض النطاق: تأثير المعالجة بالليزر النبضي على الخصائص البصرية

M. N. Zhukova
ماريا جوكوفا نيكولاييفنا
PhD. student of the Belarusian State University
طالبة دكتوراه بجامعة بيلاروسيا الحكومية

F. F. Komarov
فادي فاديتش كوماروف
Professor of the Department of Physical Electronics and Nanotechnology, Belarusian State University
برفسور بقسم "الالكترونيات الفيزيائية وتكنولوجيا النانو" بجامعة بيلاروسيا الحكومية

Scientific supervisor المشرف العلمي

Abstract: *The developed method of laser processing for the formation of antireflective coatings based on composite materials created by filling an epoxy polymer with multi-walled carbon nanotubes is demonstrated, The effect of surface profiling of composite materials by pulsed laser processing on reflectivity in the UV, visible, near and mid-IR wavelength ranges is studied. The possibility of creating composite structures with a low reflectivity in the range of 0.2 – 25 μm, corresponding to the requirements for antireflective coatings of optical and optoelectronic systems of spacecraft and ground-based systems is demonstrated.*

Keywords: multi-walled carbon nanotubes, epoxy polymer, composite material, pulsed laser processing, structuring, broadband antireflective coating.

الخلاصة : تم عرض طريقة معالجة بالليزر مطورة لتشكيل طبقات مضادة للانعكاس تعتمد على مواد مركبة تم إنشاؤها عن طريق ملء بوليمر إيبوكسي بأنابيب نانوية كربونية متعددة الجدران. تمت دراسة تأثير تشكيل سطح المواد المركبة بواسطة المعالجة بالليزر النبضي على الانعكاسية في نطاقات الأطوال الموجية للأشعة فوق البنفسجية والمرئية والقريبة والمتوسطة من الأشعة تحت الحمراء. تم إثبات إمكانية إنشاء هياكل مركبة ذات انعكاس منخفض في نطاق 0.2 - 25 ميكرومتر تلبي متطلبات الطلاءات المضادة للانعكاس للأنظمة البصرية والإلكترونية الضوئية للمركبات الفضائية والأنظمة الأرضية.

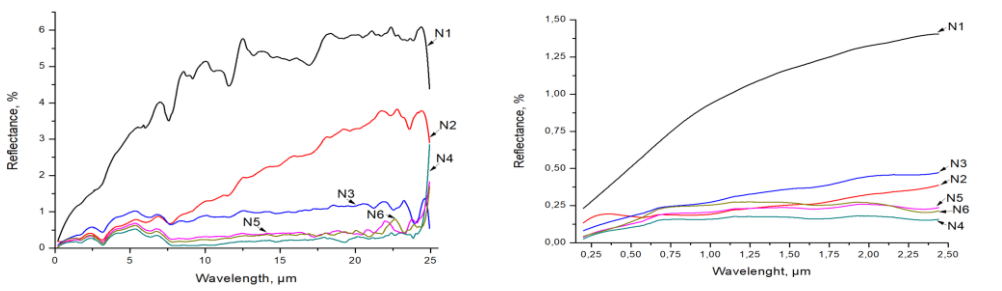
الكلمات المفتاحية : أنابيب الكربون النانوية متعددة الجدران، بوليمر الإيبوكسي، المواد المركبة، المعالجة بالليزر النبضي، الهيكلة، طلاء مضاد للانعكاس عريض النطاق.

Introduction

This paper considers a method of structuring the surface of composite material to create anti-reflective coatings using pulsed laser radiation. The idea is to form a periodic structure on the surface of the initial material by "burning" a part of the material with a laser beam. The method allows for controlling the height and width of grooves and generally automating the process of structuring the material surface. The epoxy polymer ED-20, with its filling of multi-walled carbon nanotubes, is used as a base material. The feasibility of using multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) lies in the effective absorbing properties of graphene-like structures and the possibility of forming bulk absorbing structures in the polymer [1], as well as the low cost of single-walled CNTs.

Results and discussion

Fig. 1, a shows the results of specular reflectance measurements in the spectral range 0.2 - 25 μm from composite samples with the addition of 4 w.% carbon nanotubes with structured surface by pulsed laser irradiation with structuring step h = 400 μm. On a larger scale, Fig. 1, b shows the results of reflectance measurements in the range of 0.2 - 2.5 μm.



a B

Fig. 1. Mirror reflection coefficient of the original polymer and composite before and after laser surface treatment. N1 - epoxy polymer; N2 - composite without structuring; N3 - composite with furrow profiling (Ep = 12.5 J, h = 400 μm); N4 - composite with pyramid profiling (Ep = 12. 5 J, h = 400 μm); N5 - composite with groove profiling (Ep = 13 J, h = 400 μm); N6 - composite with pyramidal profiling (Ep = 13 J, h = 400 μm); (a) in the spectral range 0.2-25 μm (b) - in the spectral range 0.2 - 2.5 μm

Thus, the results of the present study have demonstrated the possibility of creating "reflectorless" in a wide spectral range (0.2 - 25 μm) surfaces of composite materials based on polymers filled with CNTs by controlled pulsed laser processing. A number of factors play an important role here. First of all, it is the formation of a certain topology of the near-surface area of the samples, possessing a refractive index close to unity and providing multiple reflection and absorption of EMI. At the same time, the formation of microscopic inhomogeneities and cavities on the side walls of grooves and pyramids, as well as due to the intrinsic absorbing properties of "Taunit-M" MWCNTs, it is possible to noticeably increase the efficiency of such structured materials.

Conclusion

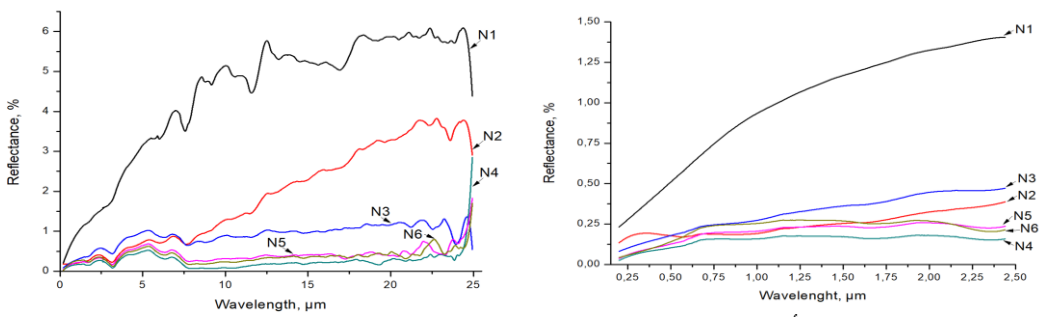
The developed structured composite materials may be of interest as antireflection coatings for optical and optoelectronic systems of spacecraft.

المقدمة

تتناول هذه الورقة البحثية طريقة هيكلة سطح مادة مركبة لإنشاء طلاءات مضادة للانعكاس من خلال استخدام إشعاع الليزر النبضي. والفكرة هي تكوين بنية دورية على سطح المادة الأولية عن طريق "حرق" جزء من المادة بشعاع ليزر. تسمح الطريقة بالتحكم في ارتفاع وعرض الأخاديد وأتمتة عملية هيكلة سطح المادة بشكل عام. يتم استخدام البوليمر الإيبوكسي ED-20، مع حشوه بأنابيب نانوية كربونية متعددة الجدران، كمادة أساسية. تكمن جدوى استخدام أنابيب نانوية كربونية متعددة الجدران (MWCNTs) في خصائص الامتصاص الفعالة للهياكل الشبيهة بالجرافين وإمكانية تكوين هياكل ماصة بالجملة في البوليمر [1]، فضلاً عن التكلفة المنخفضة لأنابيب الكربون النانوية أحادية الجدار.

النتائج والمناقشة

الشكل 1- أ يوضح نتائج قياسات الانعكاس المرآوي في النطاق الطيفي 0.2 - 25 ميكرومتر من العينات المركبة مع إضافة 4% من أنابيب الكربون النانوية ذات السطح المنظم بواسطة إشعاع الليزر النبضي مع خطوة تنظيم h = 400 ميكرومتر. على نطاق أكبر، يوضح الشكل 1- ب نتائج قياسات الانعكاس في النطاق 0.2 - 2.5 ميكرومتر.



ب) أ)

الشكل 1. معامل انعكاس المرآة للبوليمر الأصلي والمركب قبل وبعد معالجة السطح بالليزر- N1 . (N1 - بوليمر إيبوكسي)،(N2 – مركب بدون هيكلة)، (N3 - مركب مع ملف تعريف النلم (= Ep 12.5 J، h = 400 ميكرومتر))،(N4 - مركب مع تشكيل هرمي (Ep = 12. 5 J، h = 400 ميكرومتر)،(N5 - مركب مع تحديد ملامح الأخدود (Ep = 13 J، h = 400 ميكرومتر))،(N6 - مركب مع ملامح هرمية (Ep = 13 J، h = 400 ميكرومتر))

(أ) في النطاق الطيفي 0.2-25 ميكرومتر (ب) - في النطاق الطيفي 0.2 - 2.5 ميكرومتر

وبالتالي، أثبتت نتائج الدراسة الحالية إمكانية إنشاء أسطح "خالية من الانعكاس" في نطاق طيفي واسع (0.2 - 25 ميكرومتر) من المواد المركبة القائمة على البوليمرات المملوءة بأنابيب الكربون النانوية عن طريق معالجة الليزر النبضي المتحكم فيه. يلعب عدد من العوامل دورًا مهمًا هنا. أولاً وقبل كل شيء، يتعلق الأمر بتكوين طوبولوجيا معينة للمساحة القريبة من سطح العينات، والتي تمتلك مؤشر انكسار قريبًا من الوحدة وتوفر انعكاسًا وامتصاصًا متعددين للتداخل الكهرومغناطيسي.

في الوقت نفسه، من الممكن زيادة كفاءة مثل هذه المواد المهيكلة بشكل ملحوظ من خلال تكوين عدم التجانس المجهري والتجاويف على الجدران الجانبية للأخاديد والأهرامات، فضلاً عن خصائص الامتصاص الجوهرية لأنابيب الكربون النانوية متعددة الجدران "Taunit-M"

الخاتمة

يمكن أن تكون المواد المركبة الهيكلية المتطورة موضع اهتمام كطلاءات مضادة للانعكاس للأنظمة البصرية والبصرية الإلكترونية للمركبات الفضائية.

References المراجع والمصادر

1. I.N. Parkhomenko, L.A. Vlasukova, I.D. Parfimovich, F.F. Komarov, L.S. Novikov, V.N. Chernik, D.V. Zhigulin. Acta Astronautica, 204, 124 (2023). DOI: 10.1016/j.actaastro.2022.12.046