

ساخت هدف مناسب برای اندازه‌گیری سطح مقطع PIGE

INC29-1293

حافظ تقی‌پور اصلانی^{۱*}، علی‌اکبر مهماندوست خواجه داد^۱، علیرضا جوکار^۲، حسین رفیع خیری^۲

۱. گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

۲. گروه فیزیک و شتابگرها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران

چکیده:

به‌علت وجود رزونانس‌های بسیار باریک و متوالی در توابع تحریکی واکنش‌های گسیل پرتو گامای پروتون-القایی، استفاده از هدف نازک و بادوام برای اندازه‌گیری دقیق سطح مقطع مهم می‌باشد. اهداف مورد استفاده باید پایداری مکانیکی و شیمیایی مناسبی داشته باشند و در طی پرتودهی دوام بیاورند. در این کار برای اندازه‌گیری سطح مقطع واکنش هسته‌ای $^{11}\text{B}(p, p\gamma_{1-0})^{11}\text{B}$ ، یک هدف نازک AgB_2O_3 به‌وسیله روش لایه‌نشانی تبخیر در خلأ ساخته شد. هدف ساخته‌شده با استفاده از روش‌های EBS و DIGE مشخصه‌یابی شد. مقادیر ضخامت به‌دست آمده با این دو روش، با توجه به عدم قطعیت‌ها، توافق خوبی با یکدیگر دارند. مقادیر یکنواختی و پایداری هدف در تحت بمباران با باریکه مورد بررسی قرار گرفت.

کلیدواژه‌ها: گسیل پرتو گامای پروتون-القایی، هدف‌های نازک B_2O_3 ، سطح مقطع دیفرانسیلی.

Fabrication of suitable target for PIGE cross section measurement

Hafez Taghipour Aslani^{1*}, Aliakbar Mehmandoost-Khajeh-Dad¹, Alireza Jokar², Hossien Rafi-kheiri²

1. Physics Department, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

2. Physics & Accelerators Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran, Iran.

Abstract:

Due to the existence of very narrow and successive resonances in the excitation functions of proton-induced gamma ray emission reactions, it is important to use a thin and durable target for accurate measurement of the cross-sectional area. The targets used must have proper mechanical and chemical stability and last during irradiation. In this work, to measure differential cross sections of the $^{11}\text{B}(p, p\gamma_{1-0})^{11}\text{B}$ nuclear reaction a thin $\text{B}_2\text{O}_3/\text{Ag}$ target was fabricated by physical vapour deposition technique. The B_2O_3 thin target was characterized by using the EBS and DIGE methods. The values of the thickness of the target obtained by techniques are in good agreement with each other, within the uncertainties. the target was investigated by beam bombardment for its uniformity and stability.

Keywords: Proton Induced Gamma-ray Emission, B_2O_3 thin Target, differential cross-section

۱. مقدمه

مشخصات هدف و نحوه ساخت آن به شرایط آزمایش و نوع واکنش بستگی دارد. هدف‌های نازک به صورت خود نگهدار یا با لایه نشانی روی یک زیر لایه مناسب ساخته می‌شوند. تهیه هدف نازک و بادوام برای اندازه‌گیری دقیق سطح مقطع بسیار تعیین کننده است. هدف مناسب باید همگن و به اندازه کافی نازک باشد، بطوری که افت انرژی ذرات در آن کمتر از پهنای رزونانس‌ها باشد تا بتوان رزونانس‌های باریک حاصل از واکنش ذرات با عناصر سبک را بدون همپوشانی تمیز دهد. اگر ضخامت هدف نازک نباشد، بهره گاما اندازه‌گیری شده معادل با انتگرال سطح مقطع بر روی افت انرژی در نمونه خواهد بود تا معادل با مقدار سطح مقطع در انرژی باریکه فرود، همچنین پایداری مکانیکی، شیمیایی و حرارتی مناسب داشته باشد، بطوریکه در حین و بعد از پرتو دهی تجزیه نشود [۱]. زیر لایه باید از موادی انتخاب شود که ماده اصلی به صورت یکنواخت بر روی آن نشانده شود، همچنین در زمان پرتو دهی نمونه ایجاد طیف زمینه و تداخل با طیف اصلی و مورد نظر نکند. با توجه به این توصیفات برای نمونه‌های ضخیم معمولاً از زیر لایه‌های با جنس تانتالوم، مولیبدن، مس و نیکل و برای نمونه‌های نازک از کربن، نقره و طلا استفاده می‌شود. بعد از انتخاب جنس مناسب زیر لایه، ابتدا با روش لایه نشانی تبخیر در خلأ^۱ (PVD) زیر لایه ساخته می‌شود و با همین روش لایه اصلی روی آن نشانده می‌شود [۲]. با توجه به اینکه معمولاً در توابع تحریکی واکنش‌های PIGE با پروتون رزونانس‌های باریک و متوالی وجود دارد، ضخامت حدود $20 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ برای هدف پیشنهاد شده است [۱].

۲. ساخته هدف

در روش تبخیر در خلأ از یک منبع بخار و یک زیر لایه درون یک محفظه خلأ استفاده شده و محفظه تا فشاری کمتر از 10^{-5} mbar تخلیه می‌شود. منبع بخار معمولاً یک بوته گرم شده توسط روش مقاومتی یا القایی، یک فیلامان گرم شده با روش مقاومتی و یا حتی یک تفنگ الکترونی می‌تواند باشد، بدین ترتیب ماده هدف بخار شده و اتم‌های بخار در خط مستقیم به سمت زیر لایه حرکت کرده، بر روی آن رسوب می‌کنند. در روش تبخیر در خلأ اگر از یک ترکیب شیمیایی برای تهیه نمونه هدف استفاده شود، باید به این نکته توجه کرد که بعد از انجام لایه‌نشانی ممکن است همان ترکیب شیمیایی با همان نسبت استوکیومتری اولیه نباشد [۳]. بنابراین بعد از ساخت نمونه باید استوکیومتری لایه بررسی شود.

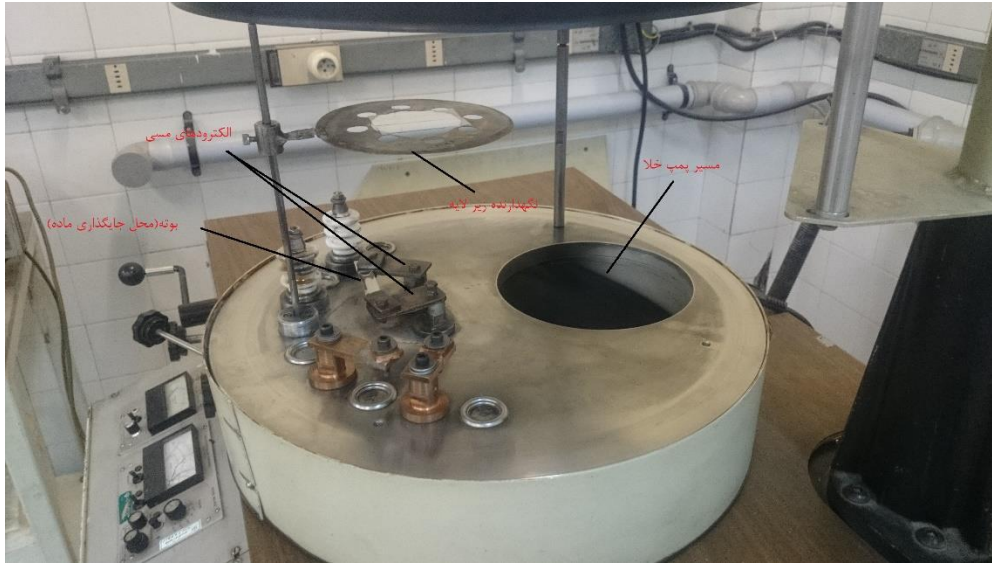
در ابتدا اقدام به ساخت زیر لایه مناسب می‌کنیم، برای این واکنش بهترین انتخاب نقره است که به استفاده از روش تبخیر خلأ بر روی اسلایدهای شیشه‌ای لایه نشانی شد. لازم به ذکر است که عنصر سنگین مثل نقره که در بازه انرژی ۱-۳ مگا الکترون ولت، پراکندگی خالص رادرفورد دارد. از این رو با استفاده از طیف RBS ذرات پس پراکنده حاصل از بمباران نقره می‌توان جریان باریکه فرودی را با دقت خوبی بدست آورد.

برای ساخت زیر لایه اسلایدهای شیشه‌ای را به یک لایه ماده حلال در آب (مایه ظرف شویی یا آب قند) آغشته کردیم. پس از خشک شدن با غرق کردن اسلایدها در آب گرم لایه نقره جدا شده (شکل ۱ الف) و به سطح آب می‌آید، سپس با یک نگه‌دارنده آلومینیومی این لایه نقره را با استفاده از روش فیشینگ بر می‌داریم (شکل ۱ ب) [۵]. پس از خشک شدن زیر لایه‌های نقره آماده لایه نشانی هستند.

¹ physical vapor deposition



شکل ۱. الف) غرق کردن زیر لایه نقره در آب گرم، جدا شدن لایه نقره از شیشه، ب) مرحله فیشینگ هدف، ج) زیر لایه‌های ساخته شده



شکل ۲. سیستم لایه نشانی تبخیر در خلأ (PVD)

با توجه به اینکه گرمای بوتله ممکن است به زیر لایه آسیب برساند و همچنین باعث لایه نشانی ناقص شود، بایستی زیر لایه در فاصله مناسبی از بوتله قرار گیرد. در این کار زیر لایه را در ارتفاع ۲۰ سانتی متری بالای بوتله قرار دادیم [۴]. همچنین با افزایش جریان در بوتله و داغ شدن آن ممکن است ذرات B_2O_3 به اطراف جهیده و تبخیر نشوند، در نتیجه ماده به مقدار کافی و همگن روی زیر لایه نقره نمی نشیند. برای رفع این مشکل بایستی شدت جریان را به آرامی افزایش داد و صبر کنیم ماده اول ذوب شود، پس از آن به آرامی تبخیر گردد [۱۰-۶]. برای این آزمایش مقدار ۲۰ میلی گرم B_2O_3 را با استفاده از روش PVD روی زیر لایه‌ها می‌نشانیم. در شکل (۲) تصویر از سیستم لایه نشانی PVD را مشاهده می‌کنید.

۳. مشخصه‌یابی هدف B_2O_3 ساخته شده

پس از ساخت، هدف نازک B_2O_3/Ag با استفاده از تکنیک‌های EBS و DIGE مشخصه‌یابی شد. استوکیومتری و همچنین ضخامت هدف نازک با استفاده از روش EBS با باریکه پروتون $2/6 \text{ MeV}$ اندازه‌گیری شد. طیف با کد SIMNRA شبیه‌سازی شد در شکل (۳) طیف تجربی و شبیه‌سازی نشان داده شده است. سطح مقطع‌های تجربی مورد نیاز از طریق کتابخانه (www.nds.iaea.org/ibandl) IBANDL دانلود و به کد اضافه شد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که ضخامت لایه B_2O_3 $1.018 \times 10^{18} \pm 0.07 \times 10^{18} \text{ atom/cm}^2$ و ترکیب لایه B_2O_3 شامل ۳۸٪ بور و ۶۲٪ اکسیژن است. منابع عدم قطعیت در تعیین ضخامت لایه، عدم قطعیت در سطح مقاطع، عدم قطعیت در توان توقف ذرات در لایه و مقدار تعداد ذرات فرودی می‌باشد. در شکل (۳) علاوه برای عناصر ذکر شده مقداری کربن در نمونه مشاهده می‌شود که ناشی از آلوده شدن نمونه در طی فرایند ساخت و تجمع کربن در مدت پرتو دهی است. این مقدار کمتر از ۲٪ است.

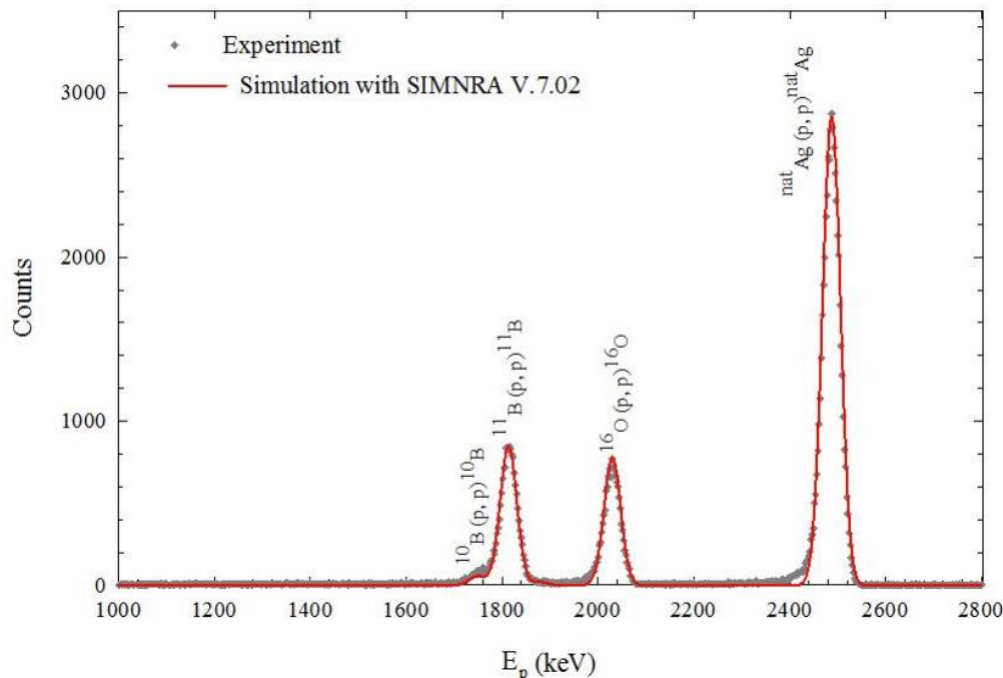
ضخامت هدف همچنین با استفاده از روش DIGE با استفاده از واکنش $^{11}B(d, p\gamma)^{12}B$ ($E_\gamma=943 \text{ keV}$) تعیین شد. برای این منظور نمونه هدف B_2O_3/Ag ساخته شده با باریکه دوترون $1/99 \text{ MeV}$ بمباران شد. شکل (۴) طیف گامای به‌دست آمده را نشان می‌دهد. با استفاده از نتایج آنالیز DIGE ضخامت لایه B_2O_3 $1.018 \pm 0.10 \times 10^{18} \text{ atom/cm}^2$

به دست آمد. جدول (۱) خلاصه نتایج از دو روش را ارائه می‌دهد. در این روش عدم قطعیت تخمین زده شده برای ضخامت لایه ناشی از عدم قطعیت، عدم قطعیت در سطح مقاطع، عدم قطعیت بازده مطلق آشکارساز برای گامای 953 MeV ، عدم قطعیت در توان توقف ذرات در لایه و مقدار تعداد ذرات فرودی می‌باشد.

جدول ۱. محاسبات ضخامت B_2O_3

| | EBS | DIGE |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|
| $B (10^{18} \text{Atom/cm}^2)$ | (0.50 ± 0.03) | (0.55 ± 0.03) |
| $O (10^{18} \text{Atom/cm}^2)$ | (0.81 ± 0.04) | (0.90 ± 0.04) |

همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود، دو روش مستقل در محدوده عدم قطعیت‌ها گزارش شده سازگاری خوبی دارند. علاوه بر این یکنواختی هدف نازک B_2O_3/Ag تحت بمباران با باریکه دوترون $1/5 \text{ MeV}$ بررسی شد. به این منظور با جابجایی هدف در راستای عمود، در سه نقطه مختلف نمونه بمباران و طیف گامای حاصل جمع‌آوری شد. مقایسه بهره گامای قله 953 MeV برای هر سه نقطه نشان که در محدوده خطای ۵ درصد هدف B_2O_3 ساخته شده یکنواخت است. همچنین برای اطمینان از پایداری هدف در مقابل باریکه، هدف چندین ساعت با باریکه دوترون $1/5 \text{ MeV}$ با جریان 20 nA بمباران شد. مقایسه بهره گامای قله 953 MeV قبل و بعد از بمباران هیچگونه نشانه‌ای از آسیب رسیدن به هدف را نشان ندادند.

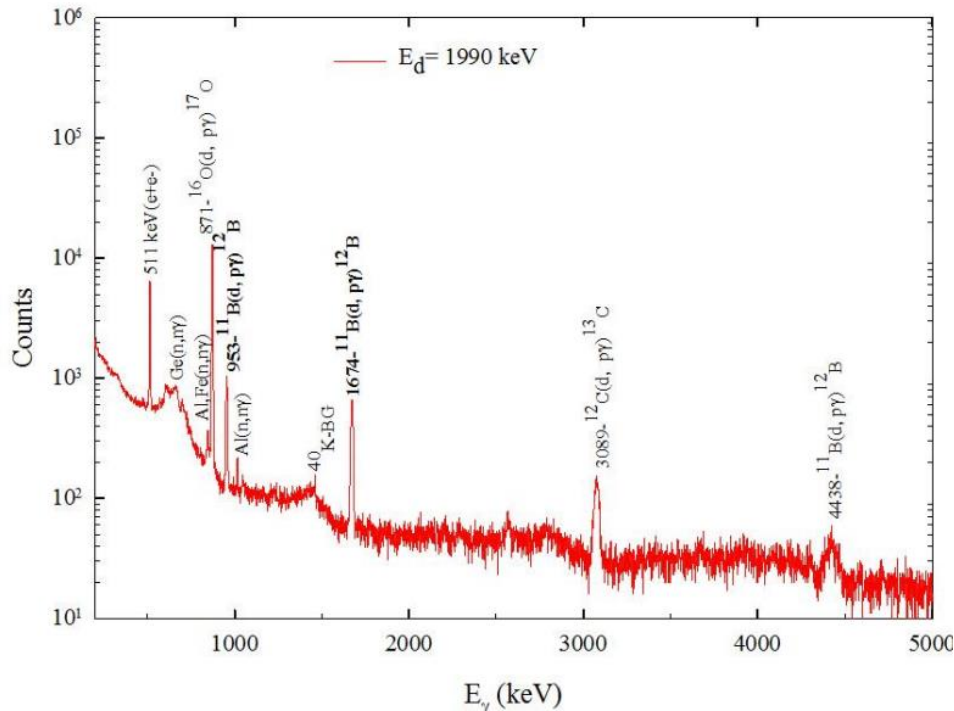


شکل ۳. طیف تجربی و شبیه سازی شده هدف B_2O_3 با زیرلایه نقره با باریکه پروتون $2/6$ مگا الکترون ولت در زاویه 165 درجه

۴. نتیجه گیری

در این کار تحقیقاتی هدف نازک B_2O_3/Ag به منظور اندازه‌گیری سطح مقطع واکنش $^{11}B(p, p \gamma_{1-0})^{11}B$ به روش لایه نشانی تبخیر در خلأ (PVD) ساخته شد. پس از ساخت، هدف با استفاده از تکنیک‌های EBS و DIGE مشخصه‌یابی شد. مقایسه مقادیر ضخامت بدست آمده از هر دو روش نشان می‌دهد که نتایج در محدوده عدم قطعیت‌ها

سازگاری خوبی دارند. نتایج حاصل از آزمایش EBS نشان داد که ترکیب لایه B_2O_3 شامل ۳۸٪ بور و ۶۲٪ اکسیژن است. یکنواختی و پایداری هدف نازک B_2O_3/Ag با باریکه دوترون $1/5 \text{ MeV}$ بررسی و ثابت شد.



شکل ۴. طیف گامای تجربی حاصل هدف B_2O_3 بمباران شده با باریکه دوترون $1/99$ مگا الکترون ولت در زاویه 90° درجه

۵. مراجع

- [۱] Handbook of modern ion beam materials analysis, 2nd edition, ed. Yongqiang Wang and Michael Nastasi, Cambridge Univ, 2010.
- [۲] C. Iliadis, Nuclear Physics of Stars, Cauldrons in the Cosmos, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, ISBN 978-3-527-40602-9, p.249.
- [۳] A. Jokar, DIGE differential cross section data for oxygen isotopic analysis, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 482 (2020) 11–16
- [۴] G. Hass, J. Am, Ceram, Soc. 33 (1950) 353.
- [۵] H. Taghipour Aslani, Characterization of LiF thin layer by nuclear reaction techniques, Radiation Physics and Engineering 2022; 3(3):17–21
- [۶], Jokar, A., Kakuee, O., and Lamehi-Rachti, M. (2016). Differential cross sections measurement of $^{28}\text{Si}(p, p/\gamma) ^{28}\text{Si}$ and $^{29}\text{Si}(p, p/\gamma) ^{29}\text{Si}$ reactions for pige applications. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 371:37–40.
- [۷], Kumar, A., Bakhrui, H., Haberl, A., et al. (1997). Characterization of fluorinated silicon dioxide films by nuclear reaction analysis and optical techniques. In AIP Conference Proceedings, volume 392, pages 697–700. American Institute of Physics.
- [۸], Mayer, M. (1997). SIMNRA, Report IPP 9/113.

[۹], Montekali, R., Almviva, S., Bonfigli, F., et al. (2010). Lithium fluoride thin-film detectors for soft X-ray imaging at high spatial resolution. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 623(2):758–762.

[۱۰], Nastasi, M., Mayer, J. W., and Wang, Y. (2014). Ion beam analysis: fundamentals and applications. CRC Press.