

A. P. Smirnov, A. A. Iptyshev, D. V. Vavilov, A. V. Shigina

DESIGN OF INTERNAL INTERACTION OF TOOTH GEAR WITH SMALL DIFFERENCE IN TEETH NUMBER . OBJECT-ORIENTED APPROACH

The authors present realization of object-oriented model in the shape of a program complex for synthesis and modeling of interaction of geometry differ-modular external and internal tooth gears GearAnalysis, execution of synthesis of geometry differ-modular external and internal tooth gears and its analysis in CAE-programs.

Keywords: tooth gears, object-oriented model, object-oriented decomposition, synthesis of tooth gears, simulation.

© Смирнов А. П., Иптышев А. А., Вавилов Д. В., Шигина А. В., 2012

УДК 629.78.023.222

А. А. Чернятина, В. А. Харламов, Р. А. Ермолаев, А. С. Паршин, Г. А. Александрова

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОПРОЗРАЧНОГО ТЕРМОРЕГУЛИРУЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СОЛНЦЕЗАЩИТНЫХ ЭКРАНАХ*

Изготовлен радиопрозрачный терморегулирующий материал на основе полиимидной пленки с германиевым покрытием. Исследованы оптические, электрические и радиотехнические характеристики материала в зависимости от толщины слоя германия. Показано, что полученные образцы германиевого покрытия имеют требуемые исходные характеристики для возможности применения в качестве солнцезащитных экранов рефлекторов и излучателей антенн космических аппаратов.

Ключевые слова: радиопрозрачное терморегулирующее покрытие, германиевое покрытие, солнцезащитный экран.

Решение всей совокупности сложных конструктивных, технических и технологических задач при разработке, создании и эксплуатации космических средств невозможно без широкого развития и внедрения результатов космического материаловедения. При разработке современных космических аппаратов (КА) требуются новые материалы, которые должны выдерживать нагрузки космических полетов (высокую температуру, давление и вибрационные нагрузки на этапе выведения, перепады температур, связанные с солнечной освещенностью при движении искусственного спутника Земли по орбите в космическом пространстве, глубокий вакуум, радиационное воздействие, электростатические разряды, микрометеориты и микрочастицы и т. д.) и иметь достаточно низкую удельную массу. Весь спектр воздействий на металлические и неметаллические элементы конструкций оказывает существенное влияние на их физические свойства и, как следствие, на надежность и долговечность космических средств различного назначения.

Одним из основных факторов, определяющих надежность и долговечность работы КА, является стабильность его теплового режима, так как современная оптическая и радиоэлектронная аппаратура КА работает в узком диапазоне температур. В систему терморегулирования аппаратов входят различные терморегулирующие покрытия (ТРП), которые устанавливают

баланс между выделением тепла внутри КА, энергией, поглощаемой из космоса, и энергией, излучаемой в космическое пространство.

ТРП характеризуются терморadiационными характеристиками, которые под действием различных факторов космического пространства (из них наиболее значимым является ионизирующее излучение) могут ухудшаться, что приводит к увеличению температуры внутри КА и снижению сроков его активного существования (САС). Для создания перспективных современных КА с САС до 15 лет необходимо создание ТРП, обладающих низким газовыделением, стабильными терморadiационными характеристиками и достаточной электропроводностью при длительной эксплуатации в космосе. Разработка таких покрытий позволит снизить до минимума отклонения от заданного теплового режима, уменьшить сбои в работе и отказы высокочувствительной оптической и радиоэлектронной аппаратуры, что даст возможность обеспечивать САС КА до 15 лет [1; 2].

Так, для защиты рефлекторов и облучателей антенн применяются светозащитные терморегулирующие экраны. Применяемые ранее экраны из нескольких слоев стеклоткани обладали рядом недостатков: выделяли пылевые частицы, имели большую массу (~ 300 г/м²) и накапливали электростатический заряд, так как стеклоткань является диэлектриком.

*Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (№ контракта П590).

В данной работе в качестве перспективного материала светозащитных экранов предлагается использовать покрытие на основе радиационно стойкой полимерной пленки с напыленным на нее полупроводниковым материалом с высоким показателем преломления ($n > 3$) и электрическим сопротивлением, достаточно высоким для обеспечения радиопрозрачности материала и одновременно обеспечивающим стекание электростатического электричества, т. е. в диапазоне $10^6 \dots 10^8 \text{ Ом}/\square$. В качестве пленки-подложки может быть использована полиимидная пленка, обладающая высокой радиационной стойкостью (I группа по ГОСТ 9.711–85) и широким температурным диапазоном эксплуатации.

Целью данной работы является опробование нанесения тонких слоев полупроводников (германия и оксида индия) на полиимидную пленку для применения в качестве терморегулирующих, радиопрозрачных экранов рефлекторов и облучателей антенн.

В отечественной технике аналогичных покрытий нет. За аналог может быть принят радиопрозрачный терморегулирующий материал фирмы Alenia, представляющий собой полиимидную пленку (каптон), толщиной 25 мкм, напыленную германием (Material specification. M42CD03Z. Polyimide film metalized with germanium for thermal control application / Alenia Aerospazio).

Методика экспериментальных исследований. Тонкие слои германиевого покрытия и слои оксида индия на полиимидной пленке получали методом термического испарения в вакууме с резистивным нагревом на лабораторной установке УВН-74ПЗ.

Перед напылением, для обеспечения адгезии покрытий к пленке, подложки обрабатывали в тлеющем разряде (продолжительность обработки 3...5 мин).

Скорость испарения германия и оксида индия определяли с помощью кварцевого резонатора и прибора КИТ-1.

Были получены серии пленок с разными толщинами напыленного германия (от 0,03 до 0,32 мкм) при скорости конденсации германия от 3 до 40 Å/с в вакууме $(0,9 \dots 2) \cdot 10^{-5} \text{ мм рт. ст.}$ Толщина слоя оксида индия составила 5...10 нм.

Толщину слоя германия определяли на стеклянных образцах-свидетелях с помощью микроинтерферометров МИИ-4 и МИИ-11.

Измерение коэффициента отражения солнечного излучения R_S и коэффициента излучения E_n образцов пленок с германиевым покрытием проводили при помощи фотометра ФМ-59 и терморадиометра ТРМ-И. Спектральное пропускание T_λ измеряли спектрофотометрами СФ-26 и LAMBDA 950 в диапазоне длин волн от 250 до 2500 нм.

Интегральный коэффициент пропускания T_S рассчитывался как среднее арифметическое значений T_λ , измеренных на длинах волн, соответствующих разбиению диапазона длин волн солнечного спектра на 50 равноэнергетических участков.

Изучение микрорельефа поверхности германиевого покрытия на полиимидной пленке проводили ме-

тодами оптической микроскопии и атомно-силовой сканирующей зондовой микроскопии.

Поверхностное электросопротивление ρ_\square измеряли при помощи двухэлектродного датчика, тераометром типа Е6-13А. Контроль радиотехнических характеристик проводили с помощью измерителей КСВН панорамных Р2-67 и Р2-65.

Результаты и их обсуждение. Полученное германиевое покрытие имеет темно-серый цвет с зеркальным блеском. При толщине слоя германия более 0,15 мкм наблюдается скручивание пленки-основы, что говорит о возникновении внутренних напряжений. В то же время, при толщинах 0,03...0,05 мкм германиевое покрытие полупрозрачно, что недопустимо для применения в качестве солнцезащитных экранов, так как может привести к перегреву закрываемой поверхности.

Проведены измерения интегрального коэффициента отражения солнечного излучения (R_S) и расчета интегрального коэффициента пропускания (T_S) (рис. 1).

Коэффициент отражения солнечного излучения R_S германиевого покрытия зависит от толщины покрытия и связан с интерференционными эффектами. Наибольшая величина R_S достигает 0,66 и соответствует толщине покрытия от ~0,05 до ~0,06 мкм.

При увеличении толщины напыленного германия пропускание T_S уменьшается. Максимальное пропускание света для толщины 0,03 мкм составляет 39 %. Минимального пропускания можно добиться напылением германия на полиимидную пленку с двух сторон, так на образцах с толщиной напыленного германия 0,10 и 0,12 мкм пропускание T_S равно 8 %.

Для такого образца получена зависимость пропускания T_λ от длины волны (рис. 2).

Для образцов пленки с напыленным германием измерены коэффициенты отражения и пропускания света в диапазоне длин волн 380...1100 нм (рис. 3).

Коэффициент отражения пленки с германиевым покрытием толщиной 0,056 мкм выше, чем с покрытием толщиной 0,15 мкм (на длинах волн 600...1100 нм). Это объясняется усилением отражения за счет интерференции: толщина германия 0,056 мкм соответствует оптической толщине $\lambda/4$ для длины волны 900 нм.

Приведены измерения поверхностного сопротивления напыленного германиевого покрытия (рис. 4).

При увеличении толщины напыленного германия поверхностное сопротивление ρ_\square уменьшается. Требуемое поверхностное сопротивление ($\leq 10^8 \text{ Ом}/\square$) достигается при толщине слоя германия не менее 0,08 мкм.

Таким образом, установлено, что пленки с толщиной слоя германия 0,08...0,10 мкм наиболее полно соответствуют требованиям к покрытию (см. рис. 2–4).

Структуру поверхности образцов германиевого покрытия с толщиной слоя германия 0,08 мкм и подслоем оксида индия толщиной ~0,005 мкм исследовали на сканирующей зондовой нанолaborатории «Интегра Аура» методом АСМ в полуконтактном режиме. Размер сканов 3×3 мкм.

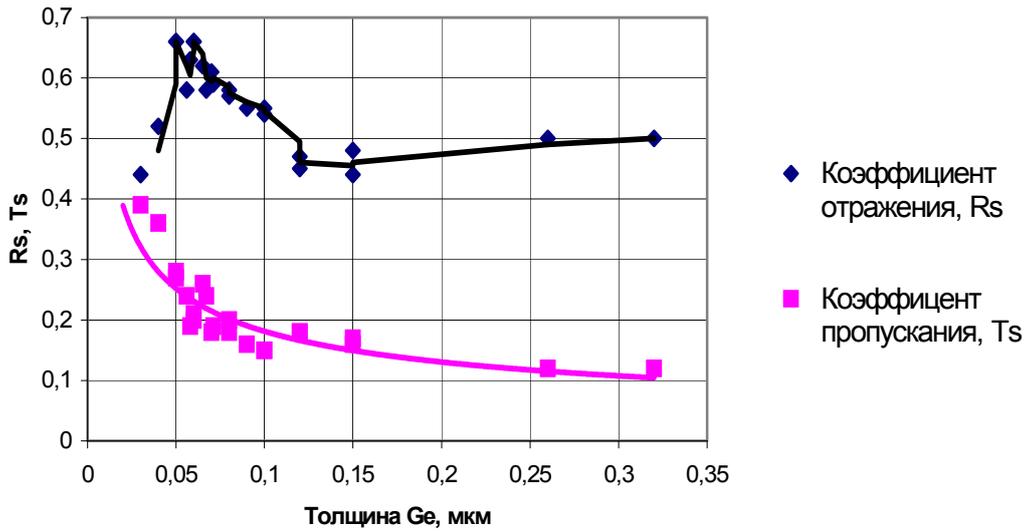


Рис. 1. Зависимость коэффициентов отражения R_s и пропускания T_s от толщины слоя германия

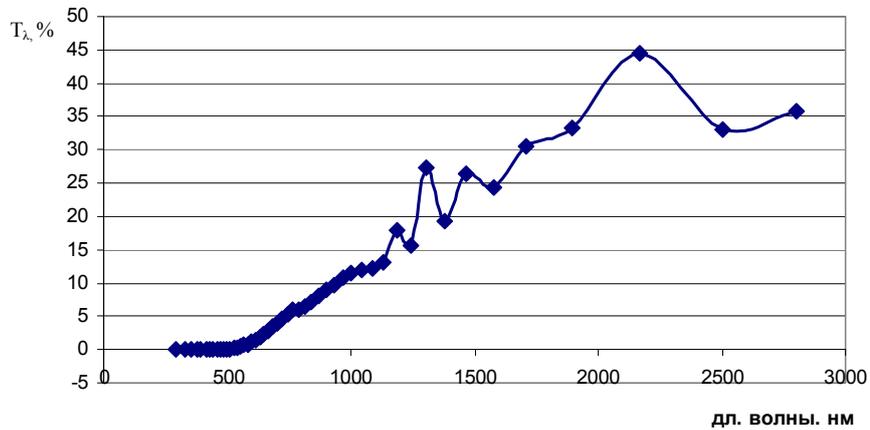


Рис. 2. Зависимость коэффициента пропускания T_s от длины волны

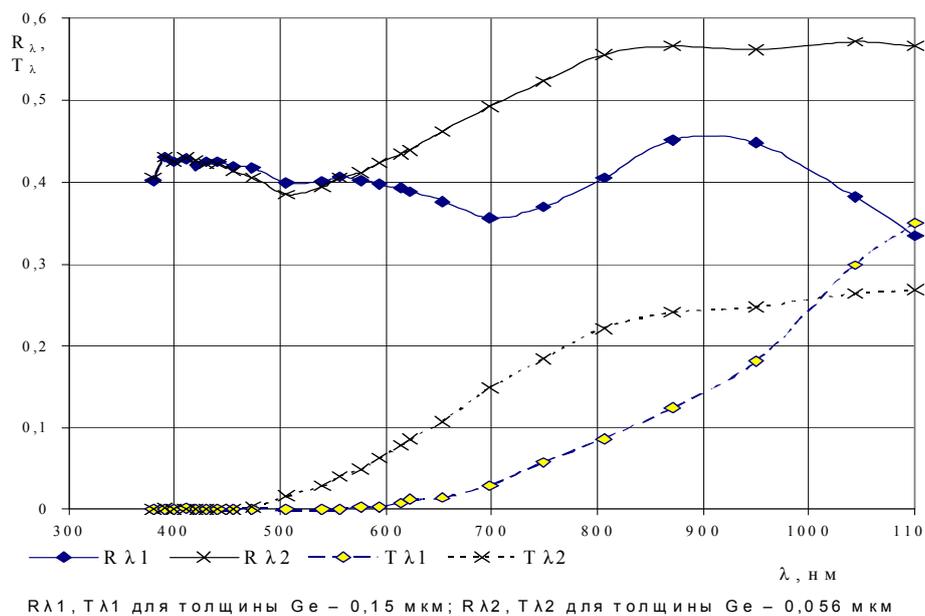


Рис. 3. Зависимость коэффициентов отражения и пропускания от толщины слоя германия и длины волны

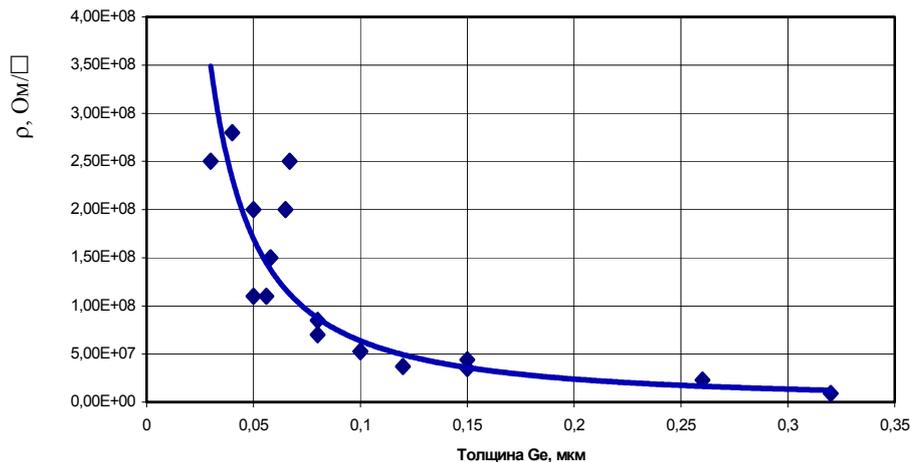


Рис. 4. Зависимость поверхностного сопротивления от толщины слоя германия

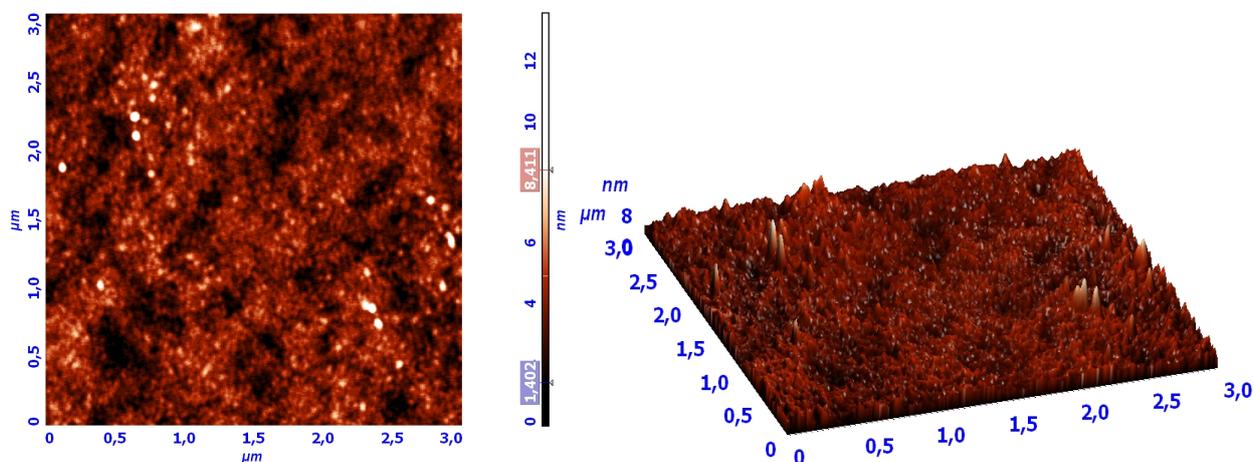


Рис. 5. 2D (слева) и 3D (справа) АСМ-изображения поверхности образца с германиевым покрытием

Данные АСМ-изображений (рис. 5) показывают наличие нанокластеров округлой формы на поверхности исследуемой структуры. Для определения шероховатости поверхности и диаметра нанокластеров была проведена статистическая обработка полученных АСМ-изображений с помощью модуля обработки изображений программы NOVA. Данным методом определено, что средняя высота наноструктур (зерен), составляющих основную часть поверхности образца, достигает 8,5 нм, а их диаметр – около 100 нм. Значение средней шероховатости поверхности германиевого покрытия на полиимидной пленке колеблется от 0,39 до 1,2 нм.

Потери радиоизлучения напыленных германием и оксидом индия пленок не превышают 0,02 дБ в широком диапазоне длин волн, что говорит о достаточной радиопрозрачности материала и возможности его применения в качестве радиопрозрачного экрана.

При нанесении пленок германия разных толщин (от 0,03 до 0,32 мкм), на полиимидную пленку-основу выявлено, что наиболее перспективными являются образцы материала с толщиной слоя германия 0,08...0,10 мкм. Такие образцы обладают достаточ-

ным коэффициентом отражения ($R_s = 0,54...0,58$) и требуемым поверхностным сопротивлением $\rho_{\square} = (6...10) \cdot 10^7$ Ом/□.

Уменьшение коэффициента пропускания светового излучения можно добиться напылением германия на полиимидную пленку с двух сторон. Пробные образцы двухстороннего напыления показали уменьшение коэффициента пропускания T_s до 8 %.

Планируется продолжение исследований с целью разработки и внедрения терморегулирующего радиопрозрачного покрытия для применения в качестве солнцезащитного экрана для рефлекторов и излучателей антенн.

Библиографические ссылки

1. Чернявский Г. М., Графодатский О. С., Козлов А. Г. Анализ сбоев бортовой РЭА геостационарных спутников связи / ЦНТИ «Поиск». СИП. Сер. 1. № 12. М., 1981.
2. Графодатский О. С., Ислаев Ш. Н. Взаимодействие спутников связи с окружающей средой / МГП «Раско». Томск, 1993.

A. A. Chernyatina, V. A. Kharlamov, R. A. Ermolaev,
A. S. Parshin, G. A. Alexandrova

**EXPERIMENTAL STUDY OF RADIOTRANSSPARENT THERMAL CONTROL COATING
FOR APPLICATION IN SUNSHIELDS ANTENNAS**

Radiotransparent thermal control material, based on polyimide film, with germanium coating is manufactured. Optical, electrical and radiotechnical properties of the material according to germanium layer thickness are studied. It is demonstrated that germanium coating samples have the required properties and can be recommended to be used as sunshields for spacecraft antenna reflectors and horns.

Keywords: radiotransparent, thermal control coating, germanium coating, sunshield.

© Чернятина А. А., Харламов В. А., Ермолаев Р. А., Паршин А. С., Александрова Г. А., 2012