

## Все придумано. Осталось только сделать

Конечно, это шутка. Проблем в области технологии ЭВП СВЧ оказалось немало. Проще сказать, что там все — проблема. Во-первых, сетки, образующие зазор в резонаторе. Какая-то доля электронов оседает на этих сетках, мигмом превращая всю свою кинетическую энергию в тепловую. Сетки делали и тугоплавкие, и с тонкими высокими ребрами (чтобы они лучше передавали тепло на охлаждаемую часть резонатора), но все равно — в мощных приборах сеток как таковых нет. Электронный пучок летит через отверстие — как бы через сетку с одним большим окном. (Рыболовная сеть такого типа позволила бы сохранить нетронутыми богатства всех морей и океанов!)

Следующая проблема — «окно для вывода энергии». Мощные электромагнитные колебания генерируются в вакууме, а нужны они нам снаружи прибора, в воздухе. Казалось бы, особой проблемы нет — любое стекло или керамика прозрачны для электромагнитного излучения и «не прозрачны» для воздуха. Но часть электромагнитного излучения поглощается стеклом или керамикой и нагревает ее. Керамика — материал сам по себе термостойкий, однако при нагреве увеличивается ее проводимость, она начинает сильнее поглощать электромагнитное излучение, еще сильнее нагреваться и так далее. Этот процесс называется тепловым пробоем, а кончается он сквозным проплавленным отверстием, соединяющим вакуумный объем прибора и атмосферу. Дальнейшее в пояснениях не нуждается.

Многие технологические проблемы, как и проблема изготовления сетки, сводятся к выбору материала. Причем ситуация обычно устроена так, что материал, который способен выдерживать более высокие температуры (например, тугоплавкие и прочные при высоких температурах молибден и вольфрам), будет и нагреваться сильнее (например, из-за плохой проводимости и плохой теплопроводности). Чистых металлов в природе не так уж много, но сплавов — не счесть. Вдобавок есть еще композитные материалы — например, смесь (не сплав!) вольфрама и меди, — сочетающие высокие проводимость, теплопроводность и прочность.

Многие ЭВП СВЧ работают в импульсном режиме. Это значит, что электронный поток обрушивается на поверхность коллектора импульсами — скажем, 1 мкс ток идет, а потом 1 мс тока нет. Здесь, на коллекторе, кончается короткая, но яркая биография электрона — в вакууме он ускорился, тормозился и генерировал, а в металле есть только безликий «электронный газ», там электроны не отличаются друг от друга. Но напоследок электрон делает вот что — отдав остаток энергии на нагрев коллектора, он способствует его разрушению. Действительно, когда ток идет, поверхность коллектора нагревается, в паузе — остывает. При нагреве и охлаждении возникают термические напряжения, в материале коллектора понемногу накапливаются дислокации, потом возникают трещины, и в итоге коллектор начинает разрушаться. Для уменьшения плотности мощности пучка перед коллектором он «распушается», «растаскивается» на большую площадь (см. рис.5).

На уровне хорошего детектива обо всем этом рассказано в прекрасной книге «Теплофизические процессы и электровакуумные приборы», написанной В.Ф.Коваленко и изданной в 1975 году издательством «Советское радио». Много хороших книг написано об электровакуумных приборах, много хороших книг написано о теплофизических процессах, но лучше этой — нет. Конечно, это мое личное мнение, и я его никому не навязываю. Любовь — это всегда личное мнение. И пусть все другие, кто десятилетиями работает в области ЭВП СВЧ, не обижаются. Во-первых, для того чтобы написать хорошую книгу, недостаточно быть прекрасным специалистом. Надо уметь изложить ясно, доступно, интересно, в общем — увлекательно. Нужно иметь свой взгляд на мир и на ЭВП СВЧ. Надо, наконец, просто захотеть написать книгу. И еще надо это сделать. Так же, как и любую работу, — надо захотеть сделать и надо сделать.

Мы остановились на том, что окна перегреваются и разрушаются из-за поглощения в них энергии электромагнитной волны. Казалось бы, созданием диэлектриков с очень малой проводимостью эту задачу можно решить. Увы, дракон оказался многоглавым. Электрон, ударяясь о любой материал, выбивает из него вторичные электроны. Ну и что? Пусть даже шальной электрон ударился в керамическое окно вывода энергии — ну выбьет он сколько-то вторич-

ных электронов, ну разлетятся они куда попало, и все. Увы, не все. Во-первых, выбьет он вторичных электронов довольно много — несколько штук. Во-вторых, раз окно это предназначено для вывода энергии, то, значит, вокруг него и в нем самом всегда есть сильное электромагнитное поле. Поле, заметьте, переменное. Вторичные электроны ускорятся этим полем, наберутся от него энергии, врежутся в керамику, выбьют из нее еще больше вторичных электронов, которые опять ускорятся полем, и пошло-поехало. Электронная лавина нарастает, энергия отнимается от электромагнитной волны и идет на нагрев окна. Такого издевательства — а оно называется высокочастотным вторично-электронным разрядом — не выдерживает самая высокотемпературная керамика.

Много сил и времени было потрачено на поиск материала и конструкции окон, допускающих вывод больших мощностей. Рекорд мощности клистрона 30 МВт (импульсная мощность, при длине импульса несколько мкс) продержался около 20 лет. Но в 1983 году в Стэнфордском университете был разработан клистрон мощностью 50 МВт, а еще через 2 года там же американские и японские специалисты сделали клистрон мощностью 150 МВт. Кроме всего прочего, оказался важным выбор антиэмиссионного покрытия для окна вывода энергии. Ни в одном виде спорта рекорды не бьются таким способом — после 20 лет превышение скачком в 1,7, а потом еще в 3 раза. Впрочем, такое и в технике бывает нечасто.

