

УДК 536.531

ФИЗИКА

Т. С. Золян

Проводимость на переменном токе системы V—O—P

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Г. М. Авакянцем 25/VIII 1981)

Имеется ряд данных по электрофизическим свойствам пятиокиси ванадия, позволяющих полагать, что механизм проводимости в ней осуществляется при высоких температурах путем движения поляронов малого радиуса посредством случайных перескоков между разновалентными ионами переходного металла (¹⁻⁸).

Одним из обоснований такого заключения является и исследование частотной зависимости неупорядоченного состояния, которое характерно для пятиокиси ванадия в жидкой фазе или с сильной стеклообразующей примесью типа пятиокиси фосфора, приводящей при 20%-ной добавке к V_2O_5 к образованию ванадий-фосфатного стекла типа $(V_2O_5)_{0.8} \cdot (P_2O_5)_{0.2}$ (^{9,10}).

Непосредственное измерение пятиокиси ванадия в жидкой фазе при температуре около 730° показало, что до 40 кГц проводимость изменяется практически незначительно по сравнению с проводимостью на постоянном токе, тогда как при 200 кГц проводимость увеличивается почти вдвое.

Более сильная зависимость наблюдается в случае стеклообразных соединений в системе V—O—P, в частности $(V_2O_5)_{0.8} \cdot (P_2O_5)_{0.2}$.

Для приготовления стекол указанного состава навески в виде 80% V_2O_5 и 20% P_2O_5 засыпали в кварцевые ампулы, нагревали до жидкого состояния и в течение 50—60 мин приводили в равновесное состояние путем интенсивной вибрации в воздушной среде.

Приготовленные таким образом вещества имели типичный для стекол блеск и черный цвет, были непрозрачны и легко вытягивались при температуре размягчения стекла.

Для проведения частотных измерений изготовлялся образец в виде монолитной пленки (пластинки) состава $(V_2O_5)_{0.8} \cdot (P_2O_5)_{0.2}$ толщиной 0,1 мм с вплавленными платиновыми электродами, расположенными по торцам пластинки размером $(10 \times 10 \times 0,1)$ мм. Температуру измеряли градуированными платино-платинородиевыми термометрами диаметром 0,1 мм и контролировали газовым термометром. Погрешность измерений температуры оценивали в $\pm 3^\circ$. Охлаждение образца производили жидким азотом и гелием. Измерения частотной зависимости проводимости на переменном токе указанных составов проводили в диапазоне до $2 \cdot 10^5$ Гц на мостовой схеме с использованием осциллографического индикатора-нуля.

На рис. 1 показаны полученные кривые зависимости электросопротивления образца указанного состава для 100 К и при комнатной температуре 300 К. Полученные кривые сильно отличаются друг от друга. Так, при низких температурах — 100 К для 19 Гц сопротивление образца составляло около 1,25 МОм, а для 24 кГц — лишь 15 КОм при тех же внешних условиях; при 300 К эта разница уже много меньше (около одного порядка).

Аналогичные зависимости получены до 100 кГц, причем полученные зависимости близки к известным литературным данным (рис. 2) и показывают возможность осуществления своеобразных селектив-

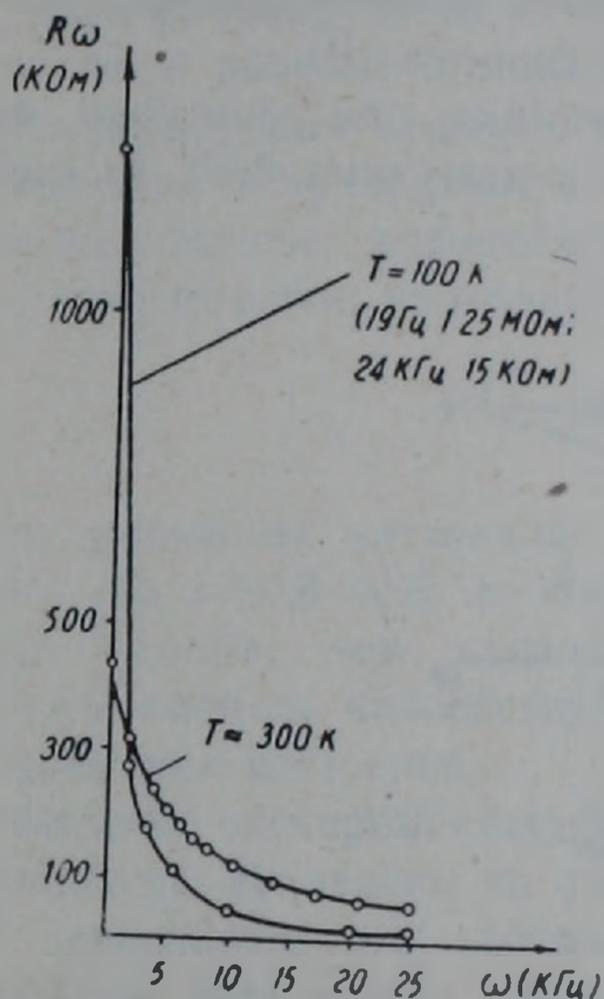


Рис. 1. Зависимость электросопротивления образца состава $(V_2O_5)_{0.8} (P_2O_5)_{0.2}$ от частоты

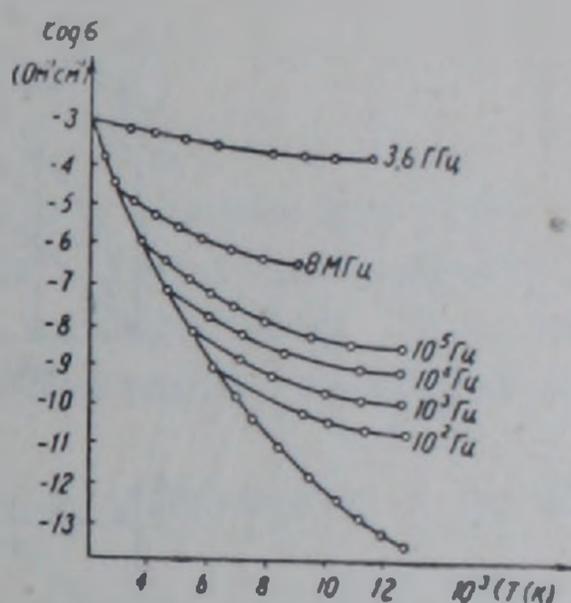


Рис. 2. Зависимость электропроводности образцов состава $(V_2O_5)_{0.8} (P_2O_5)_{0.2}$ в сравнении с литературными данными (9-11)

ных электрических фильтров на основе $V_2O_5-P_2O_5$, поскольку, как видно из графика, отношение проводимостей на разных частотах для одного и того же образца состава 80% $V_2O_5-20\%$ P_2O_5 может быть больше 10-и порядков (9-11). Действительно, известно, что фильтры RC-типа широко применяются на практике благодаря своей простоте, миниатюризации и технологичности. Они характеризуются коэффициентом электрической передачи напряжения $K = \dot{U}_{2m} : \dot{U}_{1m}$, где \dot{U}_{1m} и \dot{U}_{2m} — амплитуды соответственно приложенного и выходного напряжений, причем этому коэффициенту соответствует модуль

$$K = 1/\sqrt{1 + 1/(\omega RC)^2},$$

зависимость которого от частоты, называемая амплитудно-частотной характеристикой — АЧХ, для предлагаемого фильтра и известного фильтра RC-типа изображена на рис. 3. Как видно из рисунка, известные фильтры высокой частоты (ФВЧ) RC-типа характеризуются величиной затухания в 6 дБ/окт (12-14) и величина RC в них предопределяет лишь граничную частоту фильтра $\omega_{гр} = 1/RC$ (13). Изготовление ФВЧ RC-типа в наиболее совершенном виде — так называе-

мых RC -структур с распределенными параметрами в виде поликерамического основания с выводными электродами, причем с использованием в качестве резистивного слоя окислов металлов, достаточно сложно; кроме того при низких температурах он неработоспособен, так как обычно для снижения габаритов этой RC -структуры в качестве диэлектрика применяются материалы на основе титанатов бария и т. п. металлов, которые при низких температурах резко и необратимо изменяют свои диэлектрические свойства (^{15,16}).

Поскольку стеклообразный материал на основе $V_2O_5-P_2O_5$ обладает наиболее четко выраженной частотной зависимостью именно при низких температурах, то целесообразно было предложить его в качестве материала для электрического фильтра (¹¹).

Амплитудно-частотная характеристика предлагаемого фильтра обладает лучшими показателями, чем у известных ФВЧ RC -типа, как это видно из рис. 3.

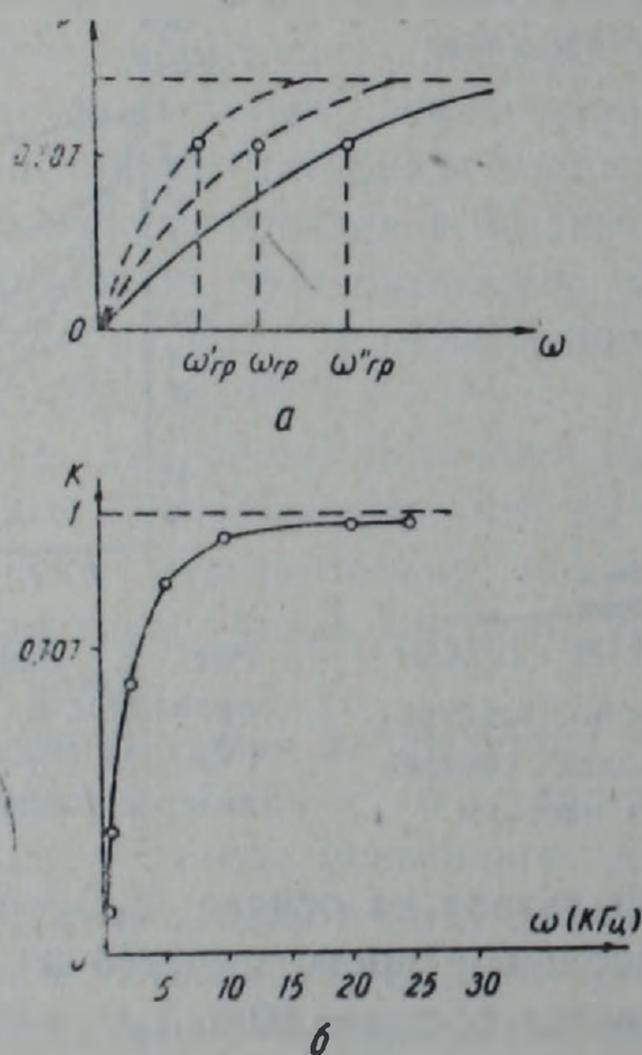


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика ФВЧ RC -типа (а) и предлагаемого фильтра (б)

Действительно, обеспечивая работоспособность при низких температурах, недоступных известным ФВЧ, предлагаемый фильтр по величине затухания — важнейшей характеристике электрического фильтра — почти вдвое превосходит его (соответственно 10 дБ/окт и 6 дБ/окт). Электрическое сопротивление опытного образца предлагаемого фильтра при 100 К на частоте 19 Гц равно 1,25 МОм, а на частоте 25 кГц только 15 КОм.

Таким образом применение указанного материала основано на эквивалентных физических свойствах фильтров RC -типа и предлагаемого фильтра.

Это хорошо видно из сравнения типичных АЧХ предлагаемого

фильтра при 100 К с АЧХ известного ФВЧ RC-типа (рис. 3). Обе кривые аналогичны по форме и при малых ω имеют K , близкое к нулю; по мере увеличения ω видно, что K стремится к 1, что типично для ФВЧ RC-типа. При этом предлагаемый фильтр при низких температурах имеет затухание порядка 10 дБ/окт (так, например, при отношении частот $f_2/f_1=10/5$ КГц $U_1:U_2=3,16$, что соответствует затуханию в 10 дБ/окт).

Применение указанного стеклообразного полупроводника в качестве активного элемента электрического фильтра основано на теоретически предсказанной и экспериментально обнаруженной зависимости электропроводности на переменном токе от частоты (9,10,17,18). Согласно этим работам механизм, определяющий эту зависимость σ для рассматриваемых веществ, характеризуется участием добавочных носителей тока в проводимости стеклообразного полупроводника при увеличении частоты, определяемой перескоковым механизмом носителей с зависимостью проводимости $\sigma(\omega)$ от частоты ω :

$$\sigma(\omega) = K\omega \left[\ln \left(\frac{\nu_{\text{фон}}}{\omega} \right) \right]^4,$$

что для указанных материалов приводит к зависимости вида $\sigma(\omega) \approx \approx A \cdot \omega^s$, где $s=0,8 \div 0,9$, A — постоянная. Здесь проводимость σ значительно больше, чем проводимость на постоянном токе, так как увеличение частоты способствует освобождению носителей тока из локализованных состояний.

Типичные экспериментальные кривые зависимости σ от частоты и температуры приведены на рис. 2.

В зависимости от способа подключения выводов фильтра в фильтруемую цепь можно либо пропускать, либо задерживать требуемые частоты. Так например, при параллельном подключении пропускаются низкие частоты и задерживаются высокие, при последовательном соединении пропускаются ВЧ, задерживаются НЧ, при смешанном соединении нескольких фильтров (например T-образно) можно пропускать желаемую из возможных комбинаций НЧ и ВЧ.

Сравнительные испытания заявленного и известного фильтров подтвердили преимущество предлагаемого фильтра. Он имеет лучшую амплитудно-частотную характеристику (большая крутизна), обладает работоспособностью при низких температурах, что делает его перспективным для использования в космической технике, имеет коэффициент затухания, почти вдвое превышающий известные, и весьма простую конструкцию, причем использование объемных свойств в предлагаемом фильтре вместо поверхностных намного уменьшает его габариты.

Все сказанное приводит к тому, что стоимость этого фильтра весьма низка, что позволяет надеяться на его широкое техническое применение.

V—O—P համակարգի հաղորդականությունը փոփոխական հոսանքի դեպքում

Աշխատանքում հետազոտված է V—O—P համակարգի կիսահաղորդիչների փոփոխական հոսանքի դեպքում ունեցած հաղորդականությունը և ցույց է տրված նրա ուժեղ կախվածությունը հաճախականությունից ցածր ջերմաստիճանների տիրույթում: Դիտարկված համակարգը առաջարկված է կիրառել որպես նյութ էլեկտրական ֆիլտրերի համար:

ЛИТЕРАТУРА — ՊՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ В. А. Иоффе, И. Б. Патрина, ФТТ, т. 6, 3045, 3227 (1964). ² T. Allersma, e. a., J. Chem. Phys., vol. 46, 154 (1967). ³ A. R. Tourky, Z. Hanafi, Z. Phys Chem., vol. 242, 305 (1969). ⁴ D. A. Patony, K. J. Vasy, Inorg. Nucl. Chem. vol. 30, 2 (1968). ⁵ Д. С. Волженский, М. В. Пашковский, ФТТ, 11, т. 1167 (1959). ⁶ Э. А. Пастухов, В. Л. Лусин, И. А. Ватолин, Труды 6-ой международной конференции по аморфным и жидким полупроводникам, Наука, М., 1976. ⁷ J. Huemers, e. a., Phys. Status Solidi, vol. 20 (a), 381 (1973). ⁸ А. А. Виноградов, А. И. Шельх, ФТТ, т. 13, 3310 (1971). ⁹ M. Sayer e. a., J. Appl. Phys., vol. 42, 2857 (1971). ¹⁰ M. Sayer e. a., J. Non-Cryst. Solids, vol. 18, 265 (1975). ¹¹ Т. С. Золян, Заявка на изобретение № 3002572/18 от 10.09.80 г., по которой имеется положительное решение. ¹² Г. Б. Белоцерковский, Основы радиотехники и антенны, Сов. радио, М., 1969. ¹³ Справочник по элементам радиоэлектронных устройств, ГЭИ, М., 1977. ¹⁴ Р. Ленди и др., Справочник радиоинженера, ГЭИ, М., 1961. ¹⁵ Авторское свидетельство СССР № 333829, Кл. Н01 С 7/00. ¹⁶ Ч. Кумтел, Введение в физику твердого тела, Наука, М., 1978. ¹⁷ Н. Ф. Мотт, Э. Девис, Электронные процессы в некристаллических веществах, Мир, 1974. ¹⁸ M. Pollak, T. H. Geballe, Phys. Rev., vol. 122, 1742 (1961).