

05.3;06;07

Влияние фазового перехода металл-полупроводник на электрическую емкость структуры алюминий–диэлектрик–диоксид ванадия

© А.А. Бугаев, С.Е. Никитин, Е.И. Теруков

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург

E-mail: eug.terukov@pop.ioffe.rssi.ru

Поступило в Редакцию 9 июня 2001 г.

Исследована температурная зависимость электрической емкости структуры алюминий–диэлектрик–диоксид ванадия. Установлено, что емкость структуры меняется скачкообразно в области температуры фазового перехода. Предложена качественная модель, связывающая изменение емкости со скачком проводимости в диоксиде ванадия при фазовом переходе.

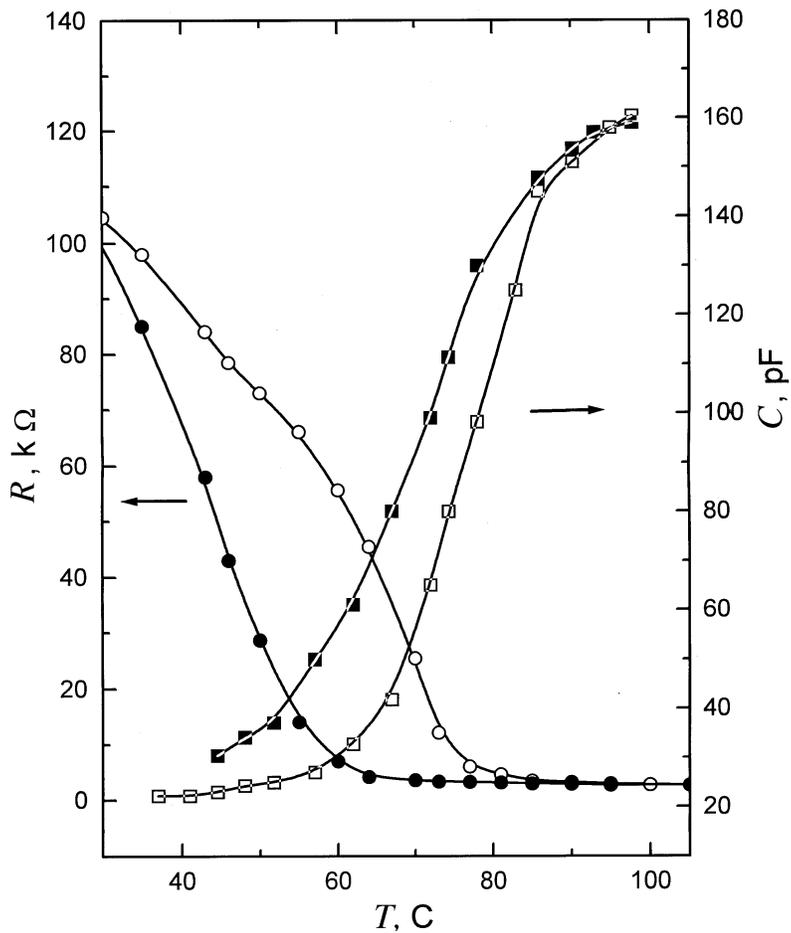
Несмотря на большое число исследований фазового перехода металл–полупроводник (ФПП) в двуокиси ванадия, которые имели как фундаментальный [1–5], так и прикладной характер [5], перспективы практического применения этого явления продолжают привлекать внимание исследователей. Основной интерес прикладных исследований базировался на значительном ($\Delta n \sim 1$, $\hbar\omega = 1.17 \text{ eV}$) и обратимом изменении комплексной диэлектрической проницаемости среды в широком диапазоне оптического спектра, благодаря чему была успешно разработана реверсивная регистрирующая среда для голографии [6,7] и пассивный оптический затвор для импульсных лазерных генераторов [8,9]. Значительно меньше работ, связанных со скачком проводимости среды, который для пленочных структур VO_2 может составлять 10^3 – 10^4 порядка величины.

Цель настоящей работы заключалась в разработке емкостного элемента оптоэлектроники, электрическая емкость которого может изменяться при температурном или оптическом воздействии на двуокись ванадия. Суть предлагаемой идеи заключается в использовании пленки VO_2 в качестве активной обкладки конденсатора, проводимость которой

меняется в зависимости от ее температуры. Эта возможность открывает перспективы создания нового типа перестраиваемых электронных схем.

При изготовлении образцов в качестве диэлектрического слоя использовались стандартные пластины слюды (диэлектрическая проницаемость 5–6) толщиной $15 \mu\text{m}$. Площадь пластины составляла 4cm^2 . На одну сторону такой пластины методом термического вакуумного напыления был нанесен слой Al толщиной $\sim 2000 \text{Å}$, а на другую — слой металлического ванадия толщиной $\sim 1000 \text{Å}$. Далее ванадий окислялся на воздухе при температуре 420°C , что приводило к образованию окисной пленки, близкой по составу к VO_2 [7]. В экспериментах по стандартной методике измерялась температурная зависимость проводимости пленки VO_2 и одновременно с этим температурная зависимость электрической емкости структуры Al-слода- VO_2 . Для измерения емкости к центру обкладки из VO_2 прижимался индиевый электрод площадью 0.06cm^2 . Измерения емкости производились на частоте 1 MHz. Результаты измерений представлены на рисунке. Как видно из этого рисунка, эксперимент обнаруживает, что вариация температуры (нагрев-охлаждение), вызывающая хорошо известное [5] изменение сопротивления VO_2 (петля гистерезиса), приводит также к изменению емкости структуры с аналогичным видом ее зависимости от температуры. При этом сопротивление VO_2 изменяется в 20–30 раз, тогда как емкость структуры в 6–7 раз. Отметим, что контрольные эксперименты, в которых в аналогичной структуре пленка VO_2 была заменена пленкой Al (Al-слода-Al), не обнаружили сколько-нибудь значительного изменения такой емкости в этом же диапазоне температур. Таким образом, можно утверждать, что именно изменение сопротивления пленки VO_2 вызывает изменение емкости структуры Al-слода- VO_2 .

Чтобы понять эффект изменения емкости, необходимо учесть, что удельное сопротивление VO_2 как в полупроводниковой фазе ($\rho_s \approx 2\text{--}5 \Omega \cdot \text{cm}$), так и в металлической ($\rho_m \approx 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$) существенно больше, чем у "классических" металлов. Поэтому пленка VO_2 выполняет как функцию обкладки конденсатора, так и сопротивления. Следовательно, образец можно представить как RC-цепь с распределенными параметрами. Эта цепь состоит из малой начальной емкости C_0 , образованной структурой Al-слода-индиевый электрод, к которой присоединена распределенная RC-цепь, образованная структурой Al-слода-пленка VO_2 . Распространение гармонических электромагнитных колебаний по такой цепи описывается телеграфными



Температурная зависимость сопротивления VO_2 (кружки) и электрической емкости структуры Al-слода- VO_2 (квадраты). Светлые символы отвечают росту температуры, темные — ее уменьшению.

уравнениями для линии с потерями [10]. Удобно представить образец в виде тонкого диска, у которого в центре обкладки из VO_2 находится индиевый электрод. Тогда имеем ситуацию двумерной, распределенной

цепи с радиальной симметрией. В этом случае решение уравнений будет аналогично одномерному случаю. Зависимость напряжения между обкладками конденсатора U от расстояния до центрального электрода r имеет вид

$$U = U_0 \exp[-\gamma r], \quad (1)$$

где U_0 — напряжение на центральном электроде, γ — постоянная затухания. В данном случае правомерно принять индуктивность образца и токи утечки через изолятор равными нулю. Тогда постоянная γ будет равна

$$\gamma = (Ri\omega C)^{1/2}, \quad (2)$$

где R — сопротивление цепи на участке от 0 до r , C — емкость этого участка, ω — частота электромагнитных колебаний. При больших R (VO_2 -полупроводник) γ велико, следовательно электрическое поле локализовано вблизи центральной оси образца. Это равносильно тому, что эффективно работает малая часть пленки VO_2 вблизи центрального электрода. При малом R (VO_2 -металла) постоянная γ резко уменьшается, что приводит к увеличению области, занятой электромагнитным полем. Это эквивалентно увеличению эффективно работающей площади обкладки из VO_2 . Таким образом, скачок проводимости VO_2 при ФПМП приводит к резкому изменению распределения электромагнитного поля в образце, что эквивалентно изменению площади обкладок конденсатора. Эти факторы и приводят к скачкообразному изменению емкости. В заключение отметим, что проводимость пленки VO_2 может меняться и под действием коротких лазерных импульсов [5], что позволяет рассматривать предлагаемую структуру как возможный прототип светоиндуцированных радиоэлементов для оптоэлектронных схем.

Авторы считают своим долгом выразить признательность Б.П. Захарчене за интерес и поддержку работы.

Список литературы

- [1] *Mott N.F.* Metal-Insulator Transition. London, Taylor-Francis, 1974. 278 p.
- [2] *Honig J.M., Van Zandt L.L.* // Annual Rev. Mat. Sci. 1975. V. 5. P. 225–278.
- [3] *Adler D., Brooks H.* // Phys. Rev. 1967. V. 155. N 3. P. 826–831.
- [4] *Paquet D., Leroux-Hugon P.* // Phys. Rev. 1980. V. 22. N 11. P. 5284–5301.
- [5] *Бугаев А.А., Захарченя Б.П., Чудновский Ф.А.* Фазовый переход металл-полупроводник и его применение. Л.: Наука, 1979. 183 с.

- [6] Бугаев А.А., Захарченя Б.П., Теруков Е.И., Чудновский Ф.А. Использование окислов ванадия для пространственной модуляции света // Пространственные модуляторы света / Под ред. С.Б.Гуревича. Л.: Наука, 1977. 143 с.
- [7] Бугаев А.А., Захарченя Б.П., Чудновский Ф.А. // Квантовая электроника. 1978. Т. 6. № 7. С. 1459–1462.
- [8] Бугаев А.А., Захарченя Б.П., Чудновский Ф.А. // Письма в ЖЭТФ. 1981. Т. 33. № 12. С. 643–646.
- [9] Bugayev A.A., Chudnovski F.A., Zakharchenya B.P. // Semiconductor Physics / Ed. by V.M. Tuchkevich. N.Y.; London: Consultants Bureau. 1986. P. 265–293.
- [10] Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники. М.: Сов. радио, 1976. 479 с.