

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ**ПО ПОВОДУ СТАТЬИ И. Д. КОНОЗЕНКО «ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ БОЛОМЕТРЫ» (УФН, т. LVI, вып. 2, стр. 283)**

В последнее время полупроводниковые материалы были использованы для изготовления тепловых приемников инфракрасной радиации — болометров. Интерес к такого рода применениям вполне понятен, так как полупроводниковые материалы обычно имеют большие температурные коэффициенты сопротивления и тем самым сулят значительное увеличение чувствительности тепловых приемников.

В статье И. Д. Конозенко сделана попытка систематизировать данные о ряде полупроводниковых болометров, разработанных до настоящего времени за границей, и охарактеризовать положение таких болометров среди других тепловых приемников инфракрасной радиации (в основном металлических, сверхпроводящих и диэлектрических болометров).

По нашему мнению, однако, статья страдает наличием ряда серьезных недостатков, вследствие которых положение дела с полупроводниковыми болометрами может дезориентировать читателя. Поэтому считаем своим долгом обратить на них внимание читателя.

1. Основной дефект обзора — игнорирование автором времени измерения при оценке пороговой чувствительности болометров. Хорошо известно, что предельная чувствительность любого приемника радиации ограничивается его собственным шумом, среднеквадратичное значение которого обратно пропорционально корню квадратному из времени усреднения измерительного устройства, на выходе которого этот шум регистрируется¹. В настоящее время порог чувствительности приемника определяется как мощность потока радиации, вызывающая электрический сигнал на выходе измерительной системы, по величине равный среднеквадратичному значению шума приемника, измеренному на выходе этой же измерительной системы². Совершенно очевидно, что определенный таким образом порог будет зависеть от свойств измерительной системы (например, постоянной времени и т. п.) и поэтому их нужно либо выбирать всегда постоянными, либо совершенно четко оговаривать. Посмотрим, как к этому вопросу подходит И. Д. Конозенко.

На стр. 294 И. Д. Конозенко поместил таблицу 1, где «представлены теоретические данные о пороге чувствительности, полученные в работах ряда авторов». Из сопоставления этих данных он делает вывод, что теоретическим порогом чувствительности болометров с площадью приемной поверхности $0,1 \text{ см}^2$ является мощность $5 \cdot 10^{-11}$ ватта. Однако, не указав ни в таблице, ни в пояснениях к ней, к какому времени измерения относятся приводимые данные, И. К. Конозенко лишил тем самым смысла эту таблицу. Необходимо тут же заметить, что данные относятся к разным временам измерения. Так, например, Беккер и Мур экспериментально (а не теоретически, как утверждает Конозенко) определили порог чувствительности своего болометра при времени измерения 15 секунд³. В то же время К. Джонс и Р. Гевенс дают значение пороговой чувствительности при постоянной времени измерителя равной постоянной времени приемника и цифры, приведенные Конозенко соответствуют ее значению, равному одной секунде^{4, 5, 6}.

На стр. 284 И. Д. Конозенко приводит ряд цифр, характеризующих порог чувствительности металлических и полупроводниковых болометров и делает вывод, что в «отдельных случаях оказывается возможным создавать образцы полупроводниковых болометров, которые имеют» лучший порог чувствительности, чем металлические болометры. Этот вывод также сделан на основании сравнения величин, полученных за различное время измерения и поэтому неверен.

На стр. 304 И. Д. Конозенко приводит таблицу IV, причем указывает, что «данные, приведенные там, заимствованы из различных литературных источников без соответствующих перерасчетов к единым условиям». По этой таблице автор предлагает читателю «судить о том месте, которое уже сейчас занимают полупроводниковые радиационные болометры среди других типов болометров». Ясно, однако, что без соответствующих перерасчетов к единым условиям невозможно сравнивать болометры даже ориентировочно. Помещение таблицы в таком необработанном виде И. Д. Конозенко пытается оправдать тем, что «в болометрической технике еще до настоящего времени не выработаны стандартные критерии измерения тех или

инных величин для оценки качества болометров». Однако в действительности положение далеко не такое безнадежное: если и нет еще стандартных критериев измерения, то, во всяком случае, имеются вполне твердо установившиеся в литературе основные правила для подобного рода оценки. Еще в 1940—1946 гг. К. С. Вульфсон осуществил сравнение различных тепловых приемников радиации, применявшихся в основном в довоенный период и рассчитанных на работу с гальванометрами¹. Основным параметром при этом являлось отношение сигнал—шум приемника, полученное в определенных сравнительных условиях измерения. Наиболее удобные и целесообразные условия измерения для сравнения между собой различных современных приемников радиации предложил в 1947—1949 гг. К. Джонс. На основании данных, опубликованных в литературе, а также на основании собственных сведений, он сравнил между собою 50 тепловых приемников инфракрасной радиации по их отношению сигнал—шум, приведенному к предложенным условиям сравнения⁵. В дальнейшем этими условиями пользовались также и другие авторы. На одну из статей К. Джонса⁴, где приводятся его условия сравнения, есть ссылка и у И. Д. Конозенко; однако автор не использовал метода К. Джонса, так как в этом случае приводимая им таблица IV выглядела бы совершенно иначе. Я позволю себе привести выдержки из таблиц I и II статьи К. Джонса⁶ для того, чтобы можно было судить, какое место занимал в 1949 г. полупроводниковый болометр среди других современных малоинерционных приемников радиации.

№№ п/п	Название приемника	τ , милли- секунды	F , мм ²	H_m в 10^{-10} ат
1	2	3	4	5
1	Сверхпроводящий болометр 22-к— $\frac{1}{4}$	10	1,8	0,216
2	Пневматический приемник Голея	5,0	7,0	1,28
3	Никелевый болометр (Fe lix)	21,2	17,2	1,88
4	Термопара Перкин — Елмер	17,0	0,4	3,47
5	Испаренный болометр (Ni)	7,2	4,5	14,7
6	Платиновый болометр (Baird)	4,1	0,2	16,0
7	Полупроводниковый болометр (термистор) (S 19)	5,9	0,6	25,5
8	Термопара Гарриса	13,3	11,0	5,0

Здесь τ — постоянная времени приемника, F — площадь его приемной поверхности, H_m — минимальный чувствительный поток радиации в сравнительных условиях К. Джонса (основу которых составляет равенство постоянных времени измерителя и самого приемника). Приведенные приемники являются одними из лучших (применительно к наиболее часто встречающимся задачам) среди образцов данного типа. Данные относятся к 1949 г., но, судя по литературным данным, с тех пор особых изменений в положении с тепловыми приемниками инфракрасной радиации и, в частности с полупроводниками, за границей не произошло.

Таким образом, несмотря на разнообразие в значениях τ и F , метод К. Джонса дает возможность охарактеризовать различные приемники сравнимыми между собой значениями величины H_m .

Из приведенной таблицы видно, что современные полупроводниковые болометры еще далеки от совершенства и значительно уступают другим приемникам инфракрасного излучения.

2. Вторым, не менее существенным дефектом обзора, является произвол в обращении с литературными данными. К сожалению, перечень всех такого рода дефектов был бы слишком длинен, поэтому мы остановимся лишь на наиболее, по нашему мнению, важных:

а) И. Д. Конозенко пишет: (стр. 293) «К. С. Вульфсон дал теоретическое значение порога чувствительности для любого приемника $7 \cdot 10^{-9}$ ат, но это неверно, так как мы знаем приемники с порогом 10^{-9} ат». Но в работе Вульфсона⁷ четко оговорено, что он определяет порог как величину мощности, в 100 раз превышающей шум, кроме того цифра $7 \cdot 10^{-9}$ относится лишь в термопаре с поверхностью 1 см^2 ;

б) далее, здесь же (стр. 293) приводится формула (21), взятая из статьи Вульфсона⁷, и вычисляется по ней минимальная чувствительная болометром мощность, но при этом в эту формулу подставляются совершенно неправильные величины: у Вульфсона

$$\alpha = \frac{d\rho}{dT}, \text{ а И. Д. Конозенко подставляет значение, соответствующее } \alpha = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT},$$

и в результате делает ошибку приблизительно в 1000 раз (если при этом исправить показатель степени у величины T_0 с $1/2$ на 2, так как, по-видимому, это просто либо опечатка, либо описка);

в) утверждается, что формула Вульфсона (21) выведена без учета влияния изменения нагревания болометра за счет тока, текущего через него при его освещении, в то время как эта формула получена при условии, что это нагревание есть, но оно в точности компенсирует потерю тепла за счет излучения, так как при этом будет осуществляться оптимальная чувствительность болометра;

г) также неверно заявление, что формула (21) выведена в предположении равноплечности моста, так как в действительности в работе Вульфсона рассматривается более выгодной неравноплечный мост.

Другой пример. И. Д. Конозенко считает лучшим полупроводниковым болометром болометр, разработанный Беккером и Муром³. Он ссылается на соответствующую заметку авторов, где они приводят основные параметры своего болометра. Однако данные этого болометра у Конозенко (стр. 299) совершенно не соответствуют данным авторов. У них сопротивление болометра $2 \cdot 10^6$ ома, у Конозенко — $6 \cdot 10^6$ ома, у них площадь приемной поверхности $0,6 \text{ мм}^2$, у Конозенко — от $0,5$ до 5 мм^2 , у них минимальная усредненная мощность, которая была зарегистрирована на установке с постоянной времени 15 секунд, составляет 10^{-10} ватта, Конозенко приводит цифру $5 \cdot 10^{-10}$ ватта. И, наконец, в таблице IV Конозенко дает напряжение питания для этого болометра, равное 100 вольтам, в то время как авторы вообще не приводят этой цифры, а единственная цифра у них, которая близка к этой (110 В а. с.), означает напряжение питания усилительного устройства, с которым авторы производили измерения. Далее, данные болометра Брестайна и Беккера⁸, помещенные И. Д. Конозенко на стр. 299, в значительной мере не соответствуют данным, помещенным в таблице IV, хотя и в том, и в другом случае читатель отсылается к одной и той же работе.

3. Помимо отмеченных дефектов, в статье И. Д. Конозенко имеется ряд высказываний, неправильных с точки зрения современной измерительной техники. Например, на стр. 285 И. Д. Конозенко пишет: «так как полупроводниковые болометры обладают высоким сопротивлением, имеется возможность использовать усилительные лампы. Тем самым отпадает необходимость применения в качестве регистраторов сигналов исключительно гальванометров, а можно пользоваться и другими приборами: катодным вольтметром, катодным осциллографом и т. п.». Это утверждение можно понять только так, что в случае приемников, имеющих малое сопротивление, использовать усилительные лампы невозможно. Это совершенно неверно. Электронные усилители с успехом применяются при работе с приемниками, имеющими сопротивление $0,2-0,3 \text{ ом}$ (у сверхпроводящих болометров), а усиление сигналов от приемников с сопротивлением $5-20 \text{ ом}$ осуществляется в многочисленных приборах, предназначенных для широкого использования в научно-исследовательских лабораториях и промышленности^{9, 10, 11, 12}.

Что касается существа вопроса о полупроводниковых болометрах, то по этому поводу можно сказать следующее: за 13 лет, прошедших со времени появления полупроводниковых болометров, основные усилия были направлены на отыскание наиболее подходящего материала для них, который должен обладать высоким температурным коэффициентом сопротивления и в то же время допускать изготовление из него тонких ($\sim 0,1 \text{ м}$) и стабильных слоев, не дающих добавочных электрических шумов. Однако до сих пор не было найдено такого материала. Изготовленные за границей полупроводниковые болометры из различных материалов в отношении пороговой чувствительности (основной параметр, существенный для болометров) пока еще значительно (до 20 с лишним раз) уступают лучшим образцам других типов тепловых инфракрасных приемников, работающих при комнатной температуре, хотя их высокая вольтоваттная чувствительность составляет некоторое преимущество при использовании в сравнительно грубых приборах, где не достигается флуктуационный предел.

М. Марков

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. В. Л. Грановский, Электрические флуктуации, ОНТИ, 1936 г.
2. R. Clark Jones, J. Opt. Soc. Am. **37**, 879 (1947).
3. Becker, Moor, J. Opt. Soc. Am. **37**, 354 A (1948).
4. R. Clark Jones, J. Opt. Soc. Am. **39**, 327 (1949).
5. R. Clark Jones, J. Opt. Soc. Am. **39**, 344 (1949).
6. R. Havens, J. Opt. Soc. Am. **36**, 355 (1946).
7. К. С. Вульфсон, Труды ВЭИ, вып. 41 (1940).
8. Brattain a. Becker, J. Opt. Soc. Am. **36**, 354 (1946).
9. N. Fuson, J. Opt. Soc. Am. **38**, 845 (1948).
10. White, M. Liston, J. Opt. Soc. Am. **40**, № 1 (1950).
11. Baird, O'Bryan, J. Opt. Soc. Am. **37**, 754 (1947).
12. Wright, Herscher, J. Opt. Soc. Am. **37**, 216 (1947).