

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ
ОКСИ СКАНДИЯ

В. И. Александров, В. В. Воронов,

В. Ф. Калабухова, Ю. С. Кузьминов, В. М. Татаринцев

УДК 539.54.03

Впервые измерены частотные и температурные характеристики ϵ , $\text{tg}\delta$ и σ монокристаллов окиси скандия. Исследуемый материал обладает низкой электропроводностью при высоких температурах и отсутствием дисперсии ϵ в диапазоне частот $10^2 - 10^8$ гц.

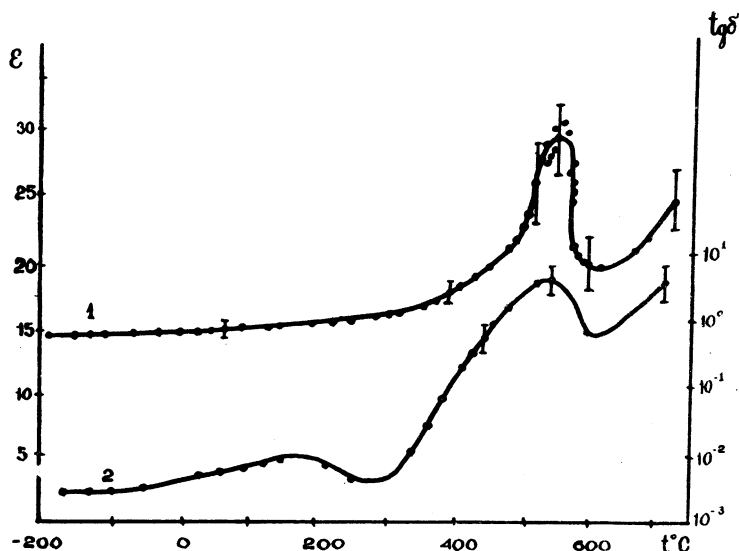
Монокристаллы окиси скандия Sc_2O_3 были получены методом прямого высокочастотного нагрева в холодном контейнере по технологии, разработанной в ФИАНе /1/. Температура плавления окиси скандия составляет 2405°C .

Монокристаллы Sc_2O_3 имеют кубическую, объемноцентрированную структуру типа биксбита $(\text{Fe, Mn})_2\text{O}_3$ /2/, принадлежащую к пространственной группе Ia_3 , с параметрами решетки $a_0 = 9,844 \pm 0,002 \text{ \AA}$. Структура Sc_2O_3 не является плотноупакованной по кислороду, и можно предположить, что в процессе выращивания на воздухе, а также при термообработке кристаллы могут обогащаться кислородом. О наличии дефектов в структуре окиси скандия, вызванных нарушением стехиометрии соединения, сообщается в работе /3/.

Электрические свойства Sc_2O_3 исследовались ранее на керамических образцах /4,5/. Механизм проводимости окиси скандия определяется наличием дефектов, образованных вследствие внедрения в кристаллическую решетку избыточного кислорода, который приводит к возникновению в структуре кристалла катионных вакансий и дырок /3/.

Исследование электропроводности керамической окиси скандия в высоком вакууме ($5 \cdot 10^{-9}$ тор) показало, что при относительно низких температурах избыточный кислород ведет себя как акцепторная примесь с энергией активации равной $0,18 \pm 0,02$ эв. При температурах $600^\circ - 1000^\circ\text{C}$ избыточный кислород полностью выделяет-

ся и стехиометрия соединения восстанавливается. В этом интервале температур имеет место собственная проводимость с энергией активации $1,76 \pm 0,02$ эв. При температуре выше 1000°K начинается выделение кислорода, входящего в структуру соединения, и выше

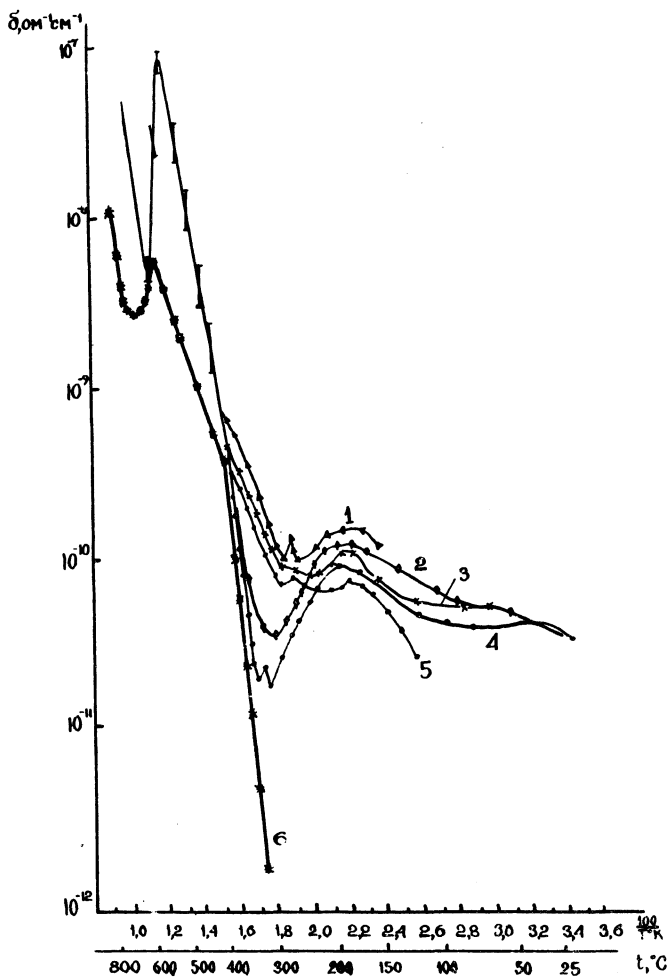


Р и с.1. Температурная зависимость ϵ и $\text{tg}\delta$ кристаллов окиси скандия на переменном токе частотой 1000 гц. 1 - ϵ ; 2 - $\text{tg}\delta$

1100°K электропроводность уменьшается. В работе /5/ установлены вклады в электропроводность ионной и электронной составляющих. Ионная составляющая не зависит от парциального давления кислорода, энергия активации ионной проводимости 2,40 эв. Электронная составляющая зависит от давления кислорода и уменьшается с уменьшением его парциального давления.

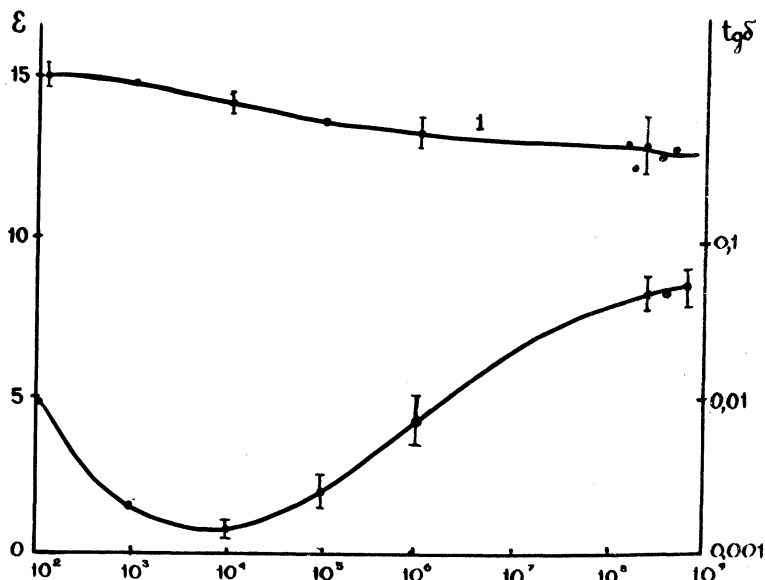
В настоящей работе производились измерения частотных и температурных зависимостей диэлектрической проницаемости ϵ , тангенса диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ и электропроводности σ , снят спектр пропускания в интервале длин волн 0,3 - 2,5 мкм.

Температурная зависимость σ измерялась в интервале $80 - 1073^\circ\text{K}$ на переменном токе частотой 1000 гц и постоянном токе.



Р и с.2. Температурная зависимость электропроводности δ кристаллов окиси скандия. 1 - 5 - на переменном токе частотой 1000 гц; 6 - на постоянном токе; 1 - образец отожжен от 400 до 150 $^{\circ}\text{C}$; 2 - 700 + 20 $^{\circ}\text{C}$; 3 - 400 + 20 $^{\circ}\text{C}$; 4 - 300 + 20 $^{\circ}\text{C}$; 5 - термообработка не проводилась

Частотные характеристики ϵ и $\text{tg}\delta$ измерялись в диапазоне $10^2 - 10^8$ гц при комнатной температуре. Измерение ϵ и $\text{tg}\delta$ на частотах до 10^4 гц проводилось при помощи моста переменного тока



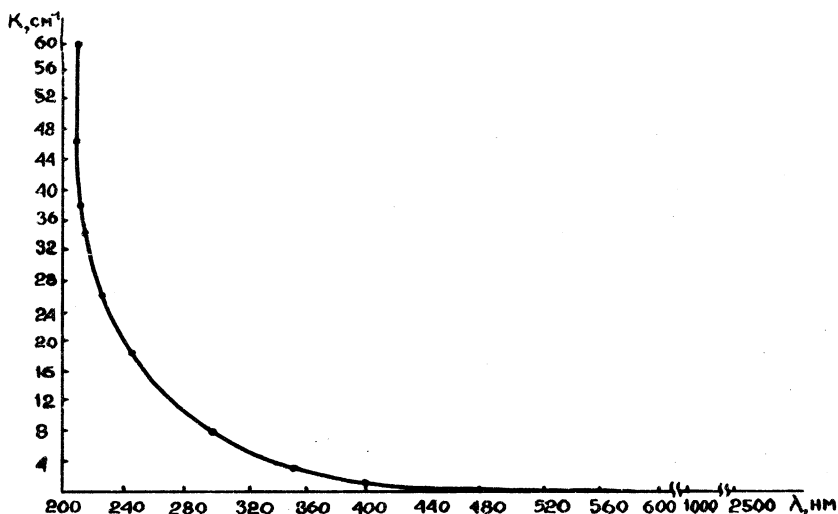
Р и с.3. Частотная зависимость ϵ и $\text{tg}\delta$ кристаллов окиси скандия.
1 - ϵ ; 2 - $\text{tg}\delta$. Температура образца $T = 293^\circ\text{K}$

P-57I; в интервале $10^5 - 10^7$ гц - на измерителе добротности ЕИ-4 и в интервале $10^7 - 10^8$ гц - на куметре Е9-5А.

На рис.1 приведены ϵ и $\text{tg}\delta$ в зависимости от температуры в диапазоне $80^\circ - 1000^\circ\text{K}$. Как видно из рисунка, в температурном интервале $80 - 650^\circ\text{K}$ ϵ медленно растет, достигая величины 20 при 700°C , при комнатной температуре $\epsilon = 14$. Тангенс диэлектрических потерь в интервале температур $400 - 600^\circ\text{C}$ имеет широкий максимум, достигающий величины 7, при комнатной температуре $\text{tg}\delta = 10^{-2}$.

На рис.2 представлена температурная зависимость σ , измеренная на переменном и постоянном токе. До температуры 380°C характер изменения электропроводности в значительной мере определяет-

ся режимом предварительного отжига образца. Выше этой температуры $\sigma = f(T)$ не зависит от предистории образца. При температуре $\sim 180^\circ\text{C}$ все исследованные образцы имеют широкий максимум электропроводности, который тем выше, чем выше

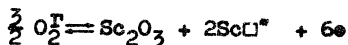


Р и с.4. Коэффициент поглощения кристаллов окиси скандия.
Толщина образца 0,2 см

температура, от которой закаливается образец. Выше 400°C электропроводность, измеренная на переменном токе, растет по экспоненте с энергией активации 1,45–1,50 эв, при $T = 560^\circ\text{C}$ электропроводность составляет $\sigma = 8 \cdot 10^{-8} \text{ ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$, при $T = 580^\circ\text{C}$ σ имеет резкий максимум, который по температуре совпадает с максимумами ϵ и $\text{tg}\delta$. Частотные зависимости ϵ и $\text{tg}\delta$ представлены на рис.3. При комнатной температуре Sc_2O_3 не имеет дисперсии ϵ во всем измеряемом диапазоне частот. На рис.4 представлен спектр пропускания монокристаллов Sc_2O_3 , снятый на спектрометре СФ-8. Край собственного поглощения составляет 210 нм на образце толщиной 0,2 см.

Характер изменения электропроводности кристаллов Sc_2O_3 имеет сходство с проводимостью полупроводников с электронной разупоряд-

доченностью, как, например, у Cu_2O , NiO , Bi_2O_3 /6/. Электронная разупорядоченность у кристаллов Sc_2O_3 может быть объяснена возникновением дефектов, обусловленных содержанием в структуре избыточного кислорода. Взаимодействие ионов Sc^{3+} с адсорбированным на поверхности кристалла кислородом происходит по реакции



с образованием катионных вакансий $\text{Sc}\square''$ и дырок e . При низких температурах дырки захватываются катионными вакансиями. Проводимость при средних температурах обусловлена тепловой ионизацией положительных дырок. Энергия активации носителей заряда в этой области температур составляет 0,02 - 0,26 эв, а их количество в сильной степени определяется температурой закалки исследуемого образца. В температурном интервале 380° - 560°C электропроводность кристаллов Sc_2O_3 описывается уравнением

$$\sigma = A \exp(-E/kT),$$

где $A = 91 \div 96 \text{ ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$, $E = 1,45 - 1,50 \text{ эв}$.

Поступила в редакцию
2 января 1975 года.

Л и т е р а т у р а

1. В. И. Александров, В. В. Осико, А. М. Прохоров, В. М. Татаринцев. Вестник АН СССР, 12, 29 (1973).
2. S. Geller, P. Romo, J. P. Remeika. Zeitschrift für Kristallographie, 124, 136 (1967).
3. В. А. Дубок. Редкоземельные металлы и их соединения. Сб. тр. Института материаловедения АН УССР, "Наукова думка", Киев, 1970 г., стр. 220.
4. М. Д. Лавров. Электропроводность Sc_2O_3 и J_2O_3 до 1500°К. Томский политехнический институт, 1973 г. (депонент ВИНТИ № 6733-73).
5. З. С. Волченкова, В. М. Недотепин. Изв. АН СССР, сер. Неорганические материалы, 9, № 6, 1073 (1973).
6. К. Хауффе. Реакции в твердых телах и на поверхности. М., ИЛ, 1962 г., стр. 128.