

ЭФФЕКТИВНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ ПОЗИТРОНИЯ В СИСТЕМЕ ДИЭЛЕКТРИК – МЕТАЛЛ

*В.И. Гольданский, Б.М. Левин, В.П. Шантарович
Д.А. Агиевский, М.В. Ландау*

На примере высокопористых диэлектриков (цеолитов) с металлическими включениями удалось впервые экспериментально наблюдать в содержащих металл системах долгоживущую компоненту временного спектра аннигиляции позитронов, отвечающую образованию позитрония.

Известно, что в обычных условиях образование позитрония в металлах не наблюдается [1]. Это связано с высокой плотностью свободных электронов в металлах, что приводит к незамедлительной ($\sim 10^{-10}$ сек) аннигиляции позитронов. Плотность свободных электронов экспоненциально убывает на границе металла. Поскольку энергия связи основного состояния позитрония (6,8 эв) больше работы выхода электрона, которая для большинства металлов не превышает ~ 5 эв, то вблизи границы металла, в частности, находясь внутри сравнительно крупных дефектов, термализованный позитрон может "вытянуть" из металла электрон и образовать позитроний [2, 3]. Это явление не удается наблюдать в обычных условиях, поскольку требуется специальная обработка для создания высокой удельной поверхности металла. Как показано ниже, большой интерес с этой точки зрения представляет пористый диэлектрик с металлическими включениями в высокодисперсном состоянии.

Нами был взят цеолит NaY с силикатным модулем $4,5(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$, в который путем катионного обмена введен палладий в количестве около 5% по весу. Цеолит типа Y имеет трехмерную каркасную структуру, состоящую из алюмо- и кремниевокислородных тетраэдров, которые являются элементами кубооктаэдров, образующих решетку, подобную решетке алмаза. Мостики, соединяющие кубооктаэдры, состоят из шести атомов кислорода. Пористая структура кристаллов цеолита способствует сравнительно свободному перемещению в нем медленных позитронов. Так как алюмокислородные тетраэдры несут на себе отрицательный заряд, то при синтезе в структуру цеолита входит эквивалентное количество катионов металлов (обычно Na^+ или Ca^{2+}), которые могут быть обменены на другие, в частности, на катионы палладия. Исходные образцы цеолита, из которых получены промеренные нами металлсодержащие образцы PdNaY, содержали около 62% SiO_2 , 23% Al_2O_3 , 14% Na_2O , 0,5% CaO и MgO и ряд других окислов в виде малых примесей.

Для образования частиц металлического палладия, вкрапленных в матрицу цеолита, образца, в которых палладий содержался в катионной форме, восстанавливались в токе водорода при 500°C в течение 10 часов. Наличие кристаллитов палладия в образце после восстановления было зафиксировано по появлению линий металлического палладия

на рентгеновской дифрактограмме (рис. 1). На рисунке представлены дифрактограммы образцов цеолита Na Y + 5% Pd, восстановленного в водороде (1) и восстановленного, а затем прокаленного на воздухе (2).

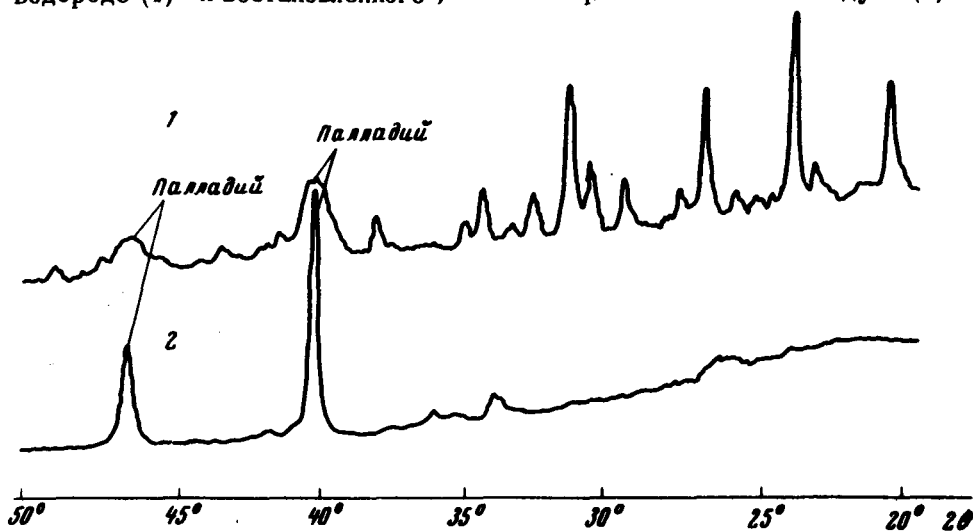


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы образцов цеолита Na Y + 5% Pd: 1 – восстановленного в водороде при 500°C, 10 ч, 2 – восстановленного и прокаленного на воздухе при 1000°C, 2ч

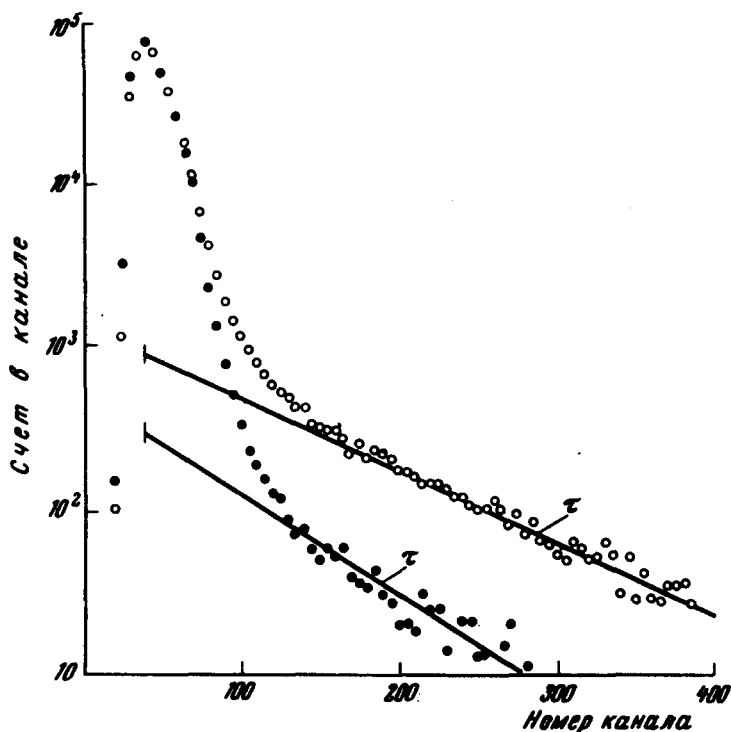


Рис. 2. Временные спектры аннигиляции позитронов в образцах цеолита Na Y + 5% Pd (показана каждая пятая точка гистограммы): ● – палладий в катионной форме, $\tau = 3,5 \cdot 10^{-9}$ сек, $l = 1\%$; ○ – палладий восстановлен до металлического состояния, $\tau = 5 \cdot 10^{-9}$ сек, $l = 4\%$

Группа пиков в области $20 - 35^\circ$ соответствует структуре цеолита, Эффективный размер кристаллитов палладия для образца (1) – 100 \AA , для образца (2) – $450 + 700 \text{ \AA}$. Размеры кристаллитов палладия определялись по уширению его дифракционных пиков по формуле Селякова – Шеррера.

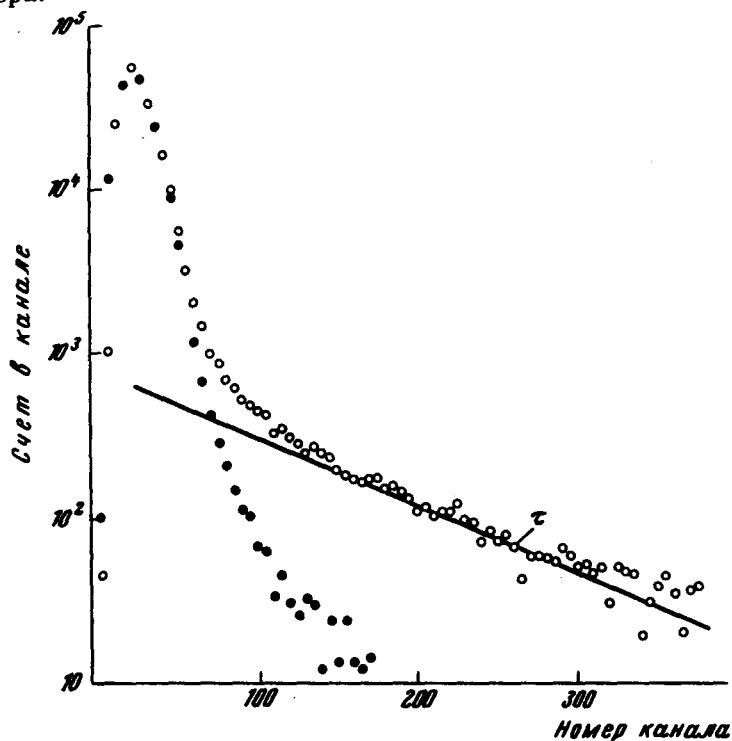


Рис. 3. Подавление образования позитрония после прокаливания цеолита $\text{Na Y} + 5\% \text{ Pd}$ при 1000°C на воздухе: ○ – дисперсный палладий в матрице цеолита; ● – матрица цеолита разрушена; агрегация кристаллитов палладия

В поликристаллических образцах диэлектриков, в частности, в SiO_2 и Al_2O_3 многие исследователи ранее наблюдали образование позитрония [4]. Вводя в диэлектрик металл в высокодисперсном состоянии, можно ожидать увеличения выхода позитрония.

В наших измерениях источник позитронов (осадок соли $\text{Na } ^{22}\text{Cl}$) активностью в несколько микрокури был заключен в тонкую майларовую пленку и помещался в стеклянную ампулу с образцом в порошкообразном состоянии (объем образца $\sim 1,5 - 2 \text{ см}^3$). Измерения временных спектров аннигиляции позитронов проводились при нормальных условиях. Разрешение установки ($0,8 \cdot 10^{-9} \text{ сек}$) позволяет надежно определить интенсивность долгоживущей компоненты временных спектров ($I, \%$), связанной с аннигиляцией ортопозитрония. На рис. 2 показаны временные спектры аннигиляции позитронов в восстановленном и восстановленном образцах цеолита $\text{Na Y} + 5\% \text{ Pd}$. Результаты весьма показательны: интенсивность позитрониевой компоненты в восстановленном образце вчетверо превышает ее интенсивность в невосстановленном.

Далее, был снят временной спектр аннигиляции позитронов для образца цеолита, структура которого была разрушена до рентгеноаморфного состояния путем прокаливания его на воздухе при температуре 1000°C в течение 2 часов (рис. 1, 2). Это привело, как видно из рис. 3, к почти полному подавлению образования позитрония. Резкое снижение выхода позитрония после прокаливания образца можно связать с уменьшением поверхности высокодисперсной металлической фазы в результате агрегации мелких частиц, а также с разрушением структуры цеолита.

Процесс образования позитрония в системе пористый диэлектрик — металл в высокодисперсном состоянии можно представить себе так. Позитроны с начальной энергией в сотни килоэлектронвольт быстро теряют энергию в образце до величины, меньшей ширины запрещенной зоны диэлектрика. При встрече такого еще "горячего" позитрона с поверхностью металла происходит быстрая его термализация [5], "вытягивание" электрона из металла и образование позитрония. Атомы позитрония локализуются в диэлектрике и потому обладают достаточно большим временем жизни.

Институт химической физики
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
25 февраля 1974 г.

Литература

- [1] В.Л.Седов. УФН, 94, 417, 1968.
 - [2] С.Н.Hodges, а. М. J.Scott. Phys. Rev., B7, 73, 1973.
 - [3] К.Petersen, N.Thrane, G.Trumpy а. R.W.Hendricks. Third Intern. Conf. on Positron annihilation, Otaniemi, Finland, Abstracts of Papers, p. 65.
 - [4] В.И.Гольданский, В.М.Левин, А.Д.Мокрушин. Письма в ЖЭТФ, 11, 38, 1970; 11, 279, 1970.
 - [5] G.Lee-Whiting. Phys. Rev., 97, 1557, 1955.
-