

05.3; 06; 07; 11; 12

© 1992

ВЛИЯНИЕ ФОТОИНДУЦИРОВАННОГО ЦИКЛИРОВАНИЯ
НА СВОЙСТВА ПЛЕНОК VO_2 Ф.А. Егоров, Ю.Ш. Темиров,
А.А. Соколовский, В.Ф. Дворянкин

Термические параметры фазового перехода полупроводник-металл (ФППМ) в пленках VO_2 , такие как температура ФППМ θ_{π} , "размытость" фазового перехода $\Delta\theta_p$ и ширина гистерезиса $\Delta\theta_r$, в значительной мере определяют технические характеристики различных оптоэлектронных устройств на их основе [1]. В частности, с целью управления указанными параметрами изучалось влияние термической обработки, легирования [2], электронной и ионной бомбардировок, оптического и УФ облучения [3, 4] на характеристики VO_2 . В данной работе исследовано влияние интенсивного оптического излучения ($10^4 \cdot \text{Вт}/\text{см}^2$), периодически индуцирующего ФППМ, на свойства пленок VO_2 . Актуальность таких исследований обусловлена также возможностью создания на основе пленок VO_2 различных оптических устройств, управляемых с помощью света [5].

Измерения проводились на пленках VO_2 , полученных методом пиролиза [6] на торце одномодового волоконного кварцевого световода с длиной волны отсечки ≈ 0.7 мкм. Толщины пленок составляли 1000–2000 Å. Диаметр световедущей сердцевины световода ≈ 3.7 мкм, и, таким образом, исследовалась незначительная область пленки с размером ≈ 3.7 мкм. Для измерения оптических коэффициентов пленок и их температурных зависимостей использовалась схема, приведенная в работе [5].

На рис. 1 приведена типичная исходная (до воздействия оптическим излучением) температурная зависимость коэффициента пропускания на длине волны $\lambda = 0.84$ мкм для пленки VO_2 с толщиной ≈ 1600 Å. Как видно из рис. 1, величины θ_{π} , $\Delta\theta_p$ и $\Delta\theta_r$ составляют 67°C , $\approx 6^\circ\text{C}$ и $\approx 6^\circ\text{C}$ соответственно. Обращает на себя внимание то, что в области ФППМ на кривой пропускания (отражения) наблюдаются ступеньки (кривая б в увеличенном масштабе). При повторных записях зависимостей $\Pi(\theta)$ особенности на кривых, в основном, повторялись. Высота ступенек, их количество и распределение на кривой для пленок, полученных в одном и том же технологическом процессе, различались. Приведенные кривые подобны хорошо известным кривым намагничивания магнитных материалов, имеющих доменную структуру, и демонстрируют дискретный характер ФППМ в пленках VO_2 . Отметим, что природа дискретности, связана ли она с кристаллитной структурой пленки, у которой разные кристаллиты имеют разные θ_{π} [1], или же она

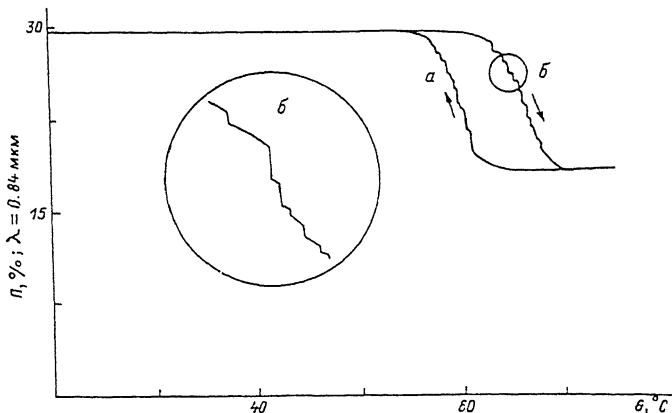


Рис. 1. Температурная зависимость коэффициента пропускания пленки VO_2 в исходной состоянии.

возникает в ходе развития ФППМ [7], в настоящее время не установлена.

После воздействия на пленку модулированным по амплитуде излучением $\lambda = 0.63$ мкм (меандр) $He-Ne$ лазера с мощностью в импульсе $P \approx 1$ мВт, достаточной для индуцирования ФППМ (процесс фотоиндуцированного циклирования), форма кривой на рис. 1 существенно изменялась, принимая вид, приведенный на рис. 2, после чего стабилизировалась. Кривая на рис. 2 получена после такого циклирования с частотой 50 кГц с общим количеством циклов $\approx 4 \cdot 10^9$. Частота циклирования, во-видимому, не играет существенной роли, поскольку при модуляции на частоте ≈ 1 кГц также происходили подобные изменения в форме кривых $\Pi(\theta)$. Количество циклов, при котором форма кривой гистерезиса практически стабилизируется, по наблюдениям на нескольких образцах составило $\approx 5 \cdot 10^6$, дальнейшее воздействие форму кривой заметно не изменяло. В результате циклирования, как видно из сравнения кривых на рис. 1 и 2, температура ФППМ, а также оптические коэффициенты пленок практически не изменялись, а ширина гистерезиса незначительно уменьшалась. Ступеньки на кривой гистерезиса (рис. 1 и 2) практически вертикальны, и их температурные протяженности не превышают 0.01 °C, что значительно меньше $\Delta\theta_D$ на хороших монокристаллах. Исследования "частных" петель гистерезиса показали (рис. 2), что на них также наблюдаются ступеньки, но со своей структурой.

Воздействие непрерывного излучения в течение более 2 ч с той же оптической мощностью P исходную форму гистерезиса заметно не изменяло, тогда как при воздействии модулированного излучения (≈ 1 кГц) в течение 1 ч она заметно модифицировалась; таким образом, в рассматриваемых явлениях важную роль играет циклирование. Здесь необходимо подчеркнуть следующий момент.

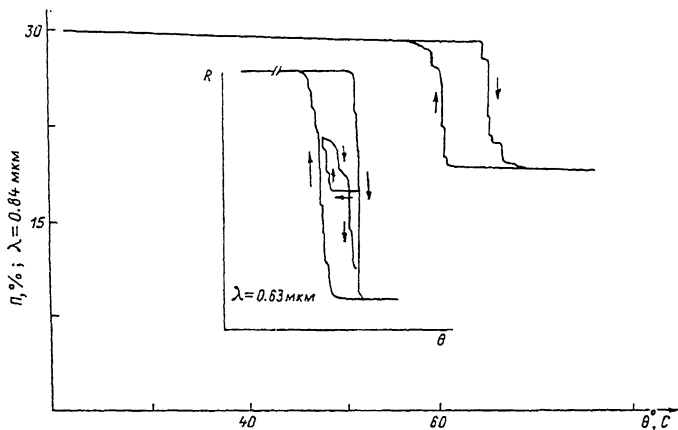


Рис. 2. Температурные зависимости оптических коэффициентов пленок VO_2 после фотоиндуцированного циклирования.

В работе [2] отмечается, что простое термоциклирование пленок VO_2 может способствовать снятию механических напряжений в пленке и тем самым изменять параметры петли гистерезиса (в частности, уменьшить ее ширину), причем, по данным [2], для этого достаточно всего лишь 200–300 термоциклов. Исходя из этого, некоторые образцы до воздействия оптическим излучением мы также подвергали термоциклированию (500–600 циклов), однако после этого заметных изменений в форме кривых мы не обнаружили. В экспериментах мощность P лишь незначительно (на 10–30 %) превышала значение, необходимое для индуцирования ФППМ, поэтому температурный перегрев пленок VO_2 , а, соответственно, и термостимулированные процессы, по-видимому, исключались. Следовательно, оптическое излучение помимо индуцирования ФППМ играет весьма важную роль, связанную с его непосредственным влиянием на пленку VO_2 . На наш взгляд, это влияние связано с явлением фотокристаллизации [8], которое заключалось в том, что на структурно разупорядоченных пленках VO_2 под действием интенсивного оптического излучения наблюдались процессы кристаллизации и укрупнения кристаллитов. В нашем случае действие излучения, по-видимому, приводит к укрупнению кристаллитов исходной поликристаллической пленки VO_2 . Это согласуется также с тем, что на пленках VO_2 , подверженных фотостимулированному циклированию в момент ФППМ, наблюдалось значительное рассеяние света [9], так, что в этот момент угол конуса лучей, выходящих из световода с пленкой на торце, значительно превышал апертуру волокна. Прямые наблюдения пленок VO_2 в оптический микроскоп в проходящем свете с увеличением $\times 600$ – 900 показали, что в полупроводниковой и металлической фазах пленка оптически однородна, однако в момент ФППМ наблюдались неоднородности, связанные, вероятно, с появлением зародышей другой фазы. Поскольку размеры неоднород-

родностей были малы (≤ 1 мкм), детали структуры (форма, размеры, количество и их развитие при ФППМ) проявлялись лишь на качественном уровне. На некоторых образцах, так же как и в [9], наблюдалось возникновение областей новой фазы в виде ряда параллельных полос, теоретически рассмотренное в работе [10].

Ступенчатая структура ФППМ может привести к ограничению точности различных датчиков на основе пленок VO_2 микронных размеров, связанного с флуктуацией интервалов температур между отдельными ступеньками. Это также может стать источником шумов, аналогичных по своей природе шумам „Баркгаузена“ в магнитных материалах и т. д. Несомненно, рассмотренный эффект требует дальнейших подробных исследований.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Бугаев А.А., Захарченя Б.П., Чудновский Ф.А. Фазовый переход металл-полупроводник и его применения. Л.: Наука, 1979. С. 183.
- [2] Robert O., Teeg and Robert W. Hallman U.S. Patent 3, 547. 594. Patented Dec. 15. 1970; 3, 557, 026 Patented Jan. 19, 1971.
- [3] Левшин Н.Л., Поройков С.Ю. // Вестн. МГУ, Физика. Астрономия. 1990. Т. 31. В. 1. С. 93.
- [4] Бугаев А.А., Гаврилюк А.И., Гурьянов А.А., Захарченя Б.П., Чудновский Ф.А. // Письма в ЖТФ. 1978. Т. 4. В. 2. С. 65-68.
- [5] Егоров Ф.А., Темиров Ю.Ш. и др. // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. В. 22. С. 85-89.
- [6] Егоров Ф.А., Темиров Ю.Ш. и др. // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. В. 8. С. 49-52.
- [7] Сандомирский В.Б., Суханов А.А. // ФТТ. 1981. Т. 23. В. 9. С. 2748-2751.
- [8] Бугаев А.А., Ланская Т.Г., Сорокин Л.М., Мосина Г.Н., Теруков Е.И., Чудновский Ф.А. // ДАН СССР. 1976. Т. 230. В. 3. С. 575-577.
- [9] Валиев К.А., Мокеров В.Г., Сарайкин В.В., Петрова А.Г. // ФТТ. 1977. Т. 19. В. 9. С. 1537-1544.
- [10] Емельянов В.И., Семенов А.Л. // ФТТ. 1990. Т. 32. В. 10. С. 3083-3088.

Поступило в Редакцию
2 июля 1992 г.