

# РАЗРАБОТКА И ИСЛЕДОВАНИЕ ДЕТЕКТОРОВ КВАНТОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ СВЕРХПРОВОДНИКОВЫХ НАНОСТРУКТУР С ТУНЕЛЬНЫМ ПЕРЕХОДОМ

Г. В. Якопов

Таганрогский государственный радиотехнический университет, г. Таганрог

В данной работе приведены экспериментальные результаты исследования элементов на основе сверхпроводниковых туннельных переходов (СТП).

При температуре 4,2К измерены основные параметры, характеризующие СТП, такие как: критический ток  $I_c$ ; сопротивление нормального туннелирования  $R_N$ ; подщелевое сопротивление  $R_j$ ; напряжение, характеризующее энергетические щели сверхпроводниковых электродов

$$V_M = \Delta = \Delta_1 + \Delta_2 = I_c \cdot R_j ;$$

качество диэлектрического слоя тонкопленочного перехода, которое характеризует величина  $K=R_j/R_N$  - отношение сопротивлений одночастичного туннелирования при напряжениях, ниже и выше напряжения сверхпроводящей щели на реальной вольтамперной характеристике (ВАХ).

Для СТП Nb/ALOX-Al/Nb хорошего качества -  $R_j$  принято измерять при 2 мВ, а  $R_N$  - при 4 мВ (рис. 1).

Непосредственное измерение вольтамперных характеристик джозефсоновского перехода осуществлялось четырехзондовым методом в жидком гелии с помощью специально разработанного и изготовленного стенда, включающего: криостат, зондовую технику (Рис.2), необходимую электронику, программное обеспечение.

Структурная схема эксперимента приведена на рис. 3. Прямоугольные импульсы частотой 1 Гц с генератора подаются на светодиод. Модулированное таким образом излучение светодиода мощностью 100 мВт через attenuator и оптическое волокно попадает на СТП. СТП и СКВИД находятся в гелиевом криостате при температуре 4,2 К. Импульсы тока отклика с СТП величиной порядка 10 нА поступают на СКВИД. Блок электроники производит одновременную регистрацию выходного сигнала со СКВИДа и сигнала генератора. В течение двух минут производится накопление этих сигналов посредством АЦП на компьютере в виде файлов.

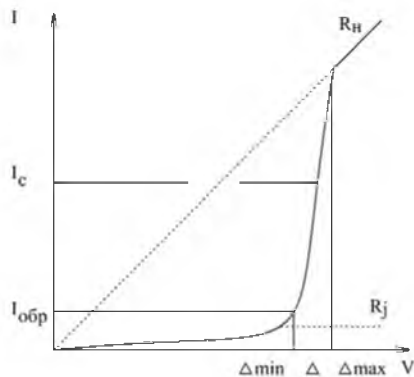


Рис.1. Типичная вольтамперная характеристика джозефсоновского перехода

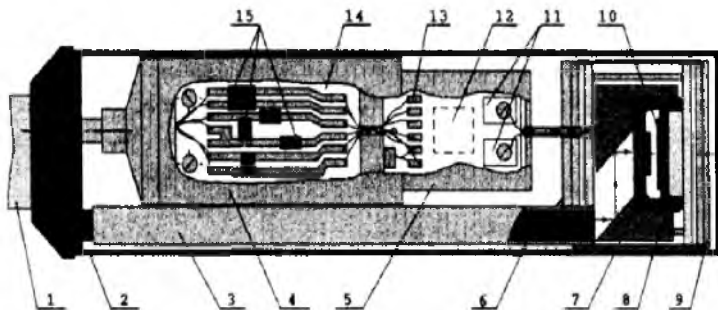


Рис.2. Головка криозонда: 1-несущая труба, 2-измерительная головка, 3,4,5,9-сверхпроводящие экраны, 6-оптоволокну, 7-зеркало, 8-корпус сверхпроводящей катушки, 10-СТП, 11-токовые терминалы СКВИДА, 12-СКВИД, 13-контактные площадки, 14-плата фильтров, 15-элементы фильтров

Ток в контакт задавался через ограничивающее и шунтирующее сопротивления, которые можно выбирать с помощью коммутаторов. Напряжения и ток усиливались с помощью дифференциальных усилителей с низким уровнем шума и малым дрейфом (TVL 2442CD) для того, чтобы уменьшить влияние внешнего оборудования на исследуемый контакт. Напряжение на контакте постоянно подавалось на х-вход осциллографа. На его у-вход подавалось напряжение, снятое с ограничивающего сопротивле-

ния, а также опорное напряжение, которое можно вручную изменять и наблюдать независимо. Достигнуты следующие параметры:  $R_L/R_N=13$ ,  $V_m=60$  мВ.



Рис. 3. Схема эксперимента по калибровке

Для калибровки предлагается использовать светодиод с излучением в красной области спектра с минимальной энергией фотонов  $E_0 = 1,65$  eV. В таком случае демонстрация возможностей применима ко всему видимому диапазону. С помощью светодиода можно получить излучение мощностью  $P_{\text{юл}} = 0,35$  Вт. Эта мощность может быть уменьшена до 35 мкВт. Принимая во внимание инерционность светодиода, может быть использована только низкочастотная модуляция (около 1 Гц). Для простоты используем прямоугольные импульсы длительностью 0,5 с. В результате получим следующее значение энергии импульса:

$$E_{\text{изл}} = P_{\text{изл}} \cdot t = 0,175 \text{ J} = 10^{14} \text{ eV} \quad (1)$$

при числе фотонов

$$N_{\phi} = E_{\text{изл}} / E_0 = 6 \cdot 10^{13}. \quad (2)$$

Отклик СТП на основе Nb может быть вычислен через поток фотонов

$$N_{\phi} = P_{\text{изл}} / E_0 = 2 \cdot 10^{14} \text{ фотон/с}. \quad (3)$$

Так как энергетическая щель Nb  $\Delta_{\text{nb}} = 1,5$  meV, идеальная квантовая эффективность по отношению к квазичастицам (qp) для красного света равна:

$$N_0 = E_0 / 1,7 \Delta_{\text{Nb}}, \quad (4)$$

около 1000 qps/фотон. Принимая во внимание время жизни квазичастиц, которое составляет несколько наносекунд, реальная квантовая эффективность (20 % - 70 % от идеальной) может быть оценена как  $I_p = 10^{-8}$  А.

В этой связи необходимо принять во внимание приемлемый уровень токов во входной катушке СКВИД-магнетометра, работающего в качестве пикоамперметра. Значение тока может быть вычислено из соотношения:

$$\Phi = M I \quad (5)$$

для СКВИД-магнетометра. Экспериментальное значение  $M = 0,2 \mu\text{A} / \Phi_0$

$$\Phi_0 = 2 \cdot 10^{-15} \text{ Wb}, \quad (6)$$

где  $W_b$  - квант магнитного потока. Калибровка нашего СКВИД магнетометра производится с помощью пульсаций магнитного поля амплитудой  $B_{cal} = 100$  нТ при котором входящий магнитный поток

$$\Phi_{cal} = B_{cal} S = 6B_0 m\Phi, \quad (7)$$

для стандартной входной катушки СКВИДа диаметром 2 см. В результате получаем оценку для амплитуды калибровочного тока СКВИДа

$$I_{CAL} = \Phi_{CAL} / M = 1 \text{ nA}. \quad (8)$$

Принимая во внимание, что разрешение по магнитному полю в единицах частоты

$$\Phi_{noise} = 6 \mu \Phi_0 / \sqrt{\text{Hz}}. \quad (9)$$

и что типичный диапазон частот около 100 Hz, мы можем получить разрешение по полю  $5\Phi = 60 \mu \Phi_0$ . Рассчитанное из этого разрешения по полю соответствующее разрешение по току для пикоамперметра, основанного на СКВИДе,

$$I_{noise} = 1 \text{ pA} / \sqrt{\text{Hz}} \text{ and } \delta I = 10 \text{ pA}. \quad (10)$$

Таким образом, для хорошего отношения сигнал-шум по отношению к внутренним шумам СКВИДа ( $>10$ ) при калибровке выходной ток СТП должен быть не менее чем  $I_{min} = 100$  pA, а предпочтительным диапазоном токов является  $I_{cal}$  от  $I_{min}$  (100 pA) до  $I_{max}$  (10 nA). Максимальный ток ограничен динамическим диапазоном СКВИДа (а также используемым АЦП). Сравнивая  $I_r$  и  $I_{min}$ , мы видим, что необходимая мощность излучения, падающего на СТП, должна составлять 1-100  $\mu$  W. На практике такой уровень излучения, может быть, достигнут ослаблением мощности излучения от светодиода. Таким образом, с помощью СКВИДа можно детектировать выходной сигнал от СТП при использовании облучения мощностью 35  $\mu$  W.

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ ПИРОЛИЗА РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ ВЫХОДА ТОПЛИВНОГО ГАЗА**

В. А. Глушков, П. А. Ушаков

Ижевский государственный технический университет, г. Ижевск.

В данной работе проводится разработка модели системы автоматического управления пиролизной установкой, исследование ее параметров и разработка методики синтеза системы управления.

Анализ показателя эффективности: