

Исследование электрического пробоя и
возбуждения детонации в азидах
таллия и меди II

Ю.А. Захаров, Ю.Н. Сухушин

(Представлена научным семинаром кафедры радиационной химии)

Изучению возбуждения детонации при пробое взрывчатых веществ посвящено сравнительно небольшое количество работ [1-3], хотя этот процесс представляет определенный научный интерес [1,4].

В работе сообщаются некоторые результаты изучения электрической прочности азидов таллия и двухвалентной меди на импульсах напряжения со временем воздействия около 10^{-7} сек с целью выяснения механизма пробоя и связи его с механизмом возбуждения детонации в указанных объектах. Образцы представляли собой таблетки толщиной 0,2 мм и плотностью близкой к монокристаллу, напрессованные на металлический электрод. Геометрия электродов - "шар против плоскости" - обеспечивала поле, близкое к равномерному, а помещение образца в защитную среду (силиконовое масло) исключало возможность зажигания ИВВ коронирующими электродами. Напряжение и ток через образец при пробое осциллографировались.

Существенным для выяснения механизма электрической формы пробоя является вопрос об источнике неравновесных носителей заряда, которые, размножаясь по механизму ударной ионизации, приводят к катастрофическому росту тока и к разрушению образца (в нашем случае к взрыву). Неравновесные носители заряда могут появляться в результате электростатического возбуждения электронов (примесных, находя-

щихся на уровнях захвата, довушках), а также в результате инъекции электронов из катода, или дырок из анода.

[5,6,7,8,9]. Для выяснения источника неравновесных носителей при пробое TEN_3 и $Cu(N_3)_2$ нами было исследовано влияние материала и полярности электродов на их электрическую прочность.

Результаты представлены на рис. I-2 в координатах: кумулятивная частота пробоя - напряженность электрического поля. Результаты обрабатывались по методике, описанной в [10], по данным, полученным на 80 + 120 образцах. Изменялся материал плоского электрода. Обнаружено, что при пробое $Cu(N_3)_2$ исключительное влияние оказывает материал анода, причем устанавливается ряд влияния материала анода с возрастающей термодинамической работой выхода, в котором электрическая прочность возрастает ($Zn - Cu - W$)

[11]. При пробое TEN_3 оказывает влияние как материал анода, так и материал катода (несколько сильнее), причем ряд металлов устанавливается противоположный ряд для $Cu(N_3)_2$.

Факт влияния материала электродов позволяет говорить об инъекции как источнике неравновесных носителей при пробое $Cu(N_3)_2$ и TEN_3 , причем для $Cu(N_3)_2$ таковыми являются дырки, а для TEN_3 как дырки, так и электроны (двойная инъекция [7,9]). Изменение электрической прочности в зависимости от работы выхода металла нельзя объяснить различием в высоте потенциального барьера для инъекции и экстракции электронов, так как в этом случае для

TEN_3 должны наблюдаться разные ряды для катода и анода (по известным представлениям теории контактных явлений [12]).

Полученные результаты естественно объясняются из разрабатываемой одним из авторов теории переходных процессов в системе металл-полупроводник-металл, согласно которой в некоторых условиях (наличие примесных уровней,

малой подвижности носителей) большую роль для создания предпробивных условий играют объемные заряды, имеющиеся на контакте металл-полупроводник еще до приложения напряжения [12] . Во внешнем поле происходит неравномерное распределение потенциала, причем у электродов создается область повышенной напряженности поля, которая трансформируется во времени с конечной скоростью, определяемой подвижностью зарядов. В ряде случаев начальное неоднородное распределение создает условия, достаточные для инжекции носителей и последующей ударной ионизации. Такие условия также могут создаваться в процессе перераспределения зарядов. В нашем случае в виду крайне малой длительности приложения напряжения и малой подвижности носителей можно пренебречь процессами трансформации объемных зарядов. Тогда при условии $\mathcal{J}_n/\eta > \mathcal{J}_m$ контактные напряженности будут иметь вид:

$$E_K(t) = \frac{V_{ВН}(t)}{2L_D + (e - 2L_D) \frac{\Delta \tilde{Y} \cdot \Delta(t)}{(\pm 1)(e^{\pm \Delta \tilde{Y}} - 1)}} - \frac{\Delta \mathcal{Y}_K}{L_D \Delta(t)} \quad (1)$$

$$E_Q(t) = \frac{V_{ВН}(t)}{2L_D + (e - 2L_D) \frac{\Delta \tilde{Y} \cdot \Delta(t)}{(\pm 1)(e^{\pm \Delta \tilde{Y}} - 1)}} + \frac{\Delta \mathcal{Y}_K}{L_D \Delta(t)} \quad (2)$$

Причем, знак "+" относится для полупроводника с дырочной проводимостью ($Cu(N_3)_2$), а "-" электронного (TEN_3). Поскольку $\Delta \tilde{Y} = \frac{\Delta \mathcal{Y}_K}{kT}$, а $\Delta \mathcal{Y}_K = \mathcal{Y}_n - \mathcal{Y}_m$, то

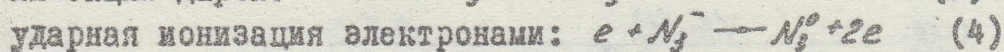
полученные зависимости (рис. I, 2) в деталях качественно описываются формулами (1) и (2) (Относительная величина электрической прочности, знак влияния полярности электрода, ряд металлов).

Кроме того, описанным представлениям соответствуют ре-

зультаты по исследованию влияния температуры на электрическую прочность TEN_3 и $Cu(N_3)_2$ - возрастание электрической прочности с температурой для $Cu(N_3)_2$ и уменьшение для TEN_3 .

С целью непосредственного экспериментального определения знака носителей при пробое TEN_3 и $Cu(N_3)_2$ были поставлены опыты по изучению эффекта Холла в предпробивной области на постоянном токе. Полученные результаты подтверждают, что пробой в TEN_3 осуществляется электронами, а в $Cu(N_3)_2$ - дырками.

Таким образом, можно предположить следующую картину возникновения пробоя в TEN_3 и $Cu(N_3)_2$: пробой осуществляется в TEN_3 электронами, инжектированными из катода, а в $Cu(N_3)_2$ - дырками, инжектированными из анода; оба процесса управляются неравномерным распределением поля в прикатодах и развиваются в ударную ионизацию. Сказанное можно записать следующим образом:



Дальнейшая судьба дырок аналогична процессам термического разложения, фотолиза, и радиолиза азидов тяжелых металлов:



Переходя к механизму возбуждения детонации при пробое TEN_3 и $Cu(N_3)_2$, следует отметить три возможности:

- 1). Возбуждение за счет тепловых явлений в канале разряда;
- 2). Возбуждение за счет действия ударной волны в канале разряда;
- 3). Возбуждение, как завершающая стадия развития пробоя, так как механизм пробоя, описываемый уравнениями (3)-(6), совпадает с механизмом возбуждения химической реакции при детонации в азидовых тяжелых металлов, описанный в [1].

Специальные опыты показали, что для азиды меди (II) может осуществляться механизм Ш, так как мы не нашли такой минимальной энергии разряда, которая бы осуществлялась пробой в $Cu(N_3)_2$ без возбуждения детонации вплоть до емкостей, равных емкости образца (1-2 пф). Случаи пробоя TeN_3 без детонации наблюдались, однако характер осциллограмм тока при пробое показывает, что возбуждение детонации происходит не в результате действия тепла в канале разряда (отсутствие дуговой стадии разряда) а в результате действия ударной волны.

Таким образом, явления, изученные при пробое азиды таллия и азиды двухвалентной меди, позволяют конкретизировать электрический механизм пробоя этих объектов, а также сделать заключение о механизме возбуждения детонации при пробое.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф.Бюден, А.Июффе. Быстрые реакции в твердых телах М., ИЛ., 1963.
2. Nakano J., Tanaka J., Kusakabe M., *J. of. Ind. Exptl. Soc., Japan*, 24, №6, 45 (1963); 24, №6, 351 (1963); 26, №5, 265 (1965)
3. Schall R. C.R., 232, 706 (1951)
4. J. N. Maycock, *Sciencs* 152, № 3721, 508 (1966)
5. Франц В., Пробой диэлектриков, ИЛ., М., 1963.
6. P.H. Parmenter, W. Ruppel. *J. Appl. Phys* 30, 1548 (1959)
7. M.A. Lampert, *RCA Rev.*, 20, 682 (1959)
8. G.A. Marlor, J. Woods, *Proc. Phys. Soc.*, 81, 1013 (1963)
9. A. Rose *J. Appl. Phys* 35, 2664 (1964)
10. Н.В.Смирнов, И.В.Дуниин-Барковский, Курс теории вероятности математической статистики, Наука, М., 1965.
11. Справочник химика, т. I, стр. 333, ГХИ, М.-Л., 1963.
12. А.И.Губанов. Теория выпрямляющего действия полупроводников, ГИТТЛ., М., 1956.

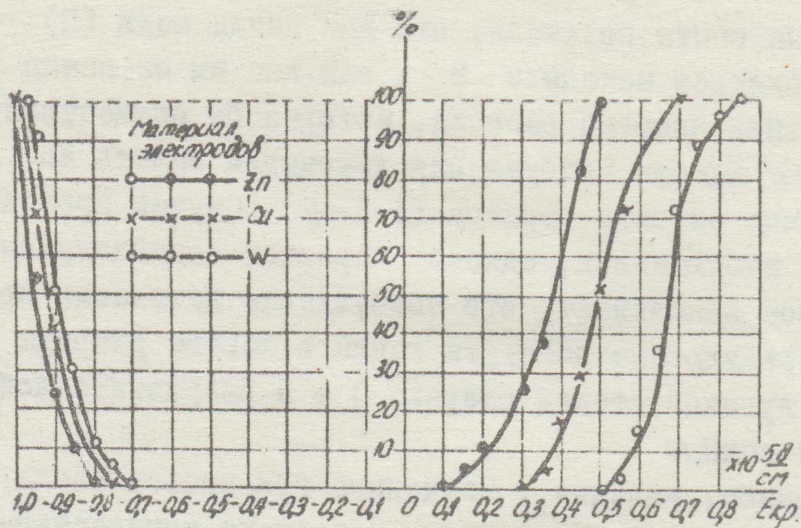


Рис. 1. Влияние материала и полярности электродов на пробой $\text{Cu}(\text{N}_3)_2$.

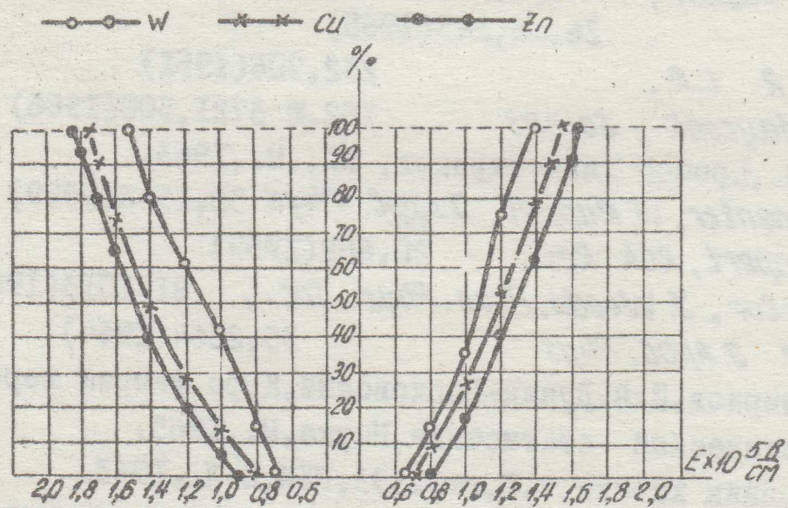


Рис. 2. Влияние материала и полярности электродов на пробой TlN_3 .