

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІ**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**

**«БЕЙСЫЗЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДЕГІ ХАОС ЖӘНЕ
ҚҰРЫЛЫМДАР. ТЕОРИЯ ЖӘНЕ ТӘЖІРИБЕ»
XII ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҒЫЛЫМИ
КОНФЕРЕНЦИЯСЫНЫҢ
МАТЕРИАЛДАРЫ**

**МАТЕРИАЛЫ
XII МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«ХАОС И СТРУКТУРЫ В НЕЛИНЕЙНЫХ
СИСТЕМАХ. ТЕОРИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТ»**

**ПАВЛОДАР
2022**

temperature decreases. This is consistent with hopping transport of holes for which the activation energy of conductivity at low temperatures decreases.

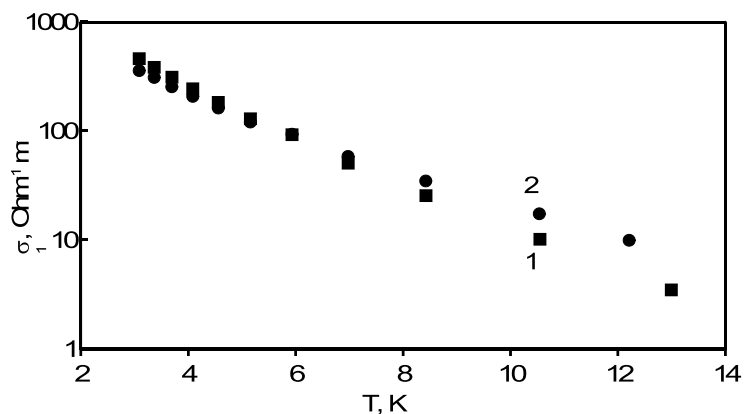


Figure 2 – Temperature dependencies of electrical conductivity of $\text{CuCr}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}_2$ samples. Numbers of samples (curves) correspond to the numbers of samples (curves) in fig. 1

Electrical conductivity of the samples near room temperature was nearly independent on the duration of synthesis. However activation energy of conductivity at low temperatures decreases significantly as the duration of synthesis increases. This points out to the increase of the density of states near Fermi energy with an increase of synthesis time.

REFERENCES

- 1 M. Poienar, V. Hardy, B. Kundys, K. Singh, A. Maignan, F. Damay, C. Martin, Journal of Solid State Chemistry. 185 56 (2012)
- 2 D. Li, X. Fang, Z. Deng, S. Z. Ruhua, T. W. Dong, T. Wang, Y. Zhao, G., Meng, X. Zhu, Journal of Physics D: Applied Physics, 40 4910 (2007).
- 3 R. Daou, R. Frésard, V. Eyert, S. Hébert, A. Maignan, Science and Technology of Advanced Materials, 18 919 (2017)
- 4 V.A. Kulbachinskii, V.G. Kytin, D. Yu. Kondratieva, E.A. Konstantinova, A.V. Pavlikov, A.N. Grigoriev, A.S. Mankevich, I.E. Korsakov Low Temperature Physics, 45194 (2019)

МЕТОД МАТРИЦАНТА И СВОЙСТВА ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ

КУРМАНОВ А. А.

ст. преподаватель, Торайгыров университет, г. Павлодар

ИСПУЛОВ Н. А.

к.ф.-м.н., профессор, Торайгыров университет, г. Павлодар

ДОСУМБЕКОВ К. Р.

ст. преподаватель, Торайгыров университет, г. Павлодар

ЖУМАБЕКОВ А. Ж.

ст. преподаватель, Торайгыров университет, г. Павлодар

Физики из Вашингтонского государственного университета (г. Пуллман, шт. Вашингтон) нашли способ вписать электрическую цепь в кристалл, открыв возможность создания прозрачной трехмерной электроники, которую, подобно выгравированному наброску, можно стереть и изменить конфигурацию.

Работа, опубликованная в онлайн-журнале Scientific Reports [1], служит доказательством концепции феномена, впервые обнаруженного исследователями WSU случайно четыре года назад. В то время один докторант обнаружил 400-кратное увеличение электропроводности кристалла, просто оставив его на свету.

Мэтт МакКласки, профессор физики и материаловедения WSU, теперь использовал лазер для травления линии в кристалле. С электрическими контактами на каждом конце линии по ней протекал ток. Он также сравнил результат с т.н. Etch-a-Sketch («Волшебный экран», устройство для рисования). «Удивительно, что его можно перенастроить. Он также прозрачен», – объясняет он в пресс-релизе. «Есть определенные приложения, в которых было бы неплохо иметь схему, которая находится на окне или что-то в этом роде, где на самом деле это невидимая электроника».

До того, как это станет реальностью, предстоит пройти долгий путь — для начала, схему можно стереть, только нагрев ее на горячей плите. Это не совсем практично для окна. Но кажется, что в каждой лаборатории, которую вы видите в научно-фантастическом фильме, есть какой-то прозрачный электронный компьютер. Всегда забавно видеть, что технологии могут на самом деле догнать то, что, как воображает фантастика, может иметь место в далеком будущем.

Некоторое время ученые экспериментировали с кристаллами, чтобы увидеть, могут ли они стать новым видом памяти. Теперь ученые из Университета штата Вашингтон придумали, как заставить

прозрачный кристалл проводить электричество. Более того, его можно переконфигурировать и повторно использовать несколько раз.

Исследователи изучали возможности использования кристаллов для проведения электричества, но для этого требовался сильный нагрев. Как только кристаллы возвращались к комнатной температуре, эффект исчезал в течение нескольких дней. Но эта команда смогла ввести электрическую проводимость в кристаллы при комнатной температуре с помощью света, основываясь на случайном открытии четыре года назад. В результате эффект — увеличение электропроводности кристалла в 1000 раз — сохраняется до одного года. Затем один из ученых использовал лазер, чтобы вытравить в кристалле линию, по которой протекал электрический контакт на обоих концах.

Прозрачные проводники – материалы, прозрачные для видимого света, проводящие электрический ток. Используются для подведения электричества к светящимся элементам и для управления оптическими свойствами жидких кристаллов в таких устройствах, как экраны телевизоров, мониторов, телефонов; также используются для нагрева прозрачной лабораторной посуды. Примеры прозрачных проводников: SnO₂-оксид олова(IV), In₂O₃-оксид индия(III), Cn-графен, ZnO-оксид цинка [2].

Электромагнитные процессы в прозрачных кристаллах описываются уравнениями Максвелла:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}; \\ \operatorname{rot} \vec{H} &= \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}; \\ \operatorname{div} \vec{D} &= \rho; \\ \operatorname{div} \vec{B} &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Эти уравнения следует дополнить материальными соотношениями:

$$\begin{aligned} D_i &= \varepsilon_{ij} E_j \\ B_i &= \mu_{ij} H_j \end{aligned} \quad (2)$$

В проводящих средах эти материальные уравнения дополняются ещё законом Ома:

$$j_i = \sigma_{ij} E_j \quad (3)$$

Не теряя общности получаемых результатов, для расчётов возьмём кристалл ромбической сингонии. Тогда эти уравнения можно преобразовать к виду:

$$\begin{aligned} \frac{dE_y}{dz} &= i(\mu_0 \mu_x \omega - \frac{k_y^2}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_z - i \sigma_z}) H_x + i \frac{k_x k_y}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_z - i \sigma_z} H_y; \\ \frac{dH_x}{dz} &= i(\omega \varepsilon_0 \varepsilon_y - \frac{k_x^2}{\omega \mu_0 \mu_z} - i \sigma_y) E_y + i \frac{k_x k_y}{\omega \mu_0 \mu_z} E_x; \\ \frac{dH_y}{dz} &= -i \frac{k_x k_y}{\omega \mu_0 \mu_z} E_y + i(\frac{k_y^2}{\omega \mu_0 \mu_z} - \omega \varepsilon_0 \varepsilon_x + i \sigma_x) E_x; \\ \frac{dE_x}{dz} &= -i(\frac{k_x k_y}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_z - i \sigma_z}) H_x + i(\frac{k_x^2}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_z - i \sigma_z} - \omega \mu_0 \mu_y) H_y. \end{aligned} \quad (4)$$

Расположение напряжённостей в таком порядке связано с поляризацией ТЕ и ТН, в предположении, что волна распространяется вдоль оси Z. Видим похожие элементы, собираем в матричное уравнение:

$$\frac{d\vec{u}}{dz} = \hat{B} \vec{u}, \quad \vec{u} = (E_y, H_x, H_y, E_x)^t \quad (5)$$

В уравнение (3) входит матрица коэффициентов:

$$\hat{B} = \begin{bmatrix} 0 & b_{12} & b_{13} & 0 \\ b_{21} & 0 & 0 & b_{24} \\ -b_{24} & 0 & 0 & b_{34} \\ 0 & -b_{13} & b_{43} & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$b_{12} = i(\mu_0 \mu_x \omega - \frac{k_y^2}{\omega \epsilon_0 \epsilon_z - i \sigma_z}); \quad b_{13} = i \frac{k_x k_y}{\omega \epsilon_0 \epsilon_z - i \sigma_z};$$

$$b_{21} = i(\omega \epsilon_0 \epsilon_y - \frac{k_x^2}{\omega \mu_0 \mu_z} - i \sigma_y); \quad b_{24} = i \frac{k_x k_y}{\omega \mu_0 \mu_z};$$

$$b_{34} = i(\frac{k_y^2}{\omega \mu_0 \mu_z} - \omega \epsilon_0 \epsilon_x + i \sigma_x); \quad b_{43} = i(\frac{k_x^2}{\omega \epsilon_0 \epsilon_z - i \sigma_z} - \omega \mu_0 \mu_y).$$

Для определения аналитической зависимости между характеристиками волны $\vec{k}$, ω (волновой вектор, циклическая частота) и материальными параметрами кристаллов ϵ_{ij} , μ , σ , (диэлектрическая проницаемость, магнитная проницаемость и удельная электропроводность) в методе матрицанта для длинноволнового приближения ограничиваются квадратичными членами разложения экспоненциальных рядов:

$$\hat{T} = \hat{E} + \int_0^z \hat{B} dz_1 + \frac{1}{2!} \int_0^z \int_0^{z_1} \hat{B}(z_1) \hat{B}(z_2) dz_1 dz_2 + \dots$$

$$\hat{T}^{-1} = \hat{E} - \int_0^z \hat{B} dz_1 + \frac{1}{2!} \int_0^z \int_0^{z_1} \hat{B}(z_2) \hat{B}(z_1) dz_1 dz_2 - \dots$$

$$\hat{T} \approx \hat{P}_{(2)} = \hat{E} + \frac{\langle \hat{B} \rangle^2 h^2}{2}$$

Воспользуемся условием существования решения для матричного ряда:

$$\det(\hat{P}_{(2)} - \lambda \hat{E}) = 0$$

И представлением корней через косинусы уравнений дисперсии:

$$\tilde{p}_i = \cos \tilde{k}_i h \cong 1 - \frac{\tilde{k}_i^2 h^2}{2}$$

Тогда получаем необходимое для расчётов уравнение:

$$\det(\hat{B}^2 - k^2 \hat{E}) = 0 \quad (7)$$

Переходя к сферическим координатам, в данном случае получим одно комплексное уравнение:

$$k^2(-3 + \cos[2t]) + 2\mu\omega(-i\sigma + \epsilon\omega\epsilon_0)\mu_0 = 0 \quad (8)$$

Если из уравнения убрать электропроводность σ , то решение распадается на два действительных корня:

$$k = \pm \frac{\sqrt{2}\sqrt{\epsilon}\sqrt{\mu}\omega\sqrt{\epsilon_0}\sqrt{\mu_0}}{\sqrt{3 - \cos[2t]}}$$

Используем связь между показателем преломления n и волновым вектором k для недиспергирующих материалов:

$$n = c/v = k/(\omega\sqrt{\epsilon_0}\sqrt{\mu_0});$$

$$n = \frac{\sqrt{2}\sqrt{\epsilon}\sqrt{\mu}}{\sqrt{3 - \cos[2t]}}$$

Для графита $\epsilon=12$; $\mu=1$; получаем стандартный эллипс показателей преломления (рисунок 1). Однако этот вариант теряет актуальность, хоть и показывает соответствие предельным случаям.

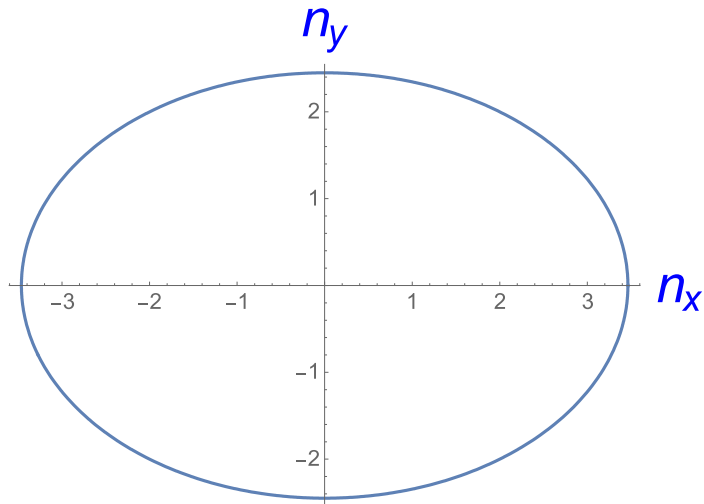


Рисунок 1 – Индикатриса показателей преломления

При разложении волнового вектора на действительную и мнимую части. Аналогичное решение для мнимой составляющей волнового вектора даёт:

$$m = \frac{\mu\sigma\omega\mu_0}{d(-3 + \cos[2\theta])} = \frac{\sigma v\mu_0}{(-3 + \cos[2\theta])}$$

Рассмотрим восстановленный оксид графена. Электропроводность $\sigma=700 \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$ [4]. Скорость носителей примем $v=10^6 \text{ м/с}$ Тогда, где $m = \text{Abs}\left[\frac{280\pi}{-3+\cos[2t]}\right]$ – мнимая составляющая волнового вектора. График этой зависимости приведён на рисунке 2. Выступает в качестве характеристики проводимости кристалла и поглощения излучения в нём. Так как m пропорциональна скорости носителей и проводимости, то большему значению соответствует большая сила тока.

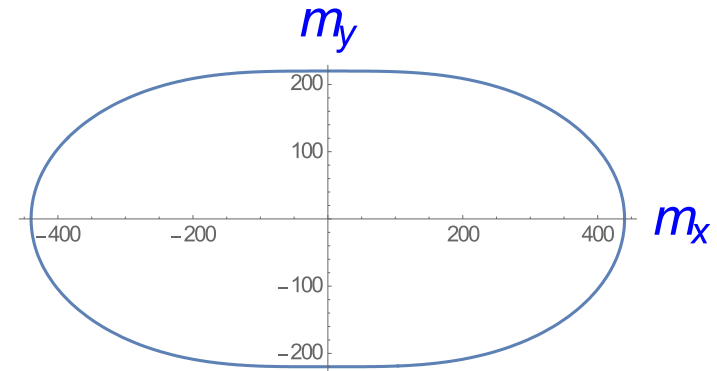


Рисунок 2 – Индикатриса волнового вектора с учётом электропроводности кристалла

Данная работа выполнена в рамках научно-исследовательского гранта AP08856290, финансируемого Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 WSU physicists turn a crystal into an electrical circuit. Transparent, 3-D electronics can be configured and erased like an Etch A Sketch [Электронный ресурс]. – URL: www.eurekalert.org/news-releases/472173 [дата обращения 23.05.2022]
- 2 Сонин А. С., Василевская А. С. Электрооптические кристаллы. – М., Атомиздат, 1971 г. – 327 с.
- 3 Тлеукунов С. К. Метод матрицанта. – Павлодар: НИЦ ПГУ им. С. Торайгырова, 2004. – 148 с.
- 4 Электропроводность оксида графена [Электронный ресурс]. – URL: www.active-nano.biz/malosl_graph.html [дата обращения 23.05.2022].

Жармуханбетов М. Е.	
Анализ конструкции полугусеничных движителей	94
Ismailov Zh. T., Kulbachinskii V. A., Kytin V. G.,	
Kupriyanov E. E., Apreleva S.	
Effect of synthesis duration on heat and charge transport	
in polycrystalline $\text{CuCr}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}_2$	100
Курманов А. А., Испулов Н. А., Досумбеков К. Р.,	
Жумабеков А. Ж.	
Метод матрицанта и свойства электрооптических кристаллов	103
Kyzgarina M. T., Akhmetova T. A., Alimgazinova N. Sh.	
Uyabayeva S. S.	
Fractal dimension of a solar outburst.....	110
Макулов С. С., Маздубай А. В.	
Методика расчета удельного абразивного износа трубопровода	
транспортировки сырого угля с применением современных	
CAD систем	117
Miroshnichenko A. S.	
Evolutionary paths of binary stellar systems	123
Потапов А. А.	
Фрактальная инженерия и фрактальный инжиниринг – новые понятия в	
теории и практике фракталов и динамического хаоса	135
Селиверстова Е. В., Ибраев Н. Х.	
Исследование переходного поглощения плазмонных наночастиц Au	145
Селиверстова Е. В., Алихайдарова А. Ж., Ибраев Н. Х.	
Влияние размера частиц n-допированного оксида графена на его	
оптические свойства	149
Скабылов А. А., Налибаев Е. Д., Ибраимов М. К., Данабеков Б.,	
Азамат Р. М.	
Математическая модель хаотического генератора на основе ПЛИС	154
Темирболатов А. С., Андреева О. А., Тенизова А. С.	
Автоматическое управление газовой котельной установкой.....	159
Усипов Н. М., Жанабаев З. Ж., Акниязова А. Ж.	
Нелинейные фрактальные меры и информационная энтропия в	
нанoeлектронике, телекоммуникациях, астрофизике	163
Ибраимов М. К., Кожугулов Е. Т., Жексебай Д. М., Дәулетова А. Н.,	
Файзрахман Ә. Қ.	
Ғылым және matlab негізінде qpsk таратып-қабылдағышының	
бағдарламалық-аппараттық іске асырылуы	172
Khokhlov S. A., Miroshnichenko A. S., Zharikov S. V., Manset N.,	
Mennickent R.	
Nature and spectral variations of B-type emission-line stars with compact	
dusty envelopes: HD 85567 and AS 386	176
Шаймерденова К. М., Секербаева Г. К., Оспанова Д. А.,	
Рахманқызы А., Накипова Ж.	
Волластониттің жылулық параметрлерін тәжірибелік зерттеу	186

2 Секция. Энергетика, автоматтандыру және телекоммуникациялар

2 Секция. Энергетика, автоматизация и телекоммуникации

Андреева О. А., Дубинец Н. А., Нежимединов А. К., Тенизова А. К.	
Интеллектуальная система автоматизированного управления	
нагревательными процессами	192
Амренова А. Ж., Яманбекова А. К.	
Влияние завихрителей воздуха на процессы горения в горелочном	
устройстве водогрейных котлов малой мощности	198
Афанасьев Д. А., Махатова М. О., Жасуланова А. Ж.	
Моделирование процессов затенения и выхода из строя ячеек	
кремниевых солнечных модулей	206
Ахтанов С. Н., Ибраимов М. К., Турлыкожаева Д., Усипов Н. М.	
Кластерная маршрутизация фрактальных сетей	
на основе эксцентриситета.....	213
Ануарбеков М. А., Достияров А. М., Айтмагамбетова М. Б.	
Численное моделирование горения биогаза в новом	
горелочном устройстве.....	220
Барукин А. С.	
Конструкция для крепления герконов защит высоковольтных	
электроустановок вблизи шин закрытых токопроводов	
постоянного тока.....	227
Bakhtybekova A. R., Tanasheva N. K., Botpaev N. K.,	
Shuyushbayeva N. N.	
Numerical study of the flow around the cylinder in the	
ansys-fluent package.....	232
Бейсембаева Г. Т., Сериков Т. М., Балтабеков А. С.,	
Жанбирбаева П. А.	
Фотокаталитические свойства $\text{HT TiO}_2/\text{SLGO}$ полученных	
методом аэрографии	237
Ершина А. К., Қаресова А. С., Әкыманбек М., Токеева А.	
Стационар ауа ағысы өрісіндегі төрт қалақшалы бидарье-1	
турбинасының жұмысын тәжірибелік зерттеудің нәтижелері.....	244
Жанбирбаева П. А., Сериков Т. М., Бейсембаева Г. Т.,	
Омарова Г. С., Алдажанова Ж. А.	
Синтез наночастиц содержащих плазменное ядро и полупроводниковую	
оболочку Tl_2O_3 для фотокатализа	251
Кибартас В. В., Кибартене Ю. В.	
Автоматическое управление искусственным освещением	
производственных площадей и рабочих мест.....	256
Нусупбеков Б. Р., Картбаева Г. Т., Хасенов А. К., Нусупбеков У. Б.	
Экологиялық тұрғыдан тиімді қондырғыны пайдалану жолдары.....	260