

УДК 535.33; 539.2

МОДУЛЯЦИОННЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ NbC И Nb₃Sn

А. М. Герасимов, А. И. Головашкин, А. П. Коротков, А. Л. Шелехов

Разработана комплексная автоматизированная оптическая установка, позволяющая проводить измерения спектров образцов с металлической проводимостью как термомодуляционным, так и λ -модуляционным методами. С помощью этой установки получены модуляционные спектры образцов NbC и Nb₃Sn, отражающие их сложную электронную структуру.

Изучение оптических свойств металлических соединений позволяет делать определенные выводы об их электронной структуре. Интерес к соединениям ниобия связан с тем, что среди них имеется довольно много сверхпроводников с относительно высокими критическими температурами T_C , достигающими 24 K (Nb₃Ge) [1]. Электронная структура ряда ниобиевых соединений также необычна. Так, в ниобиевых соединениях с решеткой типа A15, имеющих общую форму Nb₃X, к которым принадлежит Nb₃Sn, имеется пик плотности электронных состояний $N(E)$ вблизи энергии Ферми E_F [2]. Считается, что высокие T_C соединений A15 связаны именно с их высокой плотностью электронных состояний на поверхности Ферми $N(E_F)$. В сверхпроводящих карбидах, к которым принадлежит NbC, напротив, наблюдается довольно низкое отношение $N(E_F)/T_C$. В каком-то смысле такие материалы являются подлинными высокотемпературными сверхпроводниками, т.к. на зависимости T_C от $N(E_F)$ их критические температуры выделяются над средним уровнем, т.е. их T_C превосходят величины критических температур других сверхпроводников с близкими значениями $N(E_F)$.

Одним из наиболее перспективных методов для получения электронных характеристик и особенностей электронной структуры является модуляционный оптический метод [3]. Этот метод позволяет изучать тонкие особенности спектров металлов и соединений, определяя производную коэффициента отражения по параметру модуляции.

В качестве параметра модуляции может выступать как внутренний параметр образца (температура T), так и внешний параметр (длина волны излучения λ). Каждый вариант модуляционной методики имеет свои преимущества и недостатки. В целом же модуляционные методики позволяют существенно повысить точность и разрешающую способность оптических измерений.

В настоящей работе на модернизированной автоматической установке, созданной в лаборатории сверхпроводимости ФИАН [4], получены модуляционные спектры соединений NbC и Nb_3Sn .

Как известно, модуляционный спектр представляет собой частотную зависимость производной логарифма оптической характеристики по какому-либо параметру. На таком спектре более отчетливо проявляются спектральные особенности исследуемой характеристики. Особенный интерес представляют модуляционные спектры отражения, т.е. такие, где исследуемый оптической характеристикой является коэффициент отражения света $R(\omega)$ или $R(\lambda)$. Здесь ω – круговая частота излучения. В этом случае модуляционный спектр отражения определяется выражением

$$\beta(\omega) = \frac{d \ln R(\omega)}{d\theta} = \frac{1}{R(\omega)} \frac{dR(\omega)}{d\theta} \quad (1)$$

или

$$\beta\lambda = \frac{d \ln R(\lambda)}{d\theta} = \frac{1}{R(\lambda)} \frac{dR(\lambda)}{d\theta}, \quad (1a)$$

где θ – модулируемый параметр (T, λ, ω).

Как уже было сказано, каждый вид модуляции имеет свои достоинства и недостатки. Модуляция по температуре (или термомодуляция) достаточно хорошо работает в тех случаях, когда коэффициент отражения сильно зависит от температуры. Метод модуляции длины волны излучения (λ -модуляция) позволяет выделять особенности, связанные с наличием широких полос поглощения, что типично для многих металлов и металлических соединений. Как правило, такие полосы относительно слабо зависят от температуры. В случае наличия сложных, перекрывающихся полос поглощения в спектре необходимо применять оба варианта модуляционного метода.

Наши измерения проводились на комплексной автоматизированной оптической модуляционной установке, позволяющей модулировать как температуру, так и длину волны излучения. Оптическая схема установки приведена на рис. 1. Свет от источника S (положение 1) или S' (положение 2), пройдя через систему зеркал Z_1, Z_2, Z_3 , попадает на входную щель монохроматора. В положении 1 свет проходит мимо образца O , который

находится в стороне. В положении 2 свет отражается от образца (положение образца O'). Оптические пути одинаковы в обоих положениях (за исключением дополнительного отражения от исследуемого образца в положении 2). Это позволяет определить абсолютное значение коэффициента отражения.

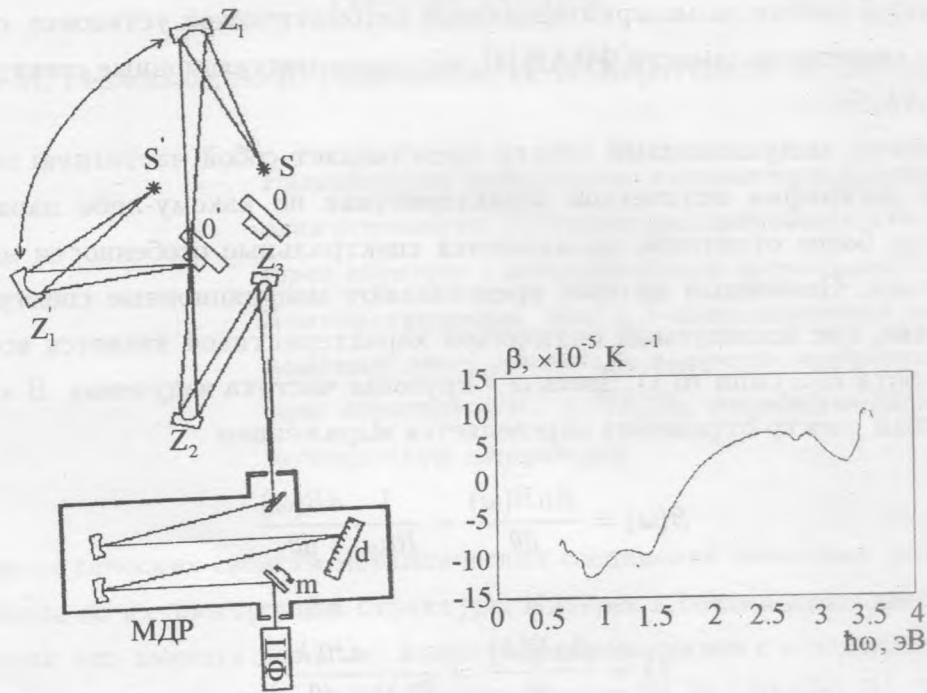


Рис. 1. Оптическая схема модуляционной установки. O, O' – столик с образцом; S, S' – источник излучения; Z_1, Z_1', Z_2, Z_3 – зеркала; m – колеблющееся зеркало; МДР – монохроматор МДР-3; ФП – фотоприемник; d – дифракционная решетка.

Рис. 2. Термомодуляционный спектр образца NbC.

Модуляция длины волны излучения осуществляется с помощью колеблющегося зеркала m , находящегося внутри монохроматора непосредственно перед выходной щелью. Модуляция температуры осуществляется специальным нагревателем, встроенным в держатель образца и питаемым переменным током низкой частоты (на рис. 1 не показан). На выходе из монохроматора свет поступает на фотоприемник, сигнал с которого после усиления и детектирования поступает в электронную систему обработки результатов. Более подробное описание установки см. в [4]. Одним из основных достоинств нашей установки является возможность проводить измерения спектров отражения и

модуляционных спектров образцов с металлической проводимостью. Электронная схема системы автоматизации установки также более подробно описана в [4]. Установка работает в комплексе с персональной ЭВМ, используемой как для автоматизации эксперимента, так и для обработки спектров.

Измерения модуляционных спектров выполнены для пленок NbC и Nb_3Sn при комнатной температуре. Пленки NbC наносились на полированные сапфировые подложки методом реактивного лазерного испарения [5]. Пленки имели удельное сопротивление $\rho \approx 120 \text{ мкОм} \cdot \text{см}$ при комнатной температуре. Температура перехода в сверхпроводящее состояние составляла около 12 К . Пленки Nb_3Sn получены методом электронно-лучевого испарения [6] на полированных рубиновых подложках. Толщина пленки сплава составила 0.25 мкм , площадь – 50 мм^2 . Температура перехода в сверхпроводящее состояние составляла 17.8 К .

Для NbC был получен термомодуляционный спектр отражения, /, для Nb_3Sn – λ -модуляционный спектр.

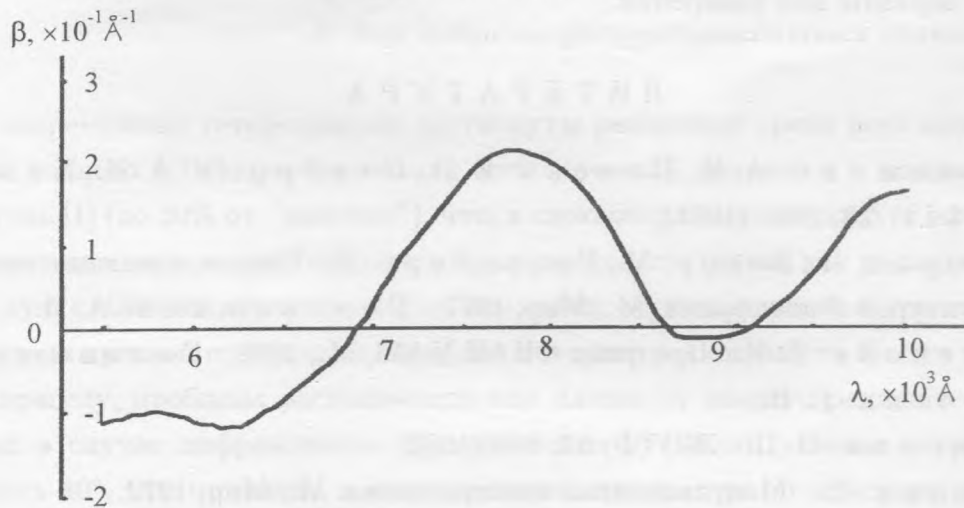


Рис. 3. λ -модуляционный спектр образца Nb_3Sn .

На рис. 2 приведен термомодулированный спектр образца NbC в интервале $0.6 - 3.62 \text{ эВ}$. Видна довольно сложная структура спектра. На спектре отчетливо проявляются особенности, соответствующие полосам поглощения при $\hbar\omega = 1.0 \text{ эВ}$ и 3.4 эВ (\hbar – постоянная Планка, $\omega = 2\pi c/\lambda$, c – скорость света). Наблюдается тонкая структура в спектре в областях 0.7 эВ и 2.9 эВ , а также смена знака в районе 1.8 эВ .

На рис. 3 показан λ -модуляционный спектр образца Nb_3Sn в интервале длин волн 5500 – 10 000 Å (1.25 – 2.25 эВ). На спектре выделяются особенности, соответствующие перекрывающимся широким полосам поглощения в области длин волн 6500 Å и 9000 Å (энергии 1.9 эВ и 1.4 эВ). Анализ этого спектра показывает, что существуют дополнительные полосы поглощения как в области более низких, так и более высоких частот.

Полученные спектры демонстрируют возможности модуляционной методики и созданной оптической установки [4]. Спектры этих соединений ниобия представляют самостоятельный интерес. Результаты их обработки будут опубликованы дополнительно.

Таким образом, разработана комплексная автоматизированная оптическая установка, позволяющая проводить измерения спектров образцов с металлической проводимостью как термомодуляционным, так и λ -модуляционным методами. С помощью этой установки получены модуляционные спектры образцов NbC и Nb_3Sn , отражающие их сложную электронную структуру.

Авторы выражают благодарность С. И. Красносвободцеву и Е. В. Печеню за предоставленные образцы для измерений.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Головашкин А. И., Печень Е. В., Скворцов А. И., Хлыбова Н. Е. ФТТ, **23**, 1324 (1981).
- [2] Тестарди Л., Вегер М., Гольдберг И. Сверхпроводящие соединения со структурой β -вольфрама, М., Мир, 1977; Головашкин А. И., Кузнецова Т. И. Препринт ФИАН N 156, М., 1978; Головашкин А. И., Печень Е. В., Шабанова Н. П. ЖЭТФ, **82**, 850 (1982).
- [3] Кардона М. Модуляционная спектроскопия. М., Мир, 1972.
- [4] Головашкин А. И., Кузнецов Г. И., Шелехов А. Л. Препринт ФИАН, М., 1999 (в печати).
- [5] Головашкин А. И. и др. ФТТ, **28**, 3342 (1986).
- [6] Головашкин А. И., Левченко И. С., Мотулевич Г. П. ФММ, **33**, 1213 (1972).

Поступила в редакцию 9 июля 1999 г.