

УДК 535.338+621.373.826

ВНУТРИРЕЗОНАТОРНАЯ ЛАЗЕРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ МОЛЕКУЛЫ HfCl. НОВЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ ПЕРЕХОД

 ${}^2\Pi_{3/2}-X^2\Delta_{3/2}$

Е.Н. Москвитина, Ю.Я. Кузяков

(кафедра лазерной химии; e-mail kuzyakov@laser.chem.msu.ru)

Исследован электронный спектр поглощения монохлорида гафния (HfCl) в видимой области в целях выявления полос HfCl, относящихся к электронным состояниям, полученным неэмпирическим расчетом. Лазерным внутрирезонаторным методом обнаружены две новые полосы в спектре HfCl, обусловленные переходом с основного состояния $X^2\Delta_{3/2}$ на предсказанное расчетом электронное состояние ${}^2\Pi_{3/2}$. Проведен вращательный анализ этих полос и определены неизвестные ранее вращательные постоянные ${}^2\Pi_{3/2}$ состояния: $B_0 = 0,104977(34) \text{ см}^{-1}$, и $a_e = 0,00052(1) \text{ см}^{-1}$.

Ключевые слова: монохлорид гафния, внутрирезонаторная лазерная спектроскопия, вращательный анализ, молекулярные постоянные.

Электронный спектр поглощения монохлорида гафния (HfCl) в видимой области спектра впервые обнаружен в 1975 г. Кабанковой и др. [1]. В 1993 г. Москвитина и др. [2] наблюдали новые группы полос в спектре HfCl, провели анализ колебательной структуры 59 полос, а также выполнили вращательный анализ некоторых из них, предполагая, что эти полосы принадлежат электронному переходу ${}^2\Pi_{1/2}-X^2\Sigma_{1/2}$.

В 2000 г. Рам и др. [3] исследовали спектр HfCl с высоким разрешением, используя Фурье-спектроскопию и лазерную спектроскопию возбуждения в видимой и ближней инфракрасной областях. Для отнесения наблюдаемых спектров к типам электронных переходов авторы методом *ab initio* рассчитали электронную структуру и энергию электронных состояний молекулы HfCl, расположенных при $T_0 \leq \alpha 20\,000 \text{ см}^{-1}$. Было показано, что основным состоянием молекулы HfCl является состояние ${}^2\Delta$, имеющее большое спиновое расщепление. Вращательный анализ структуры полос, полученных с высоким разрешением, позволил отнести спектр в видимой области к электронному переходу ${}^2\Delta_{3/2}-X^2\Delta_{3/2}$.

На основании квантово-механических расчетов можно предположить, что наряду с состоянием ${}^2\Delta$ в области $T_0 \leq \alpha 18\,000 \text{ см}^{-1}$ находятся еще два электронных состояния: ${}^2\Pi$ и ${}^2\Gamma$. Согласно правилу отбора, возможен только переход ${}^2\Pi-X^2\Delta$.

В данной работе мы сообщаем об обнаружении новых, ранее неизвестных полос HfCl в видимой области и о проведении их вращательного анализа.

Экспериментальная часть

Внутрирезонаторный лазерный метод, который является высокочувствительным для детектирования слабых сигналов поглощения, был использован для поиска и обнаружения теоретически предсказанных полос в спектре HfCl. В последние годы этот метод применялся для получения сложных спектров некоторых двухатомных молекул, содержащих тяжелые атомы [4–6]

Экспериментальная установка, используемая для получения спектра HfCl, была подробно описана в наших предыдущих публикациях [7–9]. В данной статье приводится только краткое описание экспериментальных условий. Молекулы HfCl были получены в плазме, образованной импульсом высоковольтного электрического разряда (0,5 мкФ, 10 кВ) в смеси гелия ($P_{\text{He}} = 2 \text{ мм Hg}$) и HfCl₄, небольшое количество которого (2,5 г) находилось в нагреваемой разрядной трубке, помещенной в резонатор импульсного лазера на красителе, излучение которого служило источником непрерывного спектра для получения спектра поглощения. Для регистрации спектра использовали дифракционный спектрограф с разрешающей способностью 240 000 и обратной линейной дисперсией 0,1 нм/мм. В качестве стандартов длин волн использовали лампу с Fe-полым катодом. Линии спектра железа аппроксимировали полиномом третьей степени со стандартным отклонением не более 0,01 Å. Точность определения положения изолированных линий вращательной структуры 0,02 см⁻¹.

Длительность импульса генерации составляла 10 мкс, что соответствовало эффективной длине поглощающего слоя ~1000 м. Задержку начала импульса генерации относительно начала импульса тока через разрядную трубку варьировали в пределах 0–400 мкс. Изменяя время начала лазерного импульса относительно начала жизни плазмы, мы диагностировали эволюцию образования молекул HfCl. Оптимальные задержки между импульсом генерации лазера и импульсным разрядом, которые дали возможность регистрировать молекулярный спектр HfCl, свободный от наложения атомных линий, составляли ~50–60 мкс.

Наблюдения и анализ

Спектр поглощения HfCl был исследован в области 14000–18000 см⁻¹.

Кроме системы полос, относящихся к электронному переходу ²Δ–X²Δ [1–3], наблюдали полосы с красным отгеснением, по внешнему виду аналогичные системе ²Δ_{3/2}–X²Δ_{3/2}, но с большим расстоянием в секвенциях ~32,5 см⁻¹. Поскольку отсутствовал изотопический сдвиг по хлору, интенсивный R-кант 15930,28 см⁻¹ отнесли к полосе 0-0, а R-кант 15897,73 см⁻¹ – к полосе 1-1. Опираясь на расчеты *ab initio* [3], согласно которым в этой области энергий существует дублетное состояние ²Π, мы предположили, что наблюдаемая система полос принадлежит к переходу ²Π_{3/2}–X²Δ_{3/2}.

Вращательная структура полос перехода ²Π_{3/2}–X²Δ_{3/2} состоит из интенсивных R- и P-ветвей, а также слабой Q-ветви, что находится в согласии с правилом отбора ΔΩ = 0. Выделение линий вращательной структуры к R-, P- и Q-ветвям проведено с помощью метода Лумиса–Вуда [10]. Линии вращательной структуры измерены только для наиболее распространенного изотопомера ¹⁸⁰Hf³⁵Cl.

Каждое из комбинирующих электронных состояний ²Π_{3/2} и X²Δ_{3/2} относится к случаю (a) или (a → c) связи по Гунду, поэтому положения уровней вращательной энергии F_v(J) для каждого из них описываются стандартной формулой [10]:

$$F_v(J) = B_v J(J+1) - D_v J^2(J+1)^2.$$

При проведении вращательного анализа полос нулевая линия, перекрытая вращательными линиями обратного хода ветви R, определялась по формуле $v_{\text{кант}} - v_0 = -(B' + B''^2/4)(B' - B'')$. Поскольку R-кант образуется при низких значениях квантового числа J, перебором линий в районе предполагаемой нулевой линии (более 10) получали значения B'. С этими

значениями B' и B'' (известной из вращательного анализа перехода ²Δ_{3/2}–X²Δ_{3/2}) рассчитывали положение P- и R-ветвей, а также положение канта полосы. Зная значения J-ветвей, получали комбинационные разности Δ²F''(J) = R(J-1) - P(J+1) и сравнивали их со значениями комбинационных разностей, полученных для полосы 0-0 перехода ²Δ_{3/2}–X²Δ_{3/2}. Совпадение значений комбинационных разностей – это критерий правильности нумерации вращательных линий. Из комбинационных разностей Δ²F'(J) = R(J) - P(J) методом наименьших квадратов определяли значения B' и D'. При расчете использовали более 90 комбинационных разностей. Для полосы 1-1 вращательная постоянная нижнего состояния B''(v'' = 1) известна из литературы как B''(v'' = 1) для состояния ²Δ_{3/2}. Значение B'(v' = 1) рассчитывали аналогичным образом, как и B'(v' = 0).

Отнесение вращательных линий в 0-0- и 1-1-полосах подтверждается совпадением комбинационных разностей для общих колебательных уровней. На рисунке представлена микрофотограмма части 0-0-полосы перехода ²Π_{3/2}–X²Δ_{3/2} молекулы HfCl.

В табл. 1, 2 приведены волновые числа линий вращательных структур для 0-0- и 1-1-полос нового электронного перехода. Линии принадлежат к молекуле наиболее распространенного изотопомера ¹⁸⁰Hf³⁵Cl. Вращательные постоянные (B и D) были определены с использованием хорошо известных выражений:

$$\begin{aligned} \Delta_2 F_v(J) &= R(J') - P(J') = 4Bv'(J'+1) - 8D'(J'+1)^3, \\ \Delta_2 F''(J) &= R(J''-1) - P(J''+1) = 4B''(J''+1) - 8D''(J''+1)^3. \end{aligned}$$

Вращательные постоянные 0-0- и 1-1-полос перехода ²Π_{3/2}–X²Δ_{3/2} приведены в табл. 3.

Заключение

Электронные спектры изовалентных молекул TiCl, ZrCl и HfCl были тщательно проанализированы как экспериментально, так и теоретически в последнее десятилетие. Экспериментально наблюдаемые значения достаточно хорошо согласуются с неэмпирическими квантово-механическими расчетами.

Для молекулы HfCl расчет *ab initio* предсказал в области до 20 000 см⁻¹ существование 8 дублетных электронных состояний. Экспериментально наблюдали спектры в области 14000–18000, относящиеся только к электронному переходу ²Δ_{3/2}–X²Δ_{3/2}, полосы которого были получены и проанализированы. Обнаруженные нами полосы относятся к переходу ²Π_{3/2}–X²Δ_{3/2}, где возбужденное состояние ²Π_{3/2} было предсказано теоретически.

Т а б л и ц а 1

Наблюдаемое положение вращательных линий (в см^{-1}) в полосе 0-0-перехода ${}^2\Pi_{3/2}-{}^2\Delta_{3/2}$ молекулы HfCl

J'	R-ветвь (наблюдение)	Наблюдение- расчет	J''	R-ветвь (наблюдение)	Наблюдение- расчет
2,5	15928,45	1	57,5	15924,71	-1
3,5	15928,63	1	58,5	15924,38	-1
4,5	15928,78	1	59,5	15924,04	-2
5,5	15928,96	1	60,5	15923,71	-1
6,5	15929,10	-1	61,5	15923,36	-1
7,5	15929,24	0	62,5	15922,98	-3
8,5	15929,38	0	63,5	15922,62	-2
9,5	15929,51	0	64,5	15922,25	-1
10,5	15929,63	0	65,5	15921,85	-1
11,5	15929,72	0	66,5	15921,48	0
12,5	15929,82	0	67,5	15921,07	0
13,5	15929,90	-1	68,5	15920,65	1
14,5	15929,98	-1	69,5	15920,23	0
15,5	15930,05	0	70,5	15919,81	1
16,5	15930,11	0	71,5	15919,35	-1
17,5	15930,16	0	72,5	15919,90	0
18,5	15930,20	0	73,5	15918,44	-1
27,5	15930,16	-1	74,5	15917,97	1
28,5	15930,12	-1	75,5	15917,49	1
29,5	15930,06	0	76,5	15917,01	0
30,5	15929,99	1	77,5	15916,51	1
31,5	15929,92	0	78,5	15916,01	0
32,5	15929,83	-1	79,5	15915,48	0
33,5	15929,74	0	80,5	15914,96	0
34,5	15929,64	-1	81,5	15914,43	-1
35,5	15929,52	0	82,5	15913,88	1
36,5	15929,40	0	83,5	15913,32	0
37,5	15929,27	0	84,5	15912,76	0
38,5	15929,12	0	85,5	15912,20	1
39,5	15928,97	1	86,5	15911,61	0
40,5	15928,82	1	87,5	15911,02	0
41,5	15928,65	0	88,5	15910,42	0
42,5	15928,46	0	89,5	15909,82	1
43,5	15928,28	-1	90,5	15909,20	1
44,5	15928,09	0	91,5	15908,55	1
45,5	15927,88	-1	92,5	15907,93	0
46,5	15927,66	0	93,5	15907,27	0
48,5	15927,23	0	94,5	15906,61	0
49,5	15926,97	0	95,5	15905,96	0
50,5	15926,73	1	96,5	15905,31	2
51,5	15926,48	1	97,5	15904,61	0
52,5	15926,20	0	98,5	15903,94	2
53,5	15925,93	1	99,5	15903,25	3
54,5	15925,61	-2	100,5	15902,53	3
55,5	15925,33	-1	101,5	15901,81	3
56,5	15925,04	1	102,5	15901,06	3

Продолжение табл. 1

J'	P -ветвь (наблюдение)	Наблюдение– расчет	J''	P -ветвь (наблюдение)	Наблюдение– расчет
3,5	15926,93	-1	51,5	15904,63	0
4,5	15926,69	0	52,5	15903,96	2
5,5	15926,44	1	53,5	15903,25	1
6,5	15926,16	0	54,5	15902,55	1
7,5	15925,88	-1	55,5	15901,83	1
8,5	15925,60	0	56,5	15901,08	-1
9,5	15925,30	0	57,5	15900,37	0
10,5	15925,00	0	58,5	15899,63	1
11,5	15924,69	1	59,5	15898,87	1
12,5	15924,36	1	60,5	15898,10	0
13,5	15924,02	-1	61,5	15897,35	1
14,5	15923,68	0	62,5	15896,53	-2
15,5	15923,33	0	63,5	15895,6	0
16,5	15922,97	0	64,5	15894,96	0
17,5	15922,60	0	65,5	15894,15	-1
18,5	15922,23	1	66,5	15893,35	1
19,5	15921,84	0	67,5	15892,52	1
20,5	15921,45	1	68,5	15891,69	1
21,5	15921,04	1	69,5	15890,83	1
22,5	15920,62	0	70,5	15889,98	0
23,5	15920,20	0	71,5	15889,12	0
24,5	15919,77	1	72,5	15888,25	0
25,5	15919,32	0	73,5	15887,36	-1
26,5	15918,87	0	74,5	15886,47	-1
27,5	15918,41	0	75,5	15885,58	1
28,5	15917,95	1	76,5	15884,67	1
29,5	15917,46	0	77,5	15883,75	0
30,5	15916,97	-1	78,5	15882,82	1
31,5	15916,48	0	79,5	15881,90	1
32,5	15915,97	1	80,5	15880,94	0
33,5	15915,45	-1	81,5	15880,01	2
34,5	15914,93	0	82,5	15879,02	0
35,5	15914,39	-1	83,5	15878,05	0
36,5	15913,86	0	84,5	15877,07	1
37,5	15913,31	0	85,5	15876,08	1
38,5	15912,75	0	86,5	15875,06	1
39,5	15912,17	1	87,5	15874,05	-1
40,5	15911,60	0	88,5	15873,04	0
41,5	15911,01	0	89,5	15872,01	0
42,5	15910,41	0	90,5	15870,98	1
43,5	15909,82	1	91,5	15869,93	0
44,5	15909,20	0	92,5	15868,87	0
45,5	15908,55	-1	93,5	15867,81	2
46,5	15907,90	2	94,5	15866,73	1
47,8	15907,31	2	95,5	15865,65	0
48,5	15906,65	0	96,5	15864,55	-2
49,5	15905,98	0	97,5	15863,43	0
50,5	15905,33	2	98,5	15862,30	-2

Окончание табл. 1

J'	Q -ветвь (наблюдение)	Наблюдение– расчет	J''	Q -ветвь (наблюдение)	Наблюдение– расчет
4,5	15927,63	1	27,5	15924,21	-2
7,5	15927,41	1	28,5	15923,96	0
9,5	15927,25	0	29,5	15923,58	0
11,5	15927,12	-1	30,5	15923,38	0
14,5	15926,75	-1	31,5	15923,06	3
17,5	15926,29	0	32,5	15922,8	0
18,5	15926,12	0	33,5	15922,47	1
19,5	15925,93	0	34,5	15922,18	0
20,5	15925,75	-1	35,5	15921,81	2
21,5	15925,51	0	39,5	15920,47	0
22,5	15925,33	1	40,5	15920,11	0
23,5	15925,12	1	41,5	15919,73	0
24,5	15924,91	0	42,5	15919,35	-1
26,5	15924,47	-1	–	–	–

Таблица 2

Наблюдаемое положение вращательных линий (в см^{-1}) в полосе 1-1-перехода ${}^2\Pi_{3/2}-{}^2\Delta_{3/2}$ молекулы HfCl

J'	R -ветвь (наблюдение)	Наблюдение– расчет	J''	R -ветвь (наблюдение)	Наблюдение– расчет
2,5	15894,99	0	55,5	15891,56	1
3,5	15895,17	0	56,5	15891,25	2
4,5	15895,32	0	57,5	15890,95	4
5,5	15895,49	1	58,5	15890,61	3
6,5	15895,68	1	59,5	15890,23	0
7,5	15895,80	0	60,5	15889,87	-1
8,5	15895,92	1	61,5	15889,54	2
9,5	15896,05	1	62,5	15889,16	1
10,5	15896,14	1	63,5	15888,76	1
11,5	15896,25	1	64,5	15888,41	2
12,5	15896,34	3	65,5	15887,97	-2
13,5	15896,40	1	66,5	15887,50	-8
14,5	15896,49	1	67,5	15887,19	3
15,5	15896,56	2	68,5	15886,73	-1
16,5	15896,61	1	69,5	15886,35	5
17,5	15896,67	1	70,5	15885,71	-13
25,5	15896,70	0	71,5	15885,45	0
26,5	15896,67	1	72,5	15884,80	0
27,5	15896,61	0	73,5	15884,56	1
28,5	15896,56	0	74,5	15883,98	-1
29,5	15896,49	0	75,5	15883,50	0
30,5	15896,40	-1	76,5	15883,04	2
31,5	15896,34	1	77,5	15882,49	-1
32,5	15896,25	1	78,5	15881,92	-5
33,5	15896,14	0	79,5	15881,52	0
34,5	15896,04	1	80,5	15880,94	2
35,5	15895,92	1	81,5	15880,40	2
36,5	15895,80	2	82,5	15879,81	1
37,5	15895,65	1	83,5	15879,19	-3
38,5	15895,52	3	84,5	15878,77	0

Продолжение табл. 2

39,5	15895,32	1	85,5	15878,04	-6
40,5	15895,16	1	86,5	15877,42	0
41,5	15894,99	0	87,5	15876,84	0
42,5	15894,80	1	88,5	15876,23	0
43,5	15894,63	2	89,5	15875,61	1
44,5	15894,40	0	90,5	15875,06	0
45,5	15894,20	1	-	-	-
46,5	15893,98	1	-	-	-
47,5	15893,72	-1	-	-	-
48,5	15893,52	2	-	-	-
49,5	15893,21	-3	-	-	-
50,5	15892,97	2	-	-	-
51,5	15892,73	1	-	-	-
52,5	15892,46	2	-	-	-
53,5	15892,13	2	-	-	-
54,5	15891,85	1	-	-	-
<i>J'</i>	<i>P</i> -ветвь (наблюдение)	Наблюдение- расчет	<i>J''</i>	<i>P</i> -ветвь (наблюдение)	Наблюдение- расчет
3,5	15893,52	2	48,5	15873,03	0
4,5	15893,21	-3	49,5	15872,28	-6
5,5	15892,99	1	50,5	15871,67	0
6,5	15892,73	1	51,5	15870,97	-1
7,5	15892,46	2	52,5	15870,28	-1
8,5	15892,13	-2	53,5	15869,55	-3
9,5	15891,85	0	54,5	15868,87	2
10,5	15891,53	-1	55,5	15868,07	-7
11,5	15891,23	0	56,5	15867,36	-5
12,5	15890,90	0	57,5	15866,71	4
13,5	15890,56	-1	58,5	15865,88	-4
14,5	15890,23	0	59,5	15865,14	-2
15,5	15889,87	0	60,5	15864,34	-5
16,5	15889,54	3	61,5	15863,62	1
17,5	15889,15	1	62,5	15862,74	1
18,5	15888,76	0	63,5	15862,01	-2
19,5	15888,32	-4	64,5	15861,22	-1
20,5	15887,95	-2	65,5	15860,39	0
21,5	15887,55	-1	66,5	15859,59	-4
22,5	15887,16	2	67,5	15858,71	-4
23,5	15886,73	2	68,5	15857,86	-6
24,5	15885,30	0	69,5	15856,99	3
25,5	15885,85	0	70,5	15856,16	1
26,5	15885,40	0	71,5	15855,33	-1
27,5	15884,92	1	72,5	15854,42	-2
28,5	15884,40	-4	-	-	-
29,5	15883,97	2	-	-	-
30,5	15883,48	0	-	-	-
31,5	15882,96	2	-	-	-
32,5	15882,47	1	-	-	-
33,5	15881,92	-3	-	-	-
34,5	15881,37	-2	-	-	-
35,5	15880,88	2	-	-	-
36,5	15880,28	-3	-	-	-
37,5	15879,69	-6	-	-	-

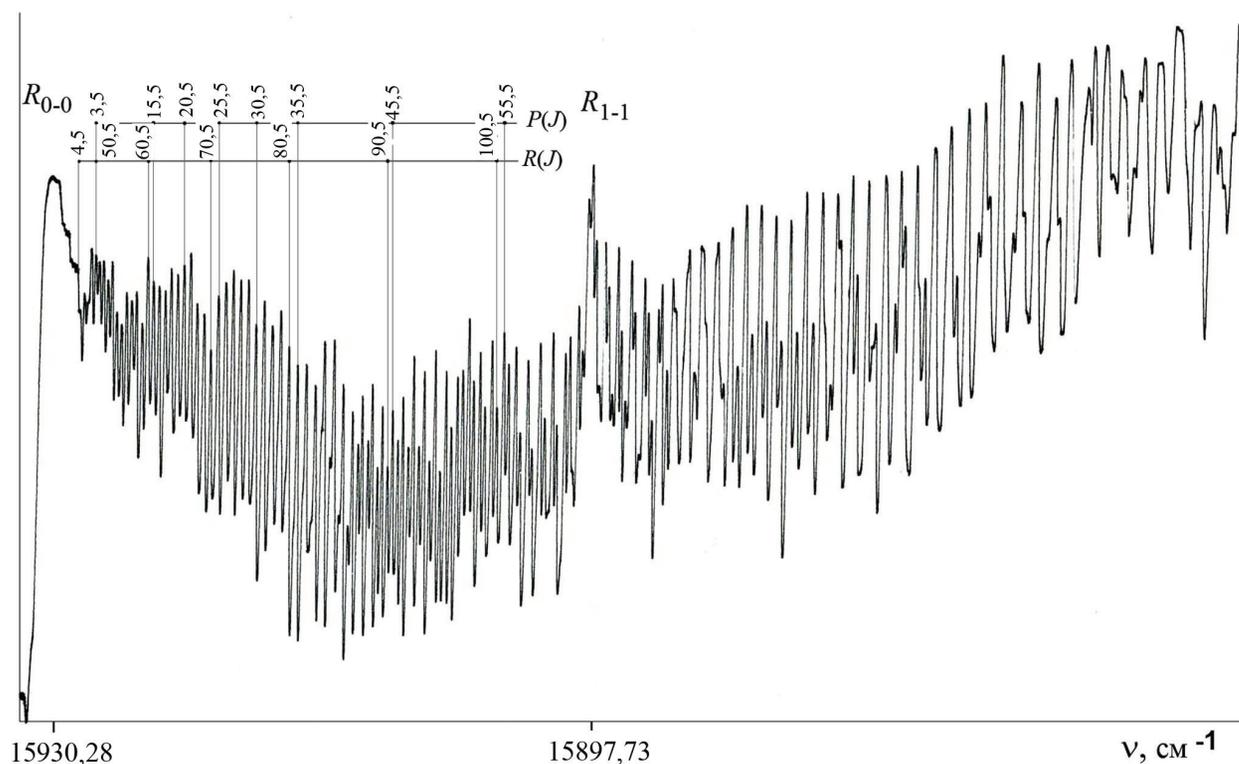
Окончание табл. 2

38,5	15879,19	0	—	—	—
39,5	15878,67	5	—	—	—
40,5	15878,04	1	—	—	—
41,5	15877,44	0	—	—	—
42,5	15876,84	1	—	—	—
43,5	15876,23	1	—	—	—
44,5	15875,61	1	—	—	—
45,5	15874,97	0	—	—	—
46,5	15874,31	-2	—	—	—
47,5	15873,66	-2	—	—	—

Таблица 3

Молекулярные постоянные (см⁻¹) для состояния ²Π_{3/2} молекулы HfCl

Постоянные	² Π _{3/2}		X ² Δ _{3/2}	
	v = 0	v = 1	v = 0	v = 1
T _v	15927,69(1)	16287,19(1)	0	377,97(1)
B _v	0,104977(34)	0,104464(34)	0,109534(35)	0,109122(25)
D _v 10 ⁻⁸	2,75(15)	2,70(15)	3,57(13)	3,602(30)
α _e	0,00052(1)		0,00051(1)	
r _e (Å)	2,3411(15)		2,289745(65)	

Микрофотограмма части 0-0-полосы перехода ²Π_{3/2}-X²Δ_{3/2} молекулы HfCl

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кабанкова Н.Н., Москвитина Е.Н., Кузяков Ю.Я. // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. 1975. **16**. С. 232.
2. Moskvitina E.N., Stepanov P.I., Shakhovkin O.B. // Spectrosc. Lett. 1993. **20**. P. 1639.
3. Ram R.S., Adam A.G., Tsouli A., Lievin J., Bernath P.F. // J. Mol. Spectrosc. 2000. **202**. P. 116.
4. O'Brien L.C., Homann K.M., Kelerman T.L., and O'Brien J. // J. Mol. Spectrosc. 2002. **211**. P. 93.
5. O'Brien L.C., Cao Hong., O'Brien J. // J. Mol. Spectrosc. 2000. **199**. P. 100.
6. O'Brien L.C., O'Brien J. // Astrophys. J. 2005. **621**. P. 554
7. Степанов П.И., Москвитина Е.Н., Кузяков Ю.Я., Свириденков Э.А., Савченко А.Н. // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. 1983. **38**. С. 442.
8. Москвитина Е.Н., Кузяков Ю.Я. // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. 2014. **55**. С. 43.
9. Kuzyakov, Yu.Ya.; Moskvitina, E.N. // Intracavity spectroscopy of simple molecules. SPIE-1001-119. The International Society for Optical Engineering. 1997. P. 71.
10. Herzberg, G. // The spectra and structures of simple free radicals. Ithaca, London, 1977.

Поступила в редакцию 15.04.14

INTRACAVITY LASER SPECTROSCOPY OF MOLECULE HFCL NEW ELECTRONIC TRANSITION ${}^2\Pi_{3/2}-X^2\Delta_{3/2}$

E.N. Moskvitina, Yu.Ya. Kuzyakov

(Division of Laser Chemistry)

Absorbtion electronic spectrum of hafnium monochloride (HfCl) has been investigated in the visible region in order to find the bands of HfCl that was predicted by theoretical calculations. These molecules of HfCl have been obtained in plasma which was created by pulses of electric discharge through a mixture of vapors of HfCl_4 and He. Diffraction spectrograph was used to registrar the spectra. Two new bands in the HfCl spectrum were detected. These bands were assigned to transition ${}^2\Pi_{3/2}-X^2\Delta_{3/2}$. A rotational analysis of these bands was carried out and rotational constants were determined for the new ${}^2\Pi_{3/2}$ electronic state. These constants are $B_0 = 0.104977(34) \text{ cm}^{-1}$, and $a_e = 0.00052(1) \text{ cm}^{-1}$.

Key words: HfCl, intracavity laser spectroscopy, rotational analysis, molecular constants.

Сведения об авторах: Москвитина Евгения Николаевна – ст. науч. сотр. кафедры лазерной химии химического факультета МГУ, канд. хим. наук (moskvitina@laser.chem.msu.ru); Кузяков Юрий Яковлевич – профессор кафедры лазерной химии химического факультета МГУ, докт.хим.наук (kuzyakov@laser.chem.msu.ru).