

УДК 535.21

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛМАЗОПОДОБНЫХ УГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНОК

С.С.ВОСКАНЯН, Е.В.ЕНГИБАРЯН, К.Г.КАРАПЕТАН, Ж.Р.ПАНОСЯН

Государственный инженерный университет Армении

(Поступила в редакцию 11 декабря 1998 г.)

Ионно-плазменным методом получены алмазоподобные углеродные пленки на подложках Si и Al_2O_3 . Исследованы спектральные зависимости отражения и пропускания этих пленок. Коэффициент поглощения в спектральной области $\lambda > 500$ нм не превышает 10^2 см⁻¹, тогда как при $\lambda = 250$ нм он достигает $4.5 \cdot 10^4$ см⁻¹. Энергетическая щель составляет 2.5 эВ.

Как известно, алмаз обладает рядом ценных качеств, таких, например, как высокая механическая твердость, высокая теплопроводность и т. д., которые делают его перспективным материалом для практических применений. В связи с этим вызывает большой интерес проблема получения искусственных алмазных и углеродных алмазоподобных пленок, которые могут применяться в качестве защитных, теплоотводных, резистивных, просветляющих покрытий, а при легировании алмаза соответствующими примесями можно получить полупроводники *p* и *n*-типа, что даст возможность его применения в микроэлектронике [1-3].

Целью данной работы было получение аморфных алмазоподобных углеродных пленок на кремниевой подложке и исследование оптических свойств этих пленок с целью выяснения возможности их применения в электронике и оптоэлектронике.

Существует ряд способов получения алмазных и алмазоподобных углеродных пленок, например, термо-активизированное осаждение, СВЧ-плазменное осаждение и т. д. [2]. Для получения алмазоподобных углеродных пленок нами использовался метод ионно-плазменного осаждения, сущность которого заключается в следующем. Пары циклогексана или толуола подаются в стандартную вакуумную камеру, где под электрическим полем молекулы разлагаются до ионов углерода (C^+) и водорода. Затем при помощи магнитного поля ионы углерода фильтруются и фокусируются на подложку. При помощи разгоняющего напряжения, приложенного между источником ионов (анод) и подложкой (катод), ионы разгоняются до определенной энергии и бомбардируют подложку, в результате чего происходит адсорбция ионов углерода на подложке и рост углеродных пленок. Регулируя интенсивность и энергию ионного пучка посредством магнитного и разгоняющего электрического полей, можно получить алмазоподобные углеродные пленки на различных подложках. В качестве подложек мы использовали Si и Al_2O_3 .

При исследовании оптических свойств полученных нами

вышеуказанным методом углеродных аморфных (алмазоподобных) пленок измерялись коэффициенты отражения $R(\lambda)$, пропускания $T(\lambda)$, и поглощения $\alpha(\lambda)$. Для определения коэффициентов отражения и пропускания пленок, осажденных на сапфирных монокристаллических подложках (Al_2O_3), был использован следующий метод [4]. Свет от источника ксеноновой лампы высокого давления фокусировался на образец, а отраженный от образца (при измерении $R(\lambda)$) или прошедший через образец (при измерении $T(\lambda)$) свет подавался на щель монохроматора. Монохроматический пучок попадал на ФЭУ, а электрический сигнал от ФЭУ после усиления подавался на вход самописца. Полученные данные вводились в ЭВМ и обрабатывались. Измерения проводились на длинах волн от 0.25 до 1 мкм. Для измерений выбирались пленки, осажденные на сапфире, т. к. сапфир оптически прозрачен в вышеуказанном спектральном диапазоне. Кроме того, коэффициент преломления сапфира $n=1.78$ близок к коэффициенту преломления алмазоподобных пленок (см. ниже), что дает возможность избежать интерференционных явлений. При помощи полученных значений $R(\lambda)$ определялся коэффициент преломления $n(\lambda)$ этих пленок с помощью следующей формулы:

$$n(\lambda) = \frac{1 + \sqrt{R(\lambda)}}{1 - \sqrt{R(\lambda)}}.$$

Здесь предполагается, что диэлектрическая постоянная ϵ пленок вещественна (т. е. отсутствует сильное поглощение на этих длинах волн). Вычисленная таким образом величина $n(\lambda)$ для алмазоподобных пленок практически во всей спектральной области от 0.3 до 1 мкм остается постоянной и колеблется от 1.8 до 2, в зависимости от состава пленки (т. е. от соотношения sp^2 и sp^3 связей атомов углерода в этих пленках).

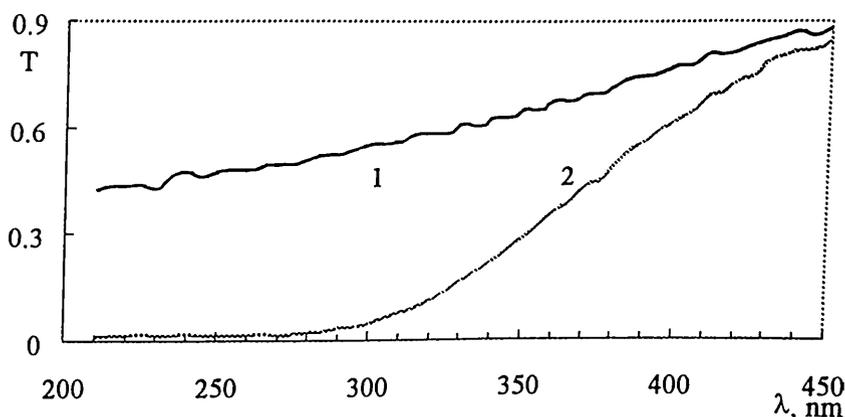


Рис.1. Спектральные зависимости коэффициентов пропускания $T(\lambda)$ алмазоподобных пленок с толщинами: 1-80 нм, 2-1000 нм.

На рис.1 приведены спектральные кривые коэффициентов пропускания $T(\lambda)$, которые были получены для пленок с разными толщинами. Имея $T(\lambda)$ и $R(\lambda)$, при помощи формулы

$$\alpha(\lambda) = \frac{1}{d} \ln \left\{ \frac{(1-R(\lambda))^2}{2T(\lambda)} + \sqrt{\left[\frac{(1-R(\lambda))^2}{2T(\lambda)} \right]^2 + R^2(\lambda)} \right\}$$

можно рассчитать коэффициенты поглощения $\alpha(\lambda)$ алмазоподобных углеродных пленок, где d — толщина пленки [4]. Результат такого расчета приведен на рис.2. Из рисунка видно, что пленки имеют почти постоянный коэффициент поглощения на длинах волн от 1 мкм до 0.5 мкм, который составляет около 100 см^{-1} . Затем начиная с 0.5 мкм кривая почти экспоненциально растет до $4.5 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$. Погрешность определения коэффициента оптического поглощения по приведенному здесь методу составляет меньше 10% [5,6]. Кривая на графике в логарифмическом масштабе пересекает ось абсцисс при $\lambda=0.5 \text{ мкм}$, что соответствует энергии 2.5 эВ. Это означает, что энергетическая щель между зоной проводимости и валентной зоной для полученных пленок составляет 2.5 эВ, что почти в 2 раза меньше ширины запрещенной зоны алмаза. Это связано с тем, что в этих алмазоподобных углеродных пленках между атомами углерода, кроме sp^3 связи (которая соответствует связи в алмазе) существует также sp^2 связь (которая соответствует связи в графите). Такое значение энергетической щели, согласно результатам, приведенным в работах [7-9], свидетельствует о том что соотношение sp^3/sp^2 составляет 80%/20%.

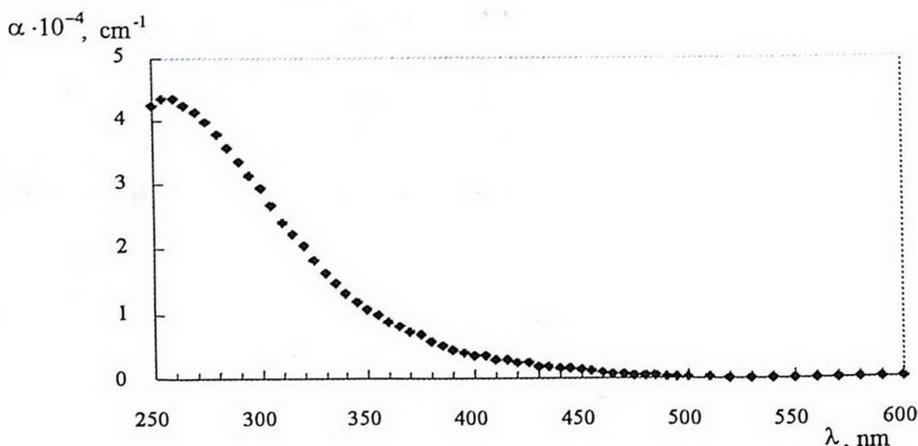


Рис.2. Коэффициенты поглощения $\alpha(\lambda)$ алмазоподобных углеродных пленок.

Полученные пленки проверялись также на механическую прочность, на стойкость по отношению к концентрированным кислотам (H_2SO_4 , HCl , HF , HNO_3) и по отношению к длительному ультрафиолетовому воздействию (около 100 ч). Исследования показали, что уже при толщинах пленок в несколько десятков нанометров вышеуказанные параметры достаточно высоки для практических применений и сохраняются для пленок с толщинами $\sim 1000 \text{ нм}$. Таким образом, полученные нами пленки своими физико-химическими свойствами, прозрачностью по отношению к довольно большой оптической области, наличием запрещенной энергетической зоны схожи с алмазными пленками. Рентгенофазовый анализ полученных пленок показал, что в этих пленках отсутствует кристаллическая решетка алмаза и они имеют аморфную структуру.

Из вышеприведенных результатов можно сделать вывод, что алмазоподобные углеродные пленки можно использовать в микроэлектронике и оптоэлектронике как в качестве защитных покрытий, так и в качестве функциональной пленки (т. е. изолирующих пленок, просветляющих и т. д.). В частности, нами были получены алмазоподобные углеродные аморфные пленки в качестве почти идеальных просветляющих покрытий на кремнии, где коэффициент отражения в области интерференционных минимумов составлял 2-3%.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.С.Вавилов. Алмаз в твердотельной электронике. УФН, 167, 17 (1997).
2. W.Zhu, B.R. Stoner, B.E.Williams, J.T.Glass. Proc. IEEE, 79, 621 (1991).
3. В.С.Вавилов, А.А.Гиппиус, Е.А.Конорова. Электронные и оптические процессы в алмазе. М., Наука, 1985.
4. Ю.И.Уханов. Оптические свойства полупроводников. М., Наука, 1977.
5. Ж.Р.Паносян, С.А. Казарян, П.Б.Авакян. ЖПС, 36, 333 (1982).
6. Ж.Р.Паносян, АО.Аракелян, С.Х.Барсегян, О.А.Адамян. А. с. СССР №1459426, 1988.
7. M. Vogel, O. Stenzel, R. Petrich. J. of Non-Crystalline Solids, 164-166, 1155 (1993).
8. K. W. R. Gilkes, P. H. Gaskell and J. Yuuan. J. of Non-Crystalline Solids, 164-166, 1107 (1993).
9. V.S. Veerasamy et al. J. of Non-Crystalline Solids, 164-166, 1111 (1993).

ԱԼՄԱՍԱՆՍԱՆ ԱԾԻԱԾՆԱՅԻՆ ԹԱՂԱՆԹՆԵՐԻ ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ս.Ս. ՈՍԿԱՆՅԱՆ, Ե.Վ. ԵՆԳԻԲԱՐՅԱՆ, Կ.Գ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Ժ.Ր. ՓԱՆՈՍՅԱՆ

Իոնա-պլազմային եղանակով ստացվել են արմատաման ածխածնային քաղանքներ Si և Al₂O₃ հարթակների վրա: Չափվել են նրանց անդրադարձման և քափանցելիության սպեկտրալ գործակիցները: Կլանման գործակիցը $\lambda > 500$ նմ սպեկտրալ տիրույթում չի գերազանցում 10^2 սմ⁻¹ արժեքը, իսկ $\lambda = 250$ նմ-ըի դեպքում հասնում է մինչև $4.5 \cdot 10^4$ սմ⁻¹ արժեքի: Էներգետիկ ճեղքը կազմում է 2.5 էՎ:

OPTICAL PROPERTIES OF DIAMOND-LIKE CARBON FILMS

S.S. VOSKANYAN, Y. V. YENGIBARYAN, K. G. KARAPETYAN, Zh. R. PANOSYAN

Diamond-like carbon films were obtained by ion plasma deposition technique. The reflection and transmission coefficients of them were measured. The absorption coefficient in the spectral range $\lambda > 500$ nm is $\sim 10^2$ cm⁻¹ while at $\lambda = 250$ nm it increases up to $4.5 \cdot 10^4$ cm⁻¹. The energy bandgap is equal to 2.5 eV.