

Обозначим  $(\theta, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_r, \theta^1, \theta^2, \dots, \theta^r)$  - кобазис дуальный базису  $(\xi, \nu_1, \nu_2, \dots, \nu_r, \nu^1, \nu^2, \dots, \nu^r)$ . Тогда:

$$\begin{aligned}\omega^a &= C_a^\alpha \theta^\alpha; \\ \omega_a &= C_a^\alpha \theta_\alpha; \\ \omega &= \theta.\end{aligned}\tag{1}$$

Продифференцируем (1.1) внешним образом:  $d\omega^a = dC_a^\alpha \wedge \theta^\alpha + C_a^\alpha d\theta^\alpha$ . С учетом (1) и первой группы структурных уравнений почти контактной метрической структуры, индуцированной на пространстве расслоения Бутби-Вана [1], имеем

$$C_a^\alpha d\theta^\alpha = (-dC_a^\alpha + C_a^b \omega_b^a - \sqrt{-1}C_a^\alpha \theta) \wedge \theta^\alpha + B^{abc} C_b^\beta C_c^\gamma \theta_\beta \wedge \theta_\gamma.\tag{2}$$

Заметим, что  $C_a^\alpha C_a^\gamma = \langle C_a^\alpha \varepsilon_a, C_b^\gamma \varepsilon^b \rangle = \langle j(\nu_\alpha), j(\nu^\gamma) \rangle = \delta_\alpha^\gamma$ . Свернув (2) с  $C_a^\gamma$  получим

$$d\theta^\gamma = (-C_a^\gamma dC_a^\alpha + C_a^\gamma C_a^b \omega_b^a - \sqrt{-1}\delta_\alpha^\gamma \theta) \wedge \theta^\alpha + B^{abc} C_a^\gamma C_b^\beta C_c^\eta \theta_\beta \wedge \theta_\eta.$$

Обозначив,

$$\theta_\alpha^\gamma = -C_a^\gamma dC_a^\alpha + C_a^\gamma C_a^b \omega_b^a,\tag{3}$$

Получим:

$$d\theta^\gamma = \theta_\alpha^\gamma \wedge \theta^\alpha - \sqrt{-1}\delta_\alpha^\gamma \theta \wedge \theta^\alpha + B^{abc} C_a^\gamma C_b^\beta C_c^\eta \theta_\beta \wedge \theta_\eta.\tag{4}$$

Аналогично, дифференцируя (1.2) получим

$$d\theta_\gamma = (-C_\gamma^a dC_a^\alpha - C_\gamma^a C_b^\alpha \omega_b^a + \sqrt{-1}\delta_\gamma^\alpha \theta) \wedge \theta_\alpha + B_{abc} C_\gamma^a C_b^\beta C_c^\eta \theta^\beta \wedge \theta^\eta.\tag{5}$$

Заметим, что дифференцирование внешним образом соотношения  $C_a^\alpha C_a^\gamma = \delta_\alpha^\gamma$  дает  $C_a^\alpha dC_a^\gamma = -C_a^\gamma dC_a^\alpha$ . С учетом этого имеем:

$$d\theta_\gamma = -\theta_\alpha^a \wedge \theta_\alpha + \sqrt{-1}\delta_\gamma^\alpha \theta \wedge \theta_\alpha + C_\gamma^a C_b^\beta C_c^\eta B_{abc} \theta^\beta \wedge \theta^\eta.\tag{6}$$

Далее, в соответствии с (4) соотношение (2) можно переписать в виде:

$$(dC_\gamma^a - C_\gamma^b \omega_b^a + \sqrt{-1}C_\alpha^a \theta_\gamma^\alpha) \wedge \theta^\gamma + (B^{abc} C_a^\gamma C_d^\beta C_b^\eta C_c^\eta - B^{abc} C_b^\beta C_c^\gamma) \theta_\beta \wedge \theta_\eta = 0.$$

Откуда с учетом линейной независимости форм  $\{\theta^\alpha, \theta_\beta\}$  и леммы Картана существует набор функций  $\{C_{\alpha\beta}^a\}$  таких, что

$$\begin{aligned}1. B^{abc} C_b^\beta C_c^\gamma &= C_\alpha^a C_\gamma^d C_b^\beta C_c^\eta B^{abc}; \\ 2. dC_\gamma^a - C_\gamma^b \omega_b^a + \sqrt{-1}C_\alpha^a \theta_\gamma^\alpha &= C_{\alpha\beta}^a \theta^\beta; C_{[\alpha\beta]}^a = 0.\end{aligned}\tag{7}$$

Соотношение (7.1) перепишем в виде  $(\frac{1}{r} B^{abc} \delta_g^d - B^{abc} \delta_g^a) = C_b^\beta C_c^\eta C_d^\alpha C_\alpha^g = 0$ . В силу того, что это соответствие должно выполняться тождественно относительно  $\{C_\alpha^a\}$ , в предположении  $r \geq 2$  получаем  $\frac{1}{r} B^{abc} \delta_g^d = B^{abc} \delta_g^a$ . Откуда следует, что  $B^{abc} = 0$ , то есть база расслоения – многообразие Ходжа. Если же  $r=1$ , то соотношение (7.1) выполняется автоматически (обе его части равны нулю).

### Список литературы:

1. Борисовский И.П. О геометрии главных  $T^l$  - расслоений над многообразием Ходжа//Математические заметки. 1998.т. 64. выпуск 6. с. 824-829.

УДК 53.084

**М.А.ВЕЛИЧКО**

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры информатики  
Белгородский государственный национальный исследовательский университет  
(Россия, г. Белгород)

**ТЕРМОАНОМОМЕТР НА ОСНОВЕ АЛМАЗОПОДОБНЫХ ПЛЕНОК**

*Рассмотрен метод синтеза алмазоподобных пленок (АПП) путем химического осаждения углерода, получаемого в плазматроне при разложении кремнийорганического масла. Кремний-углеродные пленки легируются атомами различных металлов для получения резисторов, обладающих свойствами, необходимыми для использования их во времяпролетных теплоточных датчиках расхода газа.*

*Ключевые слова:* алмазоподобные пленки (АПП), нанокompозиты, температурный коэффициент сопротивления, термоанемометр, плазматрон, химическое осаждение

В статье [1] была показана схема работы времяпролетного теплоточного расходомера газа. В датчиках расхода используются резисторы, изготовленные на основе алмазоподобных пленок (АПП). В процессе эксплуатации датчиков они неоднократно сильно нагреваются короткими токовыми импульсами и быстро остывают, передавая тепловой импульс по направлению потока газа. В данной статье рассмотрен способ синтеза таких АПП и их свойства.

Проблема получения качественных резисторов состоит в достижении сочетания высокой надежности, линейности, высокой стабильности, низкого значения температурного коэффициента сопротивления (ТКС), высокой коррозионной стойкости. Технологический процесс получения такого рода элементов должен быть достаточно производителен и относительно дешев. Известно, что резистивные материалы, используемые в настоящее время, не имеют комплекса вышеперечисленных свойств, а их технология строится в основном на применении электропроводящих пленок и паст, имеющих высокую зернистость структуры, а значит, и высокую степень износа, т. е. низкую надежность. Используемые в данной работе резисторы создаются на основе углеродных пленок, имеющих структуру алмаза. Это позволяет называть их алмазоподобными пленками. К основным функциональным достоинствам АПП и резисторов на их основе относятся термостойкость, высокая стабильность, стойкость к сверхвысокой плотности тока, отсутствие реактивного сопротивления. Введение в АПП легирующей примеси позволяет получить промежуточные свойства материала от металла до диэлектрика.

Существенным фактором, влияющим на структуру и свойства пленок, являются механические напряжения, возникающие в структуре при совместном распылении металла и синтезе АПП. Причины возникновения напряжений могут быть различны. Это и различие коэффициентов линейного расширения подложки и пленки, и собственные напряжения в ней, возникающие при больших концентрациях легирующей примеси. Определение суммарных напряжений структуры "подложка-пленка" производилось путем измерения изгиба кремниевой пластины с нанесенной пленкой методом рентгеновской дифракции. После ионной очистки в стандартном режиме шероховатость поверхности подложки улучшается за счет удаления микрорельефа. Макрорельеф при этом практически не изменяется. После нанесения АПП ее поверхностная шероховатость не повторяет структуру исходной поверхности. Исследование структуры пленок проводилось методами просвечивающей электронной микроскопии, электронографии, рентгеновской дифракции, растровой электронной микроскопии. Пленки для исследований выращивали на подложках из ситалла, графита, кремния и арсенида галлия. Было изучено также, как влияет на структуру отжиг пленок при  $T=600^{\circ}\text{C}$ . Отжиг проводился в вакууме с остаточным давлением  $(2,63-3,9) \cdot 10^{-3}$  Па в течение 30 мин.

Одним из важнейших свойств полученных АПП является высокая поперечная теплопроводность, достигаемая за счет фононового механизма теплообмена, выше  $10^4$  Вт/М·К.

В результате исследований была разработана методика получения сопротивлений на основе АПП с заданными свойствами:

- задаваемая величина ТКС  $10^{-6}-10^{-1}$  К<sup>-1</sup>.
- широкий диапазон удельного сопротивления: от  $10^{-4}$  до  $10^9$  Ом·см;
- высокая стойкость к сверхбольшим плотностям тока (более  $10^6$  А/см<sup>2</sup>);
- высокая радиационная стойкость;
- высокая однородность, термостойкость и низкий уровень шумов.

Эти свойства позволили разработать и создать набор экспериментальных датчиков с заданными параметрами. Главным параметром, для которых является высокий ТКС.

Ниже представлены данные эксперимента готового образца АПП легированной никелем в камере тепла и холода (рис. 1). Снималась зависимость сопротивления от температуры для

нахождения ТКС в актуальном диапазоне температур от 5 до 90 °С. Аналогичные результаты были получены и при экспериментах с образцами легированных нитридом алюминия (AlN), что может говорить о взаимозаменяемости веществ для легирования.

### Выводы

Используемый метод легирования углеродных пленок позволяет вводить в них в качестве примеси такие металлы как W, Mo, Ta, Ti, Nb, Hf, Cr, Al, Cu, Re в концентрации, достаточной для управления электрическим сопротивлением в широком диапазоне (от 0,1 Ом до 10 МОм). Отличительной особенностью таких пленок от ранее известных является возможность управления температурным коэффициентом сопротивления от  $-2 \cdot 10^{-5}$  до  $+10^{-2} \text{ K}^{-1}$ . Способность выдерживать плотность тока до 106 А/см<sup>2</sup> и отсутствие реактивного сопротивления.

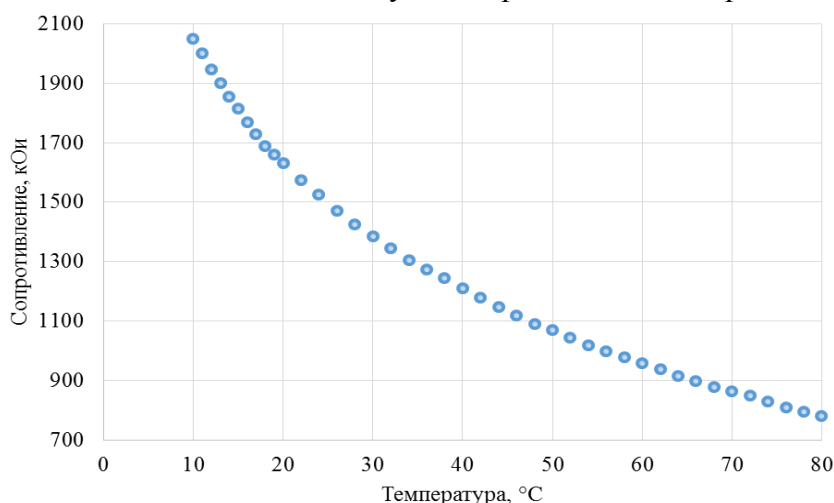


Рис. 1. Зависимость сопротивления АПП, легированных никелем, от температуры

Указанные свойства позволили получить резисторы нового поколения, способные рассеивать мощность до 250 Вт сохраняя работоспособность до температуры 270°С.

АПП, благодаря фоновому механизму теплообмена, имеют высокую поперечную теплопроводность, что позволяет успешно применять ее в теплоточном расходомере.

Приведенных выше свойства АПП являются достаточными для использования их для создания датчика скорости потока газов и жидкостей.

### Список литературы:

1. Величко М.А. Времяпролетный теплоточный расходомер газа с датчиками на основе алмазоподобных пленок // Научный альманах. Тамбов. 2015. №11-4(13). с. 253

### УДК 378.2

**ИСАЕВА Л. М.**

преподаватель кафедры «Математики и информатики»

ГБПОУ «Грозненский государственный колледж экономики и информационных технологий»  
(Россия, г. Грозный)

**ЗАКУЕВ Р. Н.**

зам. директора по учебной работе

ГБПОУ «Грозненский государственный колледж экономики и информационных технологий»  
(Россия, г. Грозный)

### ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕХОДА НА СТАНДАРТЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ПРИ ПРЕПОДАВАНИИ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОГО КОМПЛЕКСА «ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ» В СПО

*В статье рассматриваются роль и место междисциплинарного комплекса «Инфокоммуникационные системы и сети», где важную роль играет изучение начальных правил выполнения и оформле-*