

СВОЙСТВА ПОДЛОЖЕК ДЛЯ ВТСП ПЛЕНОК В СУБМИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ

Б.П. Горшунов, Г.В. Козлов, О.И. Сиротинский, И.М. Чернышев

Представлены результаты исследования диэлектрических свойств некоторых монокристаллов в субмиллиметровом диапазоне и дается оценка перспективности их применения в качестве подложек для ВТСП пленочных структур микроэлектроники.

В работе /1/ сообщалось о диэлектрических свойствах ряда материалов, которые используются для нанесения на них высокотемпературных сверхпроводниковых (ВТСП) пленок. С тех пор появились новые кристаллы, лучше удовлетворяющие таким условиям эпитаксии, как согласование постоянных кристаллических решеток и тепловых коэффициентов расширения в широком интервале температур. Высоочастотные свойства этих кристаллов и были нами изучены.

Экспериментальные данные получены на спектрометре "Эпсилон—2", используемая методика измерений подробно описана в /2/.

Исследованные кристаллы можно объединить в три группы по структурному признаку: алюминаты и галлаты ($GdAlO_3$, $LaAlO_3$ и $LaGaO_3$), гелениты ($BaLaGa_3O_7$ и $SrLaGa_3O_7$), перовскитоподобные K_2NiF_4 ($SrLaAlO_4$ и $CaNdAlO_4$).

Алюминаты и галлаты относятся к псевдокубическим кристаллам со слабым ромбоэдрическим или орторомбическим искажением кубической решетки. В измерениях использовались срезы, перпендикулярные оси роста кристалла.

Экспериментальные данные, приведенные на рис. 1-3 и в табл. 1, не исчерпывают всего объема полученной информации, но дают о нем основные представления. Сопроводим их краткими комментариями.

$GdAlO_3$. Измерения обнаружили, что он обладает слабым двупреломлением и дихроизмом (табл. 1).

$LaAlO_3$. При высокой температуре — кубический перовскит. При охлаждении, около $527^\circ C$, переходит в ромбоэдрическую форму с $\alpha = 90^\circ 6'$, поэтому эта фаза считается псевдокубической. В изучаемом диапазоне действительная часть диэлектрической проницаемости ϵ' обладает весьма слабой дисперсией, а мнимая часть ϵ'' демонстрирует нормальную дисперсию. В отличие от $GdAlO_3$ обладает сильным двупреломлением: $\Delta\epsilon' \approx 4,5$, потери же раза в два меньше. С понижением температуры от комнатной до 5 К на частоте 400 ГГц для перпендикулярной ориентации ϵ' (\perp)

Т а б л и ц а 1

Диэлектрическая проницаемость $\epsilon' + i\epsilon''$ исследованных материалов

Материал	Т, К	ϵ'			ϵ''			Частота, ГГц (см^{-1})
		300	100	5	300	100	5	
GdAlO ₃ (⊥)	18,4				0,12			300 (10)
GdAlO ₃ ()	18,5				0,10			300 (10)
LaAlO ₃ (⊥)	24,7	24,4(150K)	24,3		0,05	0,05 (150 K)	0,05	390 (13)
LaAlO ₃ ()	20,3				0,13			840 (28)
LaGaO ₃ (⊥)	25,7	24,6(50 K)	24,6		0,13	0,13 (50 K)	0,11	330 (11)
LaGaO ₃ ()	26,4	25,0(50 K)	24,9		0,12	0,10 (50 K)	0,08	330 (11)
SrLaAlO ₄	17,0				0,02			540 (18)
CaNdAlO ₄	19,7	19,8	19,8		0,04	0,02	0,01	510 (17)
BaLaGa ₃ O ₇ (⊥)	9,44				0,06			630 (21)
BaLaGa ₃ O ₇ ()	12,5				0,12			630 (21)
SrLaGa ₃ O ₇ ()	12,8	12,5	12,5		0,10	0,03	0,01	540 (18)

уменьшается примерно на 1,5%, ϵ'' практически не меняется. В литературе приводятся противоречивые данные по ϵ' в пределах от 15,3 до 27 на частотах 10^3 — 10^5 Гц /3, 4, 5/. Возможно, это связано с не всегда учитываемым двупреломлением материала. Данные, полученные в /6/ для LaAlO₃, хорошо согласуются с нашими по ϵ' и на порядок расходятся по величине потерь.

LaGaO₃. По сравнению с LaAlO₃ его структура сильнее отличается от перовскитной кубической и принадлежит к орторомбической. При 140 °С испытывает сегнетоэластический переход /7/, который приводит к возникновению шероховатости поверхности кристалла, что в свою очередь ухудшает качество нанесенной ВТСП пленки, к чему ведет также и двойникование кристаллической подложки. Величина ϵ' близка к соответствующей для LaAlO₃, а ϵ'' больше приблизительно в 2 раза. Двупреломление LaGaO₃ $\Delta\epsilon' \approx 0,4$ меньше, чем у LaAlO₃.

SrLaGa₃O₇ и BaLaGa₃O₇. Эти гелениты имеют тетрагональную кристаллическую ячейку. На рис. 1 показаны температурные зависимости ϵ' и ϵ'' для первого материала на $\nu = 540$ ГГц в параллельной ориентации (||), а на рис. 2 для второго приведены частотные зависимости

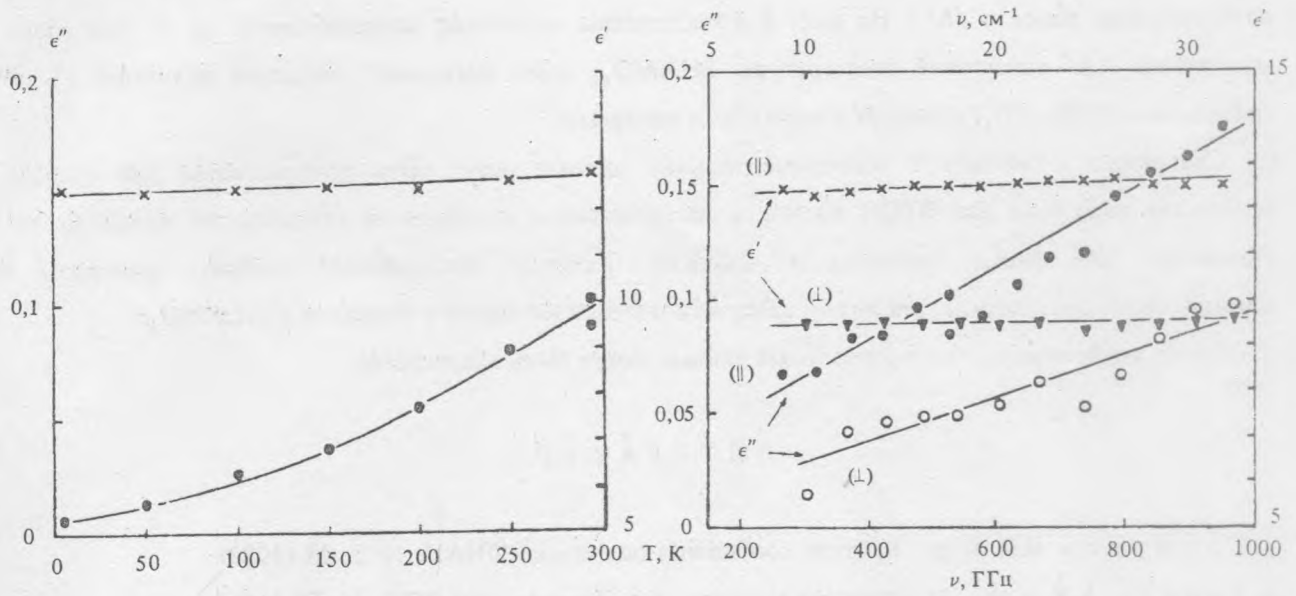


Рис. 1. Температурная зависимость действительной и мнимой частей диэлектрической проницаемости $SrLaGa_3O_7$ на частоте 540 ГГц.

Рис. 2. Диэлектрические спектры ϵ' и ϵ'' $BaLaGa_3O_7$ при температуре 295 К.

действительной и мнимой частей диэлектрической проницаемости для обеих ориентаций. Обнаружена сильная анизотропия. По диэлектрическим свойствам в субмиллиметровом диапазоне эти материалы близки как по величинам ϵ' и ϵ'' , так и по характеру частотных зависимостей: ϵ' с увеличением частоты почти не меняется, а ϵ'' обнаруживает линейную частотную зависимость.

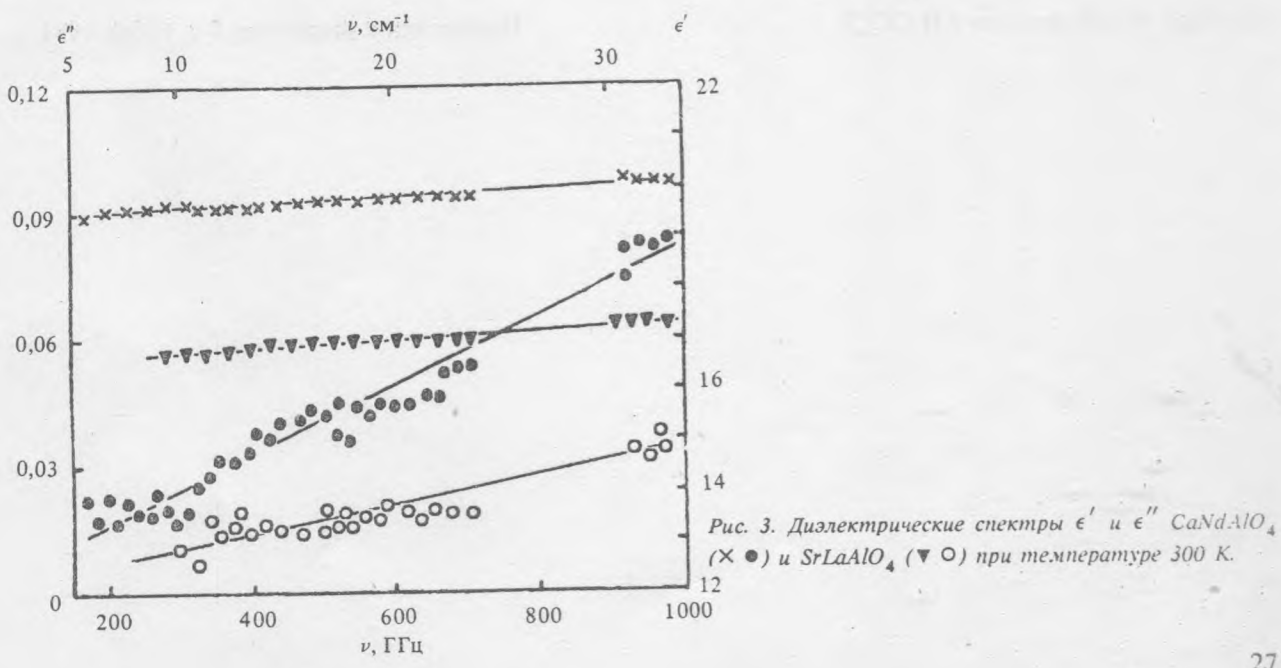


Рис. 3. Диэлектрические спектры ϵ' и ϵ'' $CaNdAlO_4$ (x ●) и $SrLaAlO_4$ (▼ ○) при температуре 300 К.

CaNdAlO_4 и SrLaAlO_4 . Оба вещества имеют структуру, похожую на структуру K_2NiF_4 — перовскитоподобную с тетрагональной элементарной ячейкой. (Некоторые результаты по CaNdAlO_4 опубликованы ранее в /8/.) На рис. 3 представлены частотные зависимости ϵ' и ϵ'' для обоих материалов при комнатной температуре. SrLaAlO_4 , имея несколько меньшую величину ϵ' по сравнению с CaNdAlO_4 , обладает и меньшими потерями.

Сведенные в таблицу 1 экспериментальные данные могут быть использованы при подборе материала подложки для ВТСП пленок в соответствии с конкретным техническим назначением. Например, для линий передачи на высоких частотах целесообразно выбрать материал с наименьшими потерями, а для линий задержки полезен материал с большим ϵ' (LaGaO_3).

Более подробные экспериментальные данные могут быть запрошены.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горшунов Б.П. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 2, 28 (1989).
2. Волков А.А. и др. Электронная техника, сер. Электроника СВЧ, 11, 38 (1984).
3. Simon R.W. et al. Appl. Phys. Lett., 53, No. 26, 2677 (1988).
4. Yang Wen-Huang et al. Solid State Comm., 75, No. 5, 421 (1990).
5. Samara G.A. J. Appl. Phys., 68, No. 8, 4214 (1990).
6. Grischkowsky D., Keiding S. Appl. Phys. Lett., 57, No. 10, 1055 (1990).
7. Miyazawa S. Appl. Phys. Lett., 55, No. 21, 2230 (1989).
8. Berkowski M. et al. Appl. Phys. Lett., 57, No. 6, 632 (1990).

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 9 октября 1991 г.