

УДК 546.623'171.1 : 535.343.2

С. А. КУТОЛИН, Л. Л. ЛУБИНА, Р. Н. САМОЙЛОВА

ИЗМЕРЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО  
AlN В ОБЛАСТИ 0,10—25 мк

AlN — перспективный материал для микроэлектроники [1], электроакустики [2], люминесцентной техники и керамической технологии [3]. В литературе имеются противоречивые данные относительно оптических свойств этого материала как в области определения края фундаментальной полосы поглощения (3,8 [4]; 5 [5, 8]; 6,6 эв [9]), так и в области анализа решеточного поглощения в ИК-спектре [10—13]. Применение анализа Крамерса — Кронига к изучению оптических свойств AlN, по данным спектра отражения, осуществленное в [11], относится к ИК-области спектра и не учитывает область вакуумного ультрафиолета, где, как показывают результаты [8, 14], наблюдаются полосы отражения. Но в [8, 14] анализ Крамерса — Кронига не применяли для изучения оптических свойств AlN, а приведены результаты анализа зонной структуры AlN, которые сравнивали с теоретическими расчетами энергетических переходов по данным [15, 16].

Дисперсия действительной ( $\epsilon_1$ ) и мнимой ( $\epsilon_2$ ) частей диэлектрической проницаемости и показателя преломления ( $n$ ) с длиной волны

$\lambda$ , мк	$n$	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\lambda$ , мк	$n$	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\lambda$ , мк	$n$	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$
0,12	0,9	-58,50	-14,50	0,23	4,3	-6,51	-42,57	0,42	2,4	4,22	-6,95
0,13	2,3	-8,53	-17,59	0,24	3,2	-18,65	-35,02	0,44	2,5	4,50	-6,59
0,14	2,7	-10,51	-22,77	0,25	2,2	-22,66	-23,66	0,46	2,5	4,89	-6,57
0,15	3,1	-5,11	-23,62	0,26	1,3	-19,69	-12,56	0,48	2,6	5,12	-6,55
0,16	3,1	-6,58	-25,48	0,27	1,3	-13,10	-9,61	0,50	2,6	5,28	-6,53
0,17	3,3	-2,48	-24,38	0,30	1,2	-9,81	-8,15	0,52	2,6	5,15	-6,75
0,18	3,5	1,27	-26,58	0,32	1,3	-4,62	-6,70	0,54	2,5	4,97	-6,37
0,19	3,6	-1,81	-27,82	0,34	2,0	0,58	-7,57	0,56	2,5	4,73	-6,40
0,20	3,4	-3,39	-26,81	0,36	2,1	1,84	-7,06	0,58	2,4	4,63	-5,68
0,21	3,6	1,56	-25,08	0,38	2,2	2,51	-7,06	0,60	2,4	4,68	-5,66
0,22	4,3	5,49	-30,76	0,40	2,3	3,61	-6,35	0,62	2,4	4,62	-5,33

Таким образом, в литературе отсутствуют сведения относительно детального анализа дисперсии действительной ( $\epsilon_1$ ), мнимой ( $\epsilon_2$ ) частей диэлектрической постоянной, показателя преломления  $n$  и коэффициента поглощения  $\alpha$  с длиной волны в области спектра, где наблюдаются как зонная структура, так и решеточное поглощение AlN. Метод призмы, использованный в [17] для определения дисперсии показателя преломления монокристалла AlN с длиной волны в области 0,2—0,6 мк, следует признать ориентировочным, так как он используется в области длин волн, близких к области полос поглощения, наблюдаемых в спектре AlN. Поэтому нет ничего удивительного в том, что данные [17] по определению показателя преломления AlN противоречат результатам [18]. В [19, 20] обоснован метод исследования оптических свойств тонких слоев и порошков поликристаллов веществ и показано удовлетворительное совпадение результатов измерения оптических свойств поли- и монокристаллов.

Исходными материалами служили поликристаллические образцы спектрально чистого AlN (МРТУ6-09-862-63), синтезированного по методу [21]; содержание кислорода — менее  $10^{-3}\%$ . Методика приготовления образцов AlN с полированной поверхностью аналогична приводимой в [22], а тонких слоев AlN — в [23]. Точность определения коэффициента отражения в области  $0,5-12,5 \text{ эв}$  составляла  $1,0-1,5 \text{ отн.}\%$ . Измерения проводили на приборах ВМР-2, СФ-4А — с приставкой ПЗО-1; UR-20 — с приставкой зеркального отражения. Коэффициент отражения  $R$  связан с оптическими величинами  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$ ,  $n$ ,  $\alpha$  известными соотношениями, проводимыми, например, в [24].

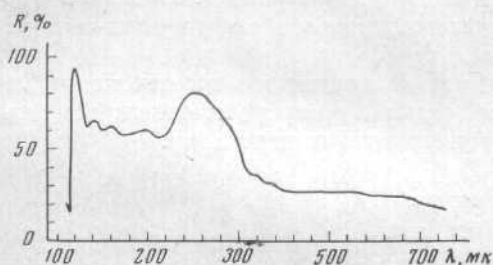


Рис. 1

Рис. 1. Зависимость коэффициента отражения поликристаллического AlN от длины волны.

Спрессованный материал, размер зерна  $0,1 \text{ мк}$

Рис. 2. Дисперсия оптических характеристик AlN в ИК-области спектра

1 — спектр отражения поликристалла AlN, 2 — монокристалла AlN в неполяризованном свете [11]; 3 — мнимая часть диэлектрической проницаемости поликристалла; 4 — монокристалла [11]; 5 — действительная часть диэлектрической проницаемости поликристалла; 6 — монокристалла

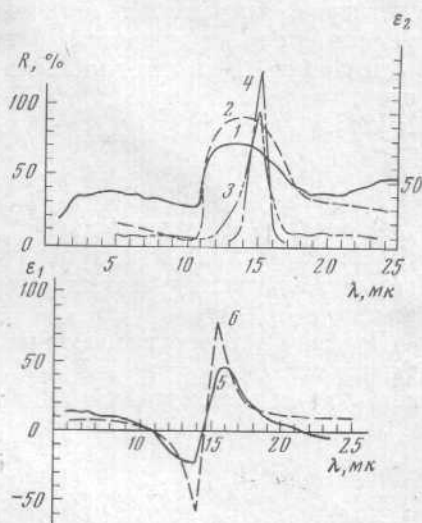


Рис. 2

Решение системы уравнений запрограммировано на машине М-220, а результаты определения функций  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$ ,  $n$ ,  $\alpha$  в зависимости от длины волны по данным  $R(\lambda)$ , приведены в таблице и на рис. 1. Эти результаты совпадают с оптическими данными для тонких слоев AlN с  $d = 4000 \pm 20 \text{ \AA}$ , полученными из совместного решения уравнений по данным пропускания и отражения. В ИК-области спектра наблюдается удовлетворительная корреляция между полученными результатами измерения оптических свойств для поликристалла и данными [11] для монокристалла AlN (рис. 2), если принять во внимание, что результаты [11] не учитывают вклада полос отражения AlN, наблюдаемых в ультрафиолетовой области спектра. Значение показателя преломления поликристалла AlN для  $\lambda = 0,4 \text{ мк}$  равно  $n = 2,3$ ; для монокристалла, по данным [17],  $n = 2,2$ . Измерение иммерсионным методом показателя преломления поликристаллического порошка AlN дает величину  $n = 2,15$  [24]. Высоочастотное значение диэлектрической постоянной  $\epsilon_\infty = n^2 = 5,44$ ; так как  $k = 0,0097$  при  $\lambda = 0,885 \text{ мк}$ , то значение низкочастотной диэлектриче-

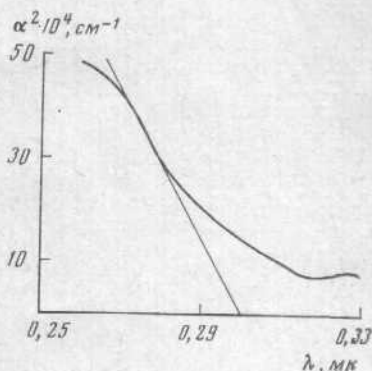


Рис. 3. Изменение коэффициента поглощения с длиной волны для поликристаллического AlN

Пленка  $d = 0,4 \text{ мк}$

ской постоянной  $\epsilon_0$ , рассчитанное по данным соотношения Лиддена — Сакса — Теллера, равно  $\epsilon_0 = 8,5$  для поликристалла, что совпадает с результатами электрических измерений [1, 23], где  $\epsilon = 8,33$ .

Анализ зависимости  $\alpha^2 \approx A(h\nu - E_g)$  (рис. 3) позволяет отнести величину  $E_g = 4,13 \pm 0,03$  эв к разрешенным прямым переходам. Наблюдаемые в спектре отражения AlN полосы с энергией 4,95; 6,20; 7,74; 8,9 и 10,3 следует отнести к особенностям внутризонных переходов. Экспериментальные наблюдаемые переходы для AlN в области энергий  $E \geq E_g$  совпадают с теоретически рассчитанными ранее по упрощенной модели зонной структуры [21].

### ВЫВОДЫ

Измерены оптические свойства поликристаллического AlN в области 0,10–25 мк с применением анализа Крамерса — Кронига. Показана удовлетворительная корреляция между оптическими свойствами поли- и монокристалла AlN.

Получены экспериментальные значения энергии зонных переходов, которые в области значений  $E \geq E_g$  совпадают в рамках упрощенной модели электронных переходов для AlN с теоретическими расчетами.

### Литература

1. И. В. Степанов, С. А. Кутюлин, М. И. Антонов, Г. П. Тепман. Электронная техника, сер. 12, вып. 5, 51 (1970); РЖЭ и П, 3Б476 (1971).
2. M. T. Wank, D. K. Winslow. Appl. Phys. Lett., 13, 286 (1968).
3. И. С. Файнер. Дис., Киев, 1971.
4. I. Lagrenaudie. J. Chem. Phys., 54, 222 (1956).
5. E. Kauer, A. Rabenau. Z. Naturforsch. a., 2, 942 (1957).
6. G. A. Cox, D. O. Cummins, K. Kawabe, R. H. Dredgold. J. Phys. Chem. Solids, 28, 543 (1967).
7. I. Pastrňak, L. Roskocsová. Phys. Stat. Sol., 26, 591 (1968).
8. В. И. Донецких, А. А. Плетюшкин, Ю. В. Попов, П. Г. Славина, В. В. Соболев. Докл. АН СССР, 189, 764 (1969).
9. В. А. Фомичев. Физ. тв. тела, 10, 769 (1968).
10. К. Лоусон. Инфракрасные спектры поглощения неорганических веществ. «Мир», М., 1964.
11. A. T. Collins, E. C. Lightowers, P. J. Dean. Phys. Rev., 158, 833 (1967).
12. J. Pastrňak, B. Hejda. Phys. Stat. Sol., 35, 941 (1969).
13. J. Pastrňak, B. Hejda. Phys. Stat. Sol., 35, 953 (1969).
14. В. В. Соболев. Физ. тв. тела, 12, 2484 (1970).
15. В. Hejda, K. Hauptmanova. Phys. Stat. Sol., 36, K95 (1969).
16. В. Hejda. Phys. Stat. Sol., 32, 407 (1969).
17. L. Roskocsová, J. Pastrňak, R. Babuškova. Phys. Stat. Sol., 29, 29 (1967).
18. M. Kuisl. Z. angew. Phys., 28, 50 (1969).
19. W. Paul. J. Vacuum. Sci. and Technol., 6, 483 (1969).
20. S. P. Tandon, I. P. Gupta. Phys. Stat. Sol., 38, 363 (1970).
21. С. А. Кутюлин, М. Н. Короткевич, Г. М. Комарова. Информ. справ. листок № 000386, «Электроника», М., 1968. Реф. информ. по радиоэлектронике, 3, 2055 (1970).
22. С. А. Кутюлин, Р. Н. Самойлова, В. Ф. Воронов. Информ. справ. листок № 000789, «Электроника», 1969; 4, 3874 (1970).
23. И. В. Степанов, С. А. Кутюлин, Г. П. Тепман. Информ. справ. листок № 000370, «Электроника», М., 1968; Реф. информ. по радиоэлектронике, 13, 12071 (1969).
24. Т. Мосс. Оптические свойства полупроводников. Изд. иностр. лит., М., 1962.

Поступила  
14 сентября 1971 г.