

В области нижней границы области существования  $\delta(t)$  уравнение (6) также может быть упрощено

$$\frac{dz}{dt} \simeq \frac{A^2 B^3}{\varepsilon_0 \varepsilon_i S} \frac{(2+z)^3}{J(t)} \exp(-2z). \quad (9)$$

Решение этого уравнения записывается в виде

$$(1+2z) \frac{z^2 - 2z - 6}{4(z+2)^2} = (1+2z_0) \frac{z_0^2 - 2z_0 - 6}{4(z_0+2)^2} + \frac{A^2 B^3}{\varepsilon_0 \varepsilon_i S} \frac{J_{01} \tau_1}{J_{02}} \ln \left[ \frac{1 + \frac{J_{02}}{J_{01}} \exp\left(\frac{t}{\tau_1}\right)}{1 + \frac{J_{02}}{J_{01}}} \right], \quad (10)$$

где  $z_0 = (B \delta_0) / V$ .

Сшивка решений (8) и (10) дает приближенный ход временной зависимости толщины АО  $\delta(t)$ , которая представлена на рис. 2. Эта зависимость проявляет перегиб при значении  $\delta_{np} = 30 \text{ \AA}$ , что совершенно очевидно коррелирует с отмеченным ранее перегибом на зависимости  $J(t)$ . Полученное значение толщины АО, соответствующей перегибу зависимости  $\delta(t)$ , может быть принято в качестве условной границы между малыми и большими значениями толщины туннельно прозрачного АО. При этом вполне естественно предположить, что толщина АО, при которой происходит изменение скорости роста АО, представляет собой толщину плотного барьерного окисла на поверхности полупроводника. Полученная временная зависимость толщины АО включает величину формирующего напряжения как параметр, что делает полученное решение не только физически содержательным, но и практически полезным.

Основными результатами данной работы являются установление однозначной зависимости толщины туннельно прозрачного АО от временных характеристик тока в электроли плазмохимической ячейке, а также получение оценочного значения толщины барьерного окисла на поверхности кремния.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность С. И. Радауцану за постоянное внимание к работе и стимулирующие дискуссии.】

#### Список литературы

- [1] Саченко А. В., Снитко О. В. Фотоэффекты в приповерхностных слоях полупроводников. Киев: Наукова думка, 1984. 232 с.
- [2] Вуль А. Я., Саченко А. В. // ФТП. 1983. Т. 17. Вып. 8. С. 1361—1377.
- [3] Аверьянов Е. Е. Плазменное анодирование в радиоэлектронике. М.: Радио и связь, 1983. 78 с.
- [4] Шевченко Л. Д., Федчук А. П., Цыбанев Н. Н. // Тр. IX Всесоюз. симпозиума «Электронные процессы на поверхности и в тонких слоях полупроводников». Новосибирск, 1988. Ч. 2. С. 194.
- [5] Chebotin V. N., Remez I. D., Solovieva L. M., Karpachev S. V. // Electrochimica Acta. 1984. Vol. 29. N 10. P. 1381—1388.
- [6] Sands D., Bremson K. M., Thomas C. B. // Sol. St. Electron. 1987. Vol. 30. N 5. P. 543—548.

Одесский государственный университет  
им. И. И. Мечникова

Поступило в Редакцию  
2 февраля 1989 г.

#### ОБ ЭНЕРГИИ ШАРОВОЙ МОЛНИИ

С. И. Степанов

Существующие обзоры наблюдений [1—4] вполне едины в отношении свойств шаровой молнии (ШМ). Исключением является энергия ШМ. Обычно в качестве характерного значения энергии ШМ приводят цифры  $10^3$ — $10^4$  Дж. Однако достоверно наблюдалось энерговыделение  $10^5$ — $10^6$  Дж и более (см. также [5]). Это превосходит возможную величину

химической энергии, которая может быть запасена в объеме ШМ, и существенно затрудняет построение ее физической модели. В литературе, посвященной ШМ, неоднократно отмечалось, что большие энерговыделения могут быть связаны с другими явлениями, сопутствующими ей: ударом линейной молнии, темновым током через ШМ, коронным разрядом. В этом случае ШМ собирает энергию поля с большого объема. Если это так, то энерговыделение ШМ должно зависеть от возможности протекания через нее внешнего тока. С целью разобраться в этом вопросе, мы сочли необходимым так классифицировать данные по энерговыделению ШМ, чтобы выделить эту возможность. Для этого оценки энерговыделения ШМ, приведенные в литературе, мы разделили на две группы. В первую включили случаи, когда посторонний разряд через ШМ маловероятен. Это соответствует

### Наблюдавшиеся энерговыделения шаровой молнии

Ссылка	Страница	Энергетическое действие	Энергия, Дж
Наблюдения в жилых помещениях x			
[2]	56	Нагрев пластика и золота	440
[2]	66	Сила света	10
[2]	67	Сила звука взрыва	10
[1]	90	Нагрев, расплавление, испарение железа	2000
[1]	90	Нагрев и испарение железа	700
[1]	94	Поднятие воды в ведре	10
Наблюдения вне жилых помещений			
[2]	54	Нагрев воды	$3 \cdot 10^6$
[2]	55	Расщепление сваи причала	$0.15 \cdot 10^6$
[2]	59	Нагрев воды и битума	$0.016 \cdot 10^6$
[2]	61	Выгорание травы	$0.9 \cdot 10^6$
[1]	89	Нагрев высоковольтного провода	$0.15 \cdot 10^6$
[1]	89	Нагрев железной трубы	$0.1 - 0.2 \cdot 10^6$
[1]	89	Проплавление железной трубы	$0.1 \cdot 10^6$
[7]		Сила света, анализ фотографии	0.01 Вт
[6]	106	Нагрев, испарение воды	$180 \cdot 10^6$
[5]		Расщепление древесины (4 случая)	$10 - 200 \cdot 10^6$

хорошей электрической изоляции в жилых помещениях. Во вторую группу включили случаи на местности. В таблице приведены имеющиеся в литературе случаи наблюдения ШМ с выделением энергии и оценки энерговыделения. Данные таблицы показывают, что между обеими группами имеется различие, составляющее 3 порядка (средняя энергия  $\sim 100$  Дж и  $100$  кДж соответственно). Это определенно указывает, что природа энерговыделения в обоих случаях действительно различна. По-видимому, большие энерговыделения связаны с протеканием внешнего тока через ШМ и выделением энергии внешнего поля из большого объема. Энергия же собственно ШМ (не связанной с другими явлениями) составляет около  $100$  Дж. Наиболее обоснована точка зрения, что это химическая энергия [4]. Такая энергия содержится примерно в  $0.01$  г окисляющегося вещества.

В литературе уже отмечалось различие между ШМ в помещениях и на местности. Так, И. М. Имянитов заметил, что в момент взрыва ШМ на местности наблюдается вспышка свечения [6]. При взрыве в комнате этого нет.

### Список литературы

- [1] Стаханов И. П. Физическая природа шаровой молнии. М.: Атомиздат, 1979. 240 с.
- [2] Барри Дж. Шаровая молния и четочная молния. М.: Мир, 1983. 286 с.
- [3] Стаханов И. П. О физической природе шаровой молнии. М.: Энергоатомиздат, 1985. 208 с.
- [4] Смирнов Б. М. Проблема шаровой молнии. М.: Наука, 1988. 208 с.
- [5] Козлов Б. Н. // ДАН СССР. 1978. Т. 238. № 1. С. 61.
- [6] Имянитов И. П., Тихий Д. Я. За гранью законов науки. М.: Атомиздат, 1980. 190 с.
- [7] Рябцов А. Н., Стаханов И. П. // ЖТФ. 1987. Т. 57. Вып. 8. С. 1583—1587.