

СЕКЦИЯ «ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА»

УДК: 621.315.592

А.Б.Шмелькин (5 курс, каф. ФТТ), К.Д. Цэндин, д.ф.-м.н., проф.

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ТЕПЛОВОГО ПРОБОЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Важным фактором, влияющим на работоспособность любого прибора, является определение условий устойчивого функционирования. В силу активационного типа проводимости, обеспечивающего положительную обратную связь, в полупроводниковых приборах возможна ситуация, в которой незначительные флуктуации напряжения приводят к лавинообразному нарастанию тока и температуры, то есть тепловому пробоя [1, 2]. На языке вольтамперных характеристик такое поведение прибора описывается S-образным типом ВАХ.

Целью данной работы являлось определение условий, при которых вольтамперная характеристика из S-образной превращается в монотонную, что ведет к блокировке теплового пробоя. В качестве исследуемого объекта использовалась бесконечная полупроводниковая пленка толщины L с металлическими контактами.

Нами полагалось, что распределение температуры в пленке описывается уравнением теплопроводности, причем выделение тепла происходит по закону Джоуля-Ленца и только в пленке, а теплоотвод с поверхности контактов подчиняется закону Ньютона. В результате, распределение температуры в области полупроводника $0 \leq z \leq L/2$ (в силу симметрии, достаточно рассмотреть половину слоя) описывается следующей системой уравнений [3]

$$\kappa_s \frac{d^2 T}{dz^2} + jF = 0, \quad (1a)$$

$$\kappa_s \frac{dT}{dz} = -\frac{\lambda(T - T_0)}{1 + \lambda\delta/\kappa_c}, \quad z = L/2, \quad (1b)$$

$$\frac{dT}{dz} = 0, \quad z = 0, \quad (1c)$$

$$j = \sigma_0 F \exp\left(-\frac{\Delta E}{kT}\right), \quad (1d)$$

где κ_s , κ_c - теплопроводности полупроводника и контакта, j - плотность тока, F - электрическое поле, λ - коэффициент внешнего теплоотвода, T_0 - температура окружающей среды, ΔE - энергия активации проводимости.

Отличительной особенностью S-образной вольтамперной характеристики является наличие области трехзначности. Основываясь на этом, нами было написано условие бифуркации решений системы уравнений (1), которое, в совокупности с самой системой уравнений (1), в качестве решений дает границы области трехзначности ВАХ. При слиянии данных решений вольтамперная характеристика становится монотонной, и возможность теплового пробоя пропадает.

В результате анализа полученных условий и численного решения полной системы уравнений была получена область параметров t_0 и γ ($t_0 = kT_0/\Delta E$ - безразмерная температура окружающей среды, $\gamma = \lambda L [2\kappa_s (1 + \delta\lambda/\kappa_c)]^{-1}$ - параметр теплоотвода),

соответствующая S-образной ВАХ, а также предложены два пути для исчезновения S-образности:

- за счет улучшения теплоотвода, который блокирует джоулев разогрев;
- за счет повышения температуры окружающей среды, которое приводит к ослаблению зависимости проводимости от температуры.

На основе справочной информации [4] был проведен ряд оценок характерных величин теплового пробоя.

Следует отметить, что в области малых значений параметра теплоотвода полученные данные существенно уточняют известные ранее [3], а при больших значениях γ полученные результаты оригинальны.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Алферов Ж. И., Уваров А. И. «Тепловой пробой мощных германиевых вентиляей» // «Электричество» № 5, 53. 1964.
2. Уваров А. И. «Некоторые вопросы разработки, исследования и применения полупроводниковых приборов» // Л.: Наука, 1965.
3. «Электронные явления в халькогенидных стеклообразных полупроводниках» под редакцией Цэндина К. Д. // СПб: Наука, 1996.
4. Справочник «Физические величины» под ред. Григорьева И. С., Мейлихова Е. З. // Энергоатомиздат, 1991.